

ESPAÇO ABERTO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

volume 6

número 1

janeiro/junho 2016



Copyright© 2016 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFRJ

Coordenador: Scott William Hoefle

Vice-Coodenador: Manoel do Couto Fernandes

Editores: Ana Maria de Souza Mello Bicalho, Antônio José Teixeira Guerra, Rafael Winter Ribeiro e Telma Mendes da Silva

Apoio

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior



Editoração Eletrônica

Ilustrarte Design e Produção Editorial

Responsabilidade: O Programa de Pós-Graduação em Geografia e os editores não são responsáveis pelo conteúdo, argumentos e uso de informações contidas nos artigos, estes são de inteira responsabilidade de seus autores.

INDEXAÇÃO

A revista Espaço Aberto encontra-se indexada em:

- Diadorim (Diretório de Políticas Editoriais das Revistas Científicas Brasileiras): Diadorim.ibict.br ou <http://diadorim.ibict.br/handle/1/947>

- Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal): <http://www.latindex.unam.mx/buscador/ficRev.html?opcion=1&folio=24783>

- LivRe (Portal para periódicos de livre acesso na Internet): <http://200.156.7.63/ConsultaPorLetra.asp?Letra=E>

- DRJI (Directory of research journal indexing): <http://www.drji.org/JustIncluded.aspx>

- J4F (Journal for Free): <http://www.journals4free.com/link.jsp?l=44062252>

- ROAD (Directory of open access scholarly resources): <http://road.issn.org/issn/2237-3071-espaco-aberto#.Vike8n6rTcc>

- DialNet (Portada de revistas – Dialnet): <https://dialnet.unirioja.es/revistas>

- Google Scholar

- Periódicos CAPES

E77 Espaço Aberto / Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. – Vol. 6, n. 1 (2016) – Rio de Janeiro : Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016 - Semestral
ISSN 2236-1367

Disponível online: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto>
e-ISSN 2237-3071

1. Geografia - Periódicos. I. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CDU 911
CDD 910

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Instituto de Geociências

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Av. Athos da Silveira Ramos nº 274

Cidade Universitária, Ilha do Fundão

CEP: 21941-916

Caixa Postal 68537

<http://www.ppgg.igeo.ufrj.br>

ACEITA-SE PERMUTA

Editorial

Este volume da revista *Espaço Aberto* se refere a um número especial dedicado às questões metodológicas contemporâneas na área de concentração em Geografia Física, sendo composto por trabalhos de pesquisadores nacionais e internacionais.

O número inicia-se pelo artigo do renomado geógrafo Gary Brierley sobre a contribuição pessoal e reflexiva de suas pesquisas em geomorfologia fluvial aplicada. Neste artigo, Brierley coloca a importância da ciência geográfica como veículo metodológico ideal para enfrentar as preocupações do “espaço físico” e “das relações humanas” em um sentido amplo, onde a perspectiva socioeconômica e cultural sobre a gestão e preocupação com a justiça ambiental e governança de arranjos institucionais ambientais requer engajamento com o mundo da investigação qualitativa. Esta perspectiva de análise mostra o papel que assume a ciência em encontrar uma maneira adequada para fazer uso do ambiente, levando a análises sobre paisagens ‘biofísicas-e-cultural’, como por exemplo a etnogeomorfologia, que desafia a divisão do espaço-tempo, ou seja, o esforço de uma pesquisa colaborativa para encontrar a “voz do rio”, ouvindo e compartilhando perspectivas com vasta gama de profissionais para apoiar o conhecimento interdisciplinar sobre um determinado sistema fluvial e propor um real projeto de reabilitação.

O artigo seguinte, de autoria de Mônica Marçal e Raphael Lima, busca discutir questões metodológicas desafiadoras da compreensão do período Holoceno Tardio/Antropoceno, que são intrinsecamente importantes para apreensão do impacto humano nos sistemas fluviais, destacando a importância da integração das visões em rede e de trechos do canal na análise da organização de sistemas fluviais. Os autores procuram discutir a questão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais complexos, além dos caminhos conceituais que estes se desenvolvem para analisar sua organização espacial e temporal. E ressaltam que a geomorfologia fluvial tem procurado compreender a organização dos sistemas fluviais complexos a partir da leitura integrada do paradigma da continuidade e descontinuidade.

O artigo seguinte, dos autores Lee Heaton, Michael A. Fullen e Ranjan Bhattacharyya, apresenta uma discussão sobre metodologias de análise que buscam medir estoques de carbono do solo, tais como a conversão de dados de matéria orgânica em dados de carbono orgânico do solo, como a já consagrada metodologia que usa o fator de conversão universal ‘van Bemmelen’, em comparação a metodologias de medições rápidas e de baixo custo na mensuração de estoques de carbono do solo (LOI). É uma contribuição de estudos de solos à discussão sobre sequestro de carbono pertinente às questões contemporânea de mudanças climáticas.

Trazendo um debate sobre a evolução temporal do relevo, o artigo de Antônio Carlos de Barros Corrêa, Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares, Kleython de Araújo Monteiro e Drielly Naamma Fonsêca discute diferentes abordagens desde a interpretação de desnudação utilizada por William Morris Davis (1899), passando pelos métodos absolutos de datação, em sua maioria radiométricos, técnicas de luminescência e isótopos cosmogênicos. Os autores procuram mostrar que os métodos de datação geomorfológica

abrangem diferentes escalas temporais e é de fundamental importância compreender seus limites de uso para se ter maior acurácia na interpretação dos resultados sobre a reconstrução temporal de modelados denudacionais e agradacionais da paisagem.

Neste contexto de investigação evolutiva do relevo, o artigo seguinte, de autoria de Luiza Leonardi Bricalli, procura mostrar a importância de eventos neotectônicos na geração de aspectos da morfologia das paisagens. Exemplifica procedimentos metodológicos mais utilizados nesta investigação, que se referem à análise de lineamentos do relevo e da drenagem, análise estrutural de conjuntos de pares falha/estria, análises de feições morfotectônicas, análises hipsométricas e da rede de drenagem, cálculo de parâmetros morfométricos, identificação de padrões de drenagem controlados tectonicamente, orientação da rede de drenagem e identificação de *knickpoints* como os mais contundentes para análise em Geomorfologia Tectônica.

Demonstrando a importância das forças externas na elaboração e alteração das formas de relevo, os autores Emerson Galvani e Nádia Gilma Beserra de Lima exemplificam o valor de estudos em microclimatologia, através da investigação científica em ambientes de manguezais, verificando que os manguezais propiciam a estabilização da linha de costa e reduzem o impacto de fenômenos climáticos extremos, como em casos de tempestade, furacão e tsunamis. No trabalho é avaliado o papel da interceptação das chuvas totais no ecossistema de manguezais do Sudeste brasileiro, demonstrando que nos meses em que prevalecem chuvas convectivas de intensidade elevada, como de outubro a março, constata-se uma menor interceptação da precipitação em termos percentuais, enquanto meses em que prevalecem chuvas com intensidades moderada a fraca, como em agosto e setembro, há uma maior interceptação.

O artigo seguinte, de Roberto Verdum, Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e Maurício Ragagnin Pimentel, discute métodos e metodologias de leitura da paisagem, discussões de conceitos e intervenções no espaço geográfico a partir da exemplificação das pesquisas desenvolvidas e de experiências profissionais de caráter interdisciplinar do Laboratório da Paisagem do qual são integrantes em sua universidade. Os autores ressaltam esta linha de investigação geográfica a partir do entrelaçamento de olhares interdisciplinares, principalmente da área da arquitetura, artes, biologia, educação, geografia, turismo e urbanismo.

Uma outra forma de se analisar a paisagem natural é tratada no artigo de Maria do Carmo Jorge e Antônio Guerra ao discutir a geoconservação e a geodiversidade como análise composta por elementos abióticos do ambiente (substrato geológico, formas da paisagem) que é dotada de valores, destacando que o conjunto dessas geoformas, ou geossítios, representam o patrimônio de uma área. E, assim, mostrando que o geoturismo procura disseminar esses valores e constitui um desafio na divulgação e popularização das Ciências da Terra.

Na sequência, de autoria de Simone Cardoso Ribeiro, encontra-se um outro artigo nessa edição da revista que propõe uma discussão teórico-metodológica sobre a Etno-geomorfologia. Nesse caso, explora-se um enfoque de cunho geográfico-etnográfico que visa, principalmente, a compreensão da forma por produtores rurais de cultura tradicional, buscando saber como eles entendem os processos geomorfológicos. O artigo ressalta ainda o papel fundamental desta perspectiva de análise em políticas públicas

de planejamento e gestão ambiental, sob a ótica do desenvolvimento local, bem como destaca sua importância no processo de ensino-aprendizagem da Educação Básica.

O artigo seguinte preocupa-se com o papel da Geomorfologia no ensino escolar. Valéria Roque Ascensão e Roberto Valadão têm dentre seus objetivos saber sobre em que medida os conhecimentos geomorfológicos trabalhados pela Geografia Escolar são relevantes à vida cotidiana dos alunos da educação básica, através de questionamentos da pertinência e do significado dos referidos conhecimentos na sala de aula. Os autores abordam os caminhos epistêmicos assumidos pelo conhecimento geomorfológico, buscando reconhecer as linhas gerais que fundamentam essa ciência, e traçam um paralelo entre conhecimento geomorfológico científico-acadêmico com aquele que se apresenta em livros didáticos brasileiros, produzidos da década de 1940 aos dias atuais. Por fim, em uma avaliação crítica, reconhecem conteúdos mais relevantes à Geografia Escolar e a necessidade de mudanças paradigmáticas ao ensino-aprendizagem da geomorfologia na escola.

O último artigo corresponde a uma contribuição de Nelson Ferreira Fernandes que destaca como a modelagem se consolidou como importante ferramenta de análise da pesquisa em geografia física nas últimas décadas, destacando o grande número de artigos publicados nas revistas especializadas que utilizam modelos, em especial os matemáticos, na simulação e análise de processos atuantes e formas resultantes. Este autor procura mostrar também diversos textos que têm buscado uma discussão mais crítica sobre a ferramenta modelagem e, assim, trazendo uma reflexão sobre como a ferramenta modelagem vem sendo utilizada na geografia física, discutindo suas bases teóricas, principais potencialidades de aplicação e suas limitações.

Retomando a sessão de clássicos neste número da *Espaço Aberto*, selecionamos o artigo intitulado “Geógrafo Físico: Generalista ou Especialista?” de autoria da saudosa Prof^ª Maria Regina Mousinho de Meis, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que se refere a uma reflexão, ainda bastante atual, sobre o papel do Geógrafo “Físico” na academia e na sociedade. Antecedendo ao artigo é apresentado um breve perfil profissional da geógrafa, sua importância para ciência geográfica, particularmente para a geomorfologia, relacionando-se suas empreitadas iniciais, juntamente com outros profissionais, na investigação acerca dos estudos de evolução da paisagem durante o Período Quaternário no Brasil.

Os Editores da revista *Espaço Aberto* aproveitam a oportunidade para agradecer a todos os autores, que se interessaram e foram instigados a escrever seus artigos em torno da temática proposta nesta edição, e também aos revisores, que fizeram ótimas críticas e comentários aos artigos aqui apresentados.

Os Editores

ESPAÇO ABERTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

volume 6 número 1 janeiro/junho 2016

Sumário

A Personal Perspective on the Methodological Practices of an Applied Fluvial Geomorphologist	9
<i>Gary Brierley</i>	
Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial	17
<i>Mônica dos Santos Marçal e Raphael Nunes de Souza Lima</i>	
Critical Analysis of the van Bemmelen Conversion Factor used to Convert Soil Organic Matter Data to Soil Organic Carbon Data: Comparative Analyses in a UK Loamy Sand Soil	35
<i>Lee Heaton, Michael A. Fullen and Ranjan Bhattacharyya</i>	
A Aplicação de Técnicas Geocronométricas em Geomorfologia: uma Atualização Metodológica	45
<i>Antonio Carlos de Barros Corrêa, Bruno de Azevêdo Cavalcanti Tavares, Kleython de Araújo Monteiro e Drielly Naamma Fonsêca</i>	
Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica.....	75
<i>Luiza Leonardi Bricalli</i>	
Interceptação da Precipitação no Manguezal no Litoral Sudeste do Brasil	111
<i>Emerson Galvani e Nádia Gilma Beserra de Lima</i>	
As Múltiplas Abordagens para o Estudo da Paisagem	131
<i>Roberto Verdum, Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e Maurício Ragagnin Pimentel</i>	
Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos	151
<i>Maria do Carmo Oliveira Jorge e Antônio José Teixeira Guerra</i>	
Etnogeomorfologia na Perspectiva da Gestão Ambiental e Aprendizagem na Educação Básica.....	175
<i>Simone Cardoso Ribeiro</i>	

Tendências Contemporâneas na Aplicação do Conhecimento Geomorfológico
na Educação Básica: a Escala sob Perspectiva..... 191
Valéria de Oliveira Roque Ascenção e Roberto Célio Valadão

Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios 209
Nelson Ferreira Fernandes

Sessão de Clássicos

Maria Regina Mousinho de Meis: Geografia, Geomorfologia e os Estudos do
Quaternário do Brasil 251

Geógrafo Físico: Generalista ou Especialista? 259
Maria Regina Mousinho de Meis

A Personal Perspective on the Methodological Practices of an Applied Fluvial Geomorphologist

Uma Perspectiva Pessoal sobre Práticas Metodológicas em Geomorfologia Fluvial Aplicada

Gary Brierleyⁱ

University of Auckland
Auckland, New Zealand

Abstract: What is useful geomorphology? How do we do it (what methods do we use)? How can we help ensure that it is used, and it is used effectively? Here I share a few thoughts from the perspective of an applied fluvial geomorphologist. This is very much a personal, reflective contribution. Now at the 'senior' end of professorial status (more than 10 years a full professor), I think it is interesting to reflect upon how methodological practices that I have used have changed during my career. In a sense, this is very much a record of my own journey, outlining decisions made along the way, and providing an account of some of the outcomes.

Keywords: Applied Fluvial Geomorphology; Methodological Practices; Full Professor.

Resumo: O que é geomorfologia aplicada? Como podemos fazê-la (quais métodos usamos)? Como podemos ajudar a garantir que seja usada e que seja utilizada de forma eficaz? Aqui eu compartilho alguns pensamentos a partir da perspectiva de um pesquisador em geomorfologia fluvial aplicada. Esta é muito mais uma contribuição pessoal, reflexiva. Agora, no final sênior do status profissional (mais de 10 anos professor titular), acho interessante refletir sobre as práticas metodológicas que usei e sobre as que mudaram durante a minha carreira. Em certo sentido, isso é muito mais um registro da minha própria jornada, delineando as decisões tomadas ao longo do caminho, e contribuindo com alguns dos resultados.

Palavras-Chave: Geomorfologia Fluvial Aplicada; Práticas Metodológicas; Professor Titular.

Before I provide a record of my own methodological journey, I think it is important to offer comment on my own research goals and aspirations – in a sense, the motivation for my work. I am passionate about, and committed to, the quest for healthy rivers in a manner that respects diversity and variability, and works with the emergent world of

ⁱ Chair of Physical Geography, School of Environment, The University of Auckland. g.brierley@auckland.ac.nz.

evolutionary traits (e.g. BRIERLEY and FRYIRS, 2005, 2008, 2009, 2016; BRIERLEY and HOOKE, 2015). To me, effective management practices ‘work with’ nature, bringing together knowledge of a given river in a manner that is appropriately contextualized in relation to regional and theoretical understandings (BRIERLEY et al., 2013). From this, we are able to give careful consideration to the transferability of understandings from one situation to another, from one river to another. We want/need to compare apples with apples, lemons with lemons, in applying the most appropriate procedures (what is most likely to work where). We need a coherent information base to do this. Landscape platforms (geomorphic knowledge) provide an integrative physical basis for such analyses. Among many things, the intent of such framings is to ensure that river management activities are strategic and proactive, moving beyond reactive (ad-hoc) practices. Generation of a coherent information base that incorporates understandings of catchment-scale patterns of rivers, and analyses of their behavioural and evolutionary traits, is key to such endeavours. To me, it’s hard to envisage how effective scientifically-informed practices can be developed and implemented independent from this understanding. So, how did I get to work on such things?

I had the enormous privilege of superb high school training in Geography. As a teenager at Bury Grammar School in northwest England I was taught core principles of geography in an inspired way, with lots of field trips alongside challenging in-class sessions. Several years after high I completed high school, one of my teachers (M.G. Hart) wrote a text book (1986) entitled “Geomorphology: Pure and Applied”. He set incredible essays, having me examine mechanisms of hillslope-valley floor connectivity in 1978! Subsequently, an amazing set of undergraduate teachers at Durham University in northeast England prioritized the importance of asking good questions as the foundation of enquiry. They also promoted a remarkable spirit of independent learning. At this time (late 1970s), the science of geomorphology was largely concerned with the measurement of physical processes. This was the age of ‘if it moves, measure it’. All too often, such undertakings lacked a well-defined sense of purpose and context. In a sense, the reaction to undue emphasis upon description of geomorphic form had gone too far. In focussing upon landforms, what about the evolutionary context of landscape-scale enquiry and concerns for patterns in landscapes? These issues were eloquently captured in the paper by Baker and Twidale (1992). In my own case, undergraduate field trips to various parts of the UK, along with superb ventures in the arid landscapes of Tunisia, supported a personal ‘spirit of enquiry’ that was desperate to understand river and landscape diversity, and how those different component parts came together to create the landscape as a whole. The interplay of spatial and temporal considerations across multiple scales was firmly etched in my mind. We were taught to seek those pieces of evidence that helped to craft a story in efforts to make sense of any given landscape. From this emerged my own take on methods in geomorphology, viewing enquiry as a form of detective-style investigation, in which a particular piece of evidence can transform a story (in a sense, I view geomorphology as a form of forensic science!). Experiences were thoroughly re-inforced during my Honours field work on semi-arid systems in Palestine. I’m not sure my undergraduate teachers always appreciated that darned student who always asked, ‘but couldn’t it be this way? How do you know the landscape was formed this way?’ Negotiating between

the empirical and the theoretical is so much fun. On leaving the UK and moving to Canada for postgraduate work (Simon Fraser University in Vancouver), I was awarded the undergraduate prize for 'theoretical fecundity'. That spirit lingers long.

My Masters and PhD work was pretty much 'straight science' at the interface of geomorphology and sedimentology. My supervisor was fantastic. He adopted a 'hands off' approach, but he was always happy to talk and pull me in to line if I wandered 'too far' off course. He allowed me to make my own mistakes, which is surely the best way never to make them again! He promoted independent thinking, helping me to contextualize perspectives on landscapes through experience, yet steering as required.

Despite all this encouragement and prompting, a matter of months after completion of my PhD I decided that the kind of work I was doing was not enough for me. The only people who may have potentially benefited from the findings of my PhD work were in the oil industry – a sector of society that isn't closest to my own personal interests. I wanted to do something environmental, applied, and of benefit to society. A Post-Doctoral position at the Australian National University provided the springboard for this in my subsequent career at Macquarie University in Sydney and at The University of Auckland in New Zealand.

Not long after arriving in Australia, a few things became quite obvious to me. This landmass – its landscapes, climate and ecosystems – was quite different to what I had experienced previously. Supplementary experiences in glaciated landscapes of New Zealand were more similar to me, with distinct parallels with British Columbia. But the tropical landscapes of Papua New Guinea, Fiji and North Australia all held surprises. That spirit of enquiry was alive and well. Exploring new places and finding out new things was an absolute joy. It quickly became evident, however, that the approaches to managing river systems in these different places were not as I expected. Rather than truly reflecting values of a given place, procedures were being taken from elsewhere and either mis-applied or applied inappropriately. We didn't really have the toolkits in-hand to 'work with nature'. Various postgraduate collaborators had done an outstanding job demonstrating the variability of Australian rivers and their responses to human disturbance. Work with one of these individuals, Kirstie Fryirs, brought about development of a river management toolkit to address some of these concerns: the River Styles Framework was born (BRIERLEY and FRYIRS, 2005). Applications of this toolkit employ a suite of methodological procedures and experiences encountered through my career to date. Importantly, the framework provides an open-ended, interpretative approach to geomorphic analysis of river systems. In a sense, it tries to give a voice to the landscape itself, while providing practical and coherent guidance as an underpinning landscape layer with which to approach environmental decision-making, planning, implementation and monitoring. Geographic concerns for place are at the forefront of enquiry. In simple terms, Geography and History matter.

To me, landscapes and river systems are the perfect integrating platform with which to develop coherent and proactive approaches to environmental management. As noted by Sauer (1956), in his wonderfully evocative contribution entitled "The education of a geographer", geographers are ultimately and innately informed by field-based understandings. As geographers, we respect the diversity of place. We are forever contextua-

lizing similarities and differences with other places and experiences. In the catalogues of our mind, and the memories sometimes captured in our collections of photographs, we make sense of the world, relating one place to another as a basis to consider the transferability of knowledge (e.g. what management techniques are likely to work where, and why?). For example, geomorphologists often have ‘an innate eye for ‘pattern and process’. Countless sets of procedures are available to us to support efforts at observation and measurement, but ultimately instinct and flair come to the fore in our efforts to ‘read a landscape’ (FRYIRS and BRIERLEY, 2013; BRIERLEY and FRYIRS, 2014). I love the sense of perspective that comes from contemplating vistas from mountain tops or ‘high spots’ of a landscape. Such an overview helps to frame perspective and context. However, there nothing quite like being ‘in the river itself’ to truly try to come to terms with what’s going on. In a sense, this has parallels with top-down and bottom-up learning, as we negotiate through hierarchical scales of enquiry that are integral parts of geomorphic analysis of river systems (i.e. catchment, landscape unit, reach, geomorphic unit (landform), hydraulic unit (flow-sediment interaction) scales; BRIERLEY and FRYIRS, 2005).

Just as important as ‘high spot’ experiences, and far more accessible to all, is the ‘window on the world’ that is available to us through Google Earth, satellite images and aerial photographs, and the ability to ‘zoom-in, zoom-out’ pretty much everywhere across our planet. Add to this the increasingly recurrent, finer and finer resolution imagery, and emerging practices such as ‘structure from motion’, and we have a critical library with which to assess diversity, variability and change. Increasingly, this is how we come to know the world. Perhaps scarily, in a sense, automated change detection procedures increasingly do the work for us. While this presents an enormous opportunity to democratize knowledge on the one hand (making information on landscape change available to all, thereby providing an independent basis to inform management decision-making), concerns could perhaps be raised about ‘who writes the rules and the algorithms’ with which we inform these assessments. For example, in mapping exercises and in applications of GIS, what conceptual model underpins the framework through which the work has been designed and implemented (see Cullum et al., 2016)? Enormous concerns for social and environmental justice are yet to be addressed in moves towards the democratization of knowledge and the emergence of citizen science. Importantly, this points to the critical importance of ‘awareness’ of the inherent politics of practice in choosing the methodological and research tools we apply (and develop) as geographers. These concerns are captured in recent moves towards a ‘critical physical geography’ (see, for example, BLUE and BRIERLEY, 2016).

It is widely recognized that ‘managing the environment’ is far less about managing the physical environment and far more about managing people. Geography provides a perfect methodological vehicle within which to tackle these ‘physical’ and ‘human’ concerns in a united sense. In my own career, particular students and colleagues have instigated, prompted, pushed and ultimately delivered on a host of cross- or trans-disciplinary initiatives and interventions. Inevitably, such steps require substantive co-supervisory arrangements. Consideration of socio-economic and cultural perspectives on environmental management or concerns for environmental justice and governance and institutional arrangements requires engagement with the world of qualitative enquiry. Ethics approval

and engagement with diverse literatures brings together a wide range of skillsets. These are truly shared investigations, for which effective teamwork is critical.

Ultimately, my perspective in such engagements has built on the perspective that 'science doesn't matter unless we find a decent way to make use of it'. This has led to recent work on 'biophysical-and-cultural' landscapes (ethnogeomorphic perspectives that challenge the space-time division; see WILCOCK *et al.*, 2013). Ongoing collaborative research endeavour to find the 'voice of the river', listening and sharing perspectives with a wide range of colleagues and river practitioners to support the co-production of knowledge about any given river system. While it would be disingenuous to not mention the challenges of teamwork, careful management of arrangements can engender stimulating and somewhat unexpected outputs (e.g. a cross-disciplinary river rehabilitation project in Australia; BRIERLEY and FRYIRS, 2008; a science-arts dance initiative in New Zealand; LONGLEY *et al.*, 2013).

Sharing perspectives in efforts to communicate prospects of 'seeing and making the world differently' draws attention to the critical importance of complementary skillsets in our efforts at environmental education and science communication. The variable and changing fortunes of environmental science and management in different parts of the world present a range of threats and opportunities for geographers. Prospectively, we have the capacity to work within differing institutional arrangements that promote emerging forms of knowledge generation (and use) to create new forms of employment relating to environmental communication, incorporating particular sets of negotiation and facilitation skills. The tried and tested capacity for geographers to appropriately situate diverse understandings derived from differing approaches to enquiry (captured under the term 'specialist-generalist synthesis') presents enormous prospects for employment in negotiating environmental futures. Just as importantly, the perspectives within which we approach enquiry and frame our research increasingly recognize and engage with the inherent politics of practices, in some instances trying to change what we do and how we go about it. This world of 'Performative Action Research' prospectively presents a wide range of opportunities for geographic enquiry (TADAKI *et al.*, 2015).

If there's a lesson in here, perhaps it's something like this. Research is about informed questioning. Informed questions are appropriately contextualized (i.e. built upon and framed in relation to what we think we know, and associated literatures that seek to capture and convey that knowledge). In many instances, and if socio-politically acceptable, it pays to question our so-called "Masters", advisors and supervisors. Knowledge moves on. So do approaches to enquiry. Having said this, it pays to undertake such questioning with careful consideration, preparing a well-justified 'defence' for perspectives that are taken. The scientific world of paradigm shifts moves on through questioning of previously held conventions and their associated authorities. In the research world, thinking independently, thinking critically, and thinking creatively is vital. In other words, 'Engage thy Brain'. If you've been given a gift, use it! As yet, we don't live in a robotic world of artificial intelligence. Make your own path. Don't be scared to push boundaries. There are lots of talented people out there. Choose supervisors carefully, and don't be scared to change the make-up of the committee if it isn't working. Put interesting teams together to address interesting questions in interesting ways. We have a remarkable potential (perhaps a res-

Gary Brierley

possibility) to challenge convention through our work. I love the topic of a recent Masters student here at The University of Auckland. Through qualitative research (interviews with river management), the student sought to examine the extent to which contemporary river management practices could be viewed through a 'more than human' lens, looking at restoration 'through the eyes of a fish'. Conventional outlooks engender conventional lives which promote conventional outcomes (plus ça change, plus c'est la même chose). I guess if you feel we're living on this Earth and respecting our planet appropriately, you may feel our job is done. If not, I dare suggest that there's a lot to do! Imagine the world as it could be, and seek to make it happen.

References

BAKER, V. R.; TWIDALE, C. R. The re-enchantment of geomorphology. *Geomorphology*, n. 4, p. 73-100, 1991.

BLUE, B.; BRIERLEY, G. J. 'But what do you measure?' Prospects for a constructive critical physical geography. *Area*. doi: 10.1111/area.12249. 2016.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.

_____; _____. (Eds.). *River Futures: An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Washington: Island Press, 2008.

_____; _____. Don't Fight the Site: Three Geomorphic Considerations in Catchment-Scale River Rehabilitation Planning. *Environmental Management*, n. 43, p. 1201-1218, 2009.

_____; _____. Reading the Landscape in Field-Based Fluvial Geomorphology. In: THORNBUSH, M.; ALLEN, C. D.; FITZPATRICK, F. A. (Eds.). *Geomorphological Fieldwork*. Developments in Earth Surface Processes. Amsterdam: Elsevier, vol. 18, chapter 5.3, p. 231-257, 2014.

_____; HOOKE, J. Emerging Geomorphic Approaches to Guide River Management Practices. *Geomorphology*, n. 251, p. 1-5, 2015.

_____; FRYIRS, K. A.; CULLUM, C.; TADAKI, M.; HUANG, H. Q.; BLUE, B. Reading the Landscape: Integrating the Theory and Practice of Geomorphology to Develop Place-Based Understandings of River Systems. *Progress in Physical Geography*, n. 37, p. 601-621, 2013.

CULLUM, C.; ROGERS, K. H.; BRIERLEY, G. J.; WITKOWSKI, E. T. Ecological Classification and Mapping for Landscape Management and Science: Foundations for the Description of Patterns and Processes. *Progress in Physical Geography*, n. 40, p. 38-65, 2016.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. *Geomorphic Analysis of River Systems. An Approach to Reading the Landscape*. Oxford: Blackwell, 2013.

HART, M. G. *Geomorphology: Pure and Applied*. Winchester, MA: Allen and Unwin, 1986.

LONGLEY, A.; FITZPATRICK, K.; ŠUNDE, C.; EHLERS, C.; MARTIN, R.; BROWN, C.; BRIERLEY, G. J.; WAGHORN, K. Streams of Writing from a Fluid City. *Qualitative Inquiry*, n. 19, p. 736-740, 2013.

SAUER, C.O. The Education of a Geographer. *Annals of the Association of American Geographers*, n. 46, p. 287-299, 1956.

TADAKI, M.; BRIERLEY, G.; DICKSON, M.; LE HERON, R.; SALMOND, J. Cultivating critical practices in physical geography. *The Geographical Journal*, n. 181, p. 160-171, 2015.

WILCOCK, D.; BRIERLEY, G. J.; HOWITT, R. Ethnogeomorphology. *Progress in Physical Geography*, n. 37, p. 573-600, 2013.

Recebido em: 14/03/2016

Aceito em: 15/03/2016

Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial

Contemporary Conceptual Approaches in Fluvial Geomorphology

Mônica dos Santos Marçalⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Raphael Nunes de Souza Limaⁱⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: A geomorfologia fluvial contemporânea se depara com questões desafiadoras, sobretudo, porque passa pela compreensão do período Holoceno Tardio/Anropoceno, que tem reflexos hoje e são intrinsecamente importantes para apreensão do impacto humano nos rios. Em razão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais complexos, dois caminhos conceituais desenvolveram-se para analisar sua organização espacial e temporal. A visão de rede enfatizando controles na escala do sistema e a visão de trechos focando na descontinuidade e nos controles locais. A geomorfologia fluvial tem buscado compreender a organização dos sistemas fluviais complexos a partir da leitura integrada do paradigma da continuidade e descontinuidade. A visão integrada tem estimulado, no âmbito da geomorfologia, o surgimento de novos instrumentos teórico-metodológicos. Destaca-se a importância da integração das visões de rede e trechos na análise da organização de sistemas fluviais. O manejo dos rios e a gestão de bacias são processos contínuos que se referem tanto a um movimento sociocultural e modo de vida como um exercício técnico e científico.

Palavras-chave: Sistemas Complexos; Geomorfologia Fluvial; Organização Espacial; Escala Temporal; Gestão de Rios.

Abstract: Contemporary fluvial geomorphology faces challenging questions, especially as it goes by understanding the Late Holocene/Anthropocene period, which has repercussions today and are intrinsically important to understand the human river disturbance. Given the scale that physical rates operate in complex river systems, two conceptual paths were developed to analyze the spatial and temporal organization. The network view emphasizes controls on catchment-scale and a reach approach focuses on discontinuity and local controls. Fluvial geomorphology has seek to understand the organization

ⁱ Professora Associada do Departamento de Geografia. monicamarcal@ufrj.br.

ⁱⁱ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFRJ). raphaelgeo85@gmail.com.

of complex river systems from the integrated view of the continuity and discontinuity paradigm. This integrated approach has stimulated within the geomorphology, the emergence of new theoretical-methodological instruments. It is recognized that rivers management is an ongoing process, part of the socio-cultural development, which refers to both a social movement and scientific exercise.

Keywords: Complex Systems; Fluvial Geomorphology; Spatial Organization; Timescale; Management Rivers.

Introdução

A intenção desse artigo é propor uma discussão sobre o sistema fluvial, a partir de conceitos atuais referentes à sua organização espacial e temporal. Não se pretende fazer uma exaustiva revisão de metodologias e teorias, mas chamar a atenção para os paradigmas contemporâneos que orientam o estudo dos rios e, por conseguinte, as questões que envolvem as práticas de manejo, pondo em tela a disputa de concepções distintas sobre a forma como os rios deveriam ser e funcionar.

A geomorfologia fluvial, como uma subárea da ciência geomorfológica, tem seu possível surgimento no final do século XVIII, quando James Hutton e John Playfair reconheceram que os rios esculpam seus próprios cânions, se houvesse tempo disponível (WHOL, 2014). Foi um período com importantes contribuições de naturalistas sobre relatos e descrições das paisagens, dando ideia de como se desenvolvia o curso dos rios. Outros marcos sucessivos, na maneira de pensar os rios, tiveram reflexos no surgimento e desenvolvimento da geomorfologia fluvial. Algumas dessas mudanças ficaram rotuladas de revolucionárias, correspondendo aos paradigmas *davisiانو*, *sistêmico* e *do aprofundamento das questões ambientais* (VITTE, 2011). Atualmente, é também uma área essencial para a compreensão do processo de gestão e desenvolvimento de estratégias sustentáveis para o desenvolvimento, tendo se destacado por décadas como a maior subárea da geomorfologia no mundo (PIEGAY e KONDOLF, 2015; VAUDOR, 2015).

Nesta introdução optamos por destacar brevemente três momentos a fim de contextualizar as abordagens discutidas nos tópicos subsequentes. O primeiro, que abrange os séculos XVIII, XIX e início do século XX, caracteriza-se por ideias dominantes de catastrofismo *versus* uniformitarismo. Nessa linha destacam-se importantes trabalhos como o ciclo erosivo de Davis (1899) e o *equilibrium* e desenvolvimento da paisagem de Gilbert (1914). Esse contexto foi determinante para o real desenvolvimento da geomorfologia fluvial, mostrando que os rios se vinculavam com as ideias de *equilibrium* em um mundo desconectado do seu ambiente e analisados separadamente das influências de seu contexto ambiental. Isso iria persistir até o final da década de 1930.

Um segundo momento surge nos anos subsequentes, por volta de 1940-1950. A Segunda Guerra Mundial trouxe novidades tecnológicas na cartografia e na aerofotogrametria, que suscitaram novas questões sobre as formas e processos dos rios e serão fundamentais para o estabelecimento de novas bases paradigmáticas da geomorfologia fluvial. A visão evolucionista de Darwin, que havia predominado, passa então a incorporar uma visão sistêmica da paisagem, que se propõe compreender os mecanismos

que regem os fluxos em uma bacia hidrográfica, a partir dos princípios da teoria geral dos sistemas (TGS). Os rios e as bacias hidrográficas passam a ser um conjunto único e indissociável, compondo um sistema fluvial.

Neste período, a geomorfologia fluvial aproximou-se ainda mais da hidrologia, da engenharia hidráulica e da geologia. Podemos simplificar que este foi um período onde se incorporou às leis de transporte dos rios a perspectiva da compreensão da bacia hidrográfica como um sistema aberto, consolidando a geomorfologia fluvial como um campo de pesquisa quantitativo. Nessa linha destacam-se importantes trabalhos como a ordem dos canais de Horton (1945) e Straler (1952), o índice de gradiente do rio de Hack (1957) e o nível de margens plenas de Wolman e Leopold (1957). De acordo com Smith (1993), a geomorfologia fluvial se estabelece como subdisciplina científica em 1964 com o livro clássico *Fluvial Processes in Geomorphology*, de Leopold Wolman e Miller.

O desenvolvimento da abordagem sistêmica nas análises ambientais foi fundamental para compreender a complexidade nas relações entre a natureza e a sociedade e a necessidade da abordagem integrativa do entendimento de natureza *versus* sociedade. A terminologia de geossistema foi cunhada por Sotchava (1977) para descrever a paisagem física como sistema composto por elementos topográficos, biogeográficos e pedológicos, dinamizados pelos fluxos climáticos e insere a ação das atividades humanas, sobretudo, destacando os níveis de complexidade nas interações de fluxos de energia e matéria. Exemplo disso é o clássico trabalho de Richard John Chorley – *Geomorphology and General Systems Theory* (1962) – onde ressalta a estreita analogia entre os clássicos sistemas abertos com as bacias de drenagem e destaca a complexidade de suas interações. Além deste, destacam-se também os trabalhos de Chorley e Kennedy (1971) e Schumm (1977).

A publicação do relatório intitulado “Os limites do crescimento”, em 1972, elaborado por uma equipe do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), ampliou os debates sobre a crise hídrica e as mudanças climáticas globais. Essas problemáticas passaram a interferir na busca de novas soluções para questões ambientais, dando o direcionamento nas pesquisas, juntamente com o advento de novas tecnologias. Talvez este seja o limiar para o surgimento de um terceiro momento de grande expressividade nas análises da geomorfologia fluvial contemporânea.

As noções de magnitude e frequência que modelam a forma dos rios (WOLMAN e GERSON, 1978), os ajustes de energia e a forma dos rios no tempo e no espaço (SCHUMM, 1973), e os efeitos do uso da terra nos rios (BRUNSDEN e THORNES, 1979), elevaram a complexidade com a qual os sistemas fluviais passaram a ser concebidos e analisados, trazendo diferentes possibilidades de entendimento da paisagem de um rio (CORRÊA, 2005).

O período Antropoceno surge para descrever a época geológica em que nós vivemos no presente e sugere que a Terra já deixou sua época geológica recente, referente ao último estado interglacial chamado Holoceno. E isso parece exigir uma mudança nas formas em que estudamos e entendermos as transformações ambientais (WHITEHEAD, 2014).

Nesse sentido, a geomorfologia fluvial contemporânea se depara com questões desafiadoras, sobretudo, porque passa pela compreensão do período Holoceno Tardio/ Antropoceno, que tem reflexos hoje e são intrinsecamente importantes para apreensão

do impacto humano nos rios. Demandam, portanto, reflexões que envolvem conhecimentos sobre comportamento e mudanças nas trajetórias dos rios, fundamentais para se buscar respostas para o manejo e gestão de bacias hidrográficas.

Escalas, Tempo e Mudanças no Sistema Fluvial

A ideia de organização e a ideia de sistema, são ainda, não apenas embrionárias, mas dissociadas. Eu me proponho aqui a associa-las, já que o sistema é o caráter fenomenal e global do qual se revestem as inter-relações cuja disposição constitui a organização do sistema. (MORIN, 2013, p. 135)

A organização de um sistema complexo corresponde à disposição das inter-relações de seus elementos que produz uma unidade complexa ou sistema. Seu estudo busca um meio de estimar a probabilidade de um conjunto de variáveis ou elementos em interação se auto-organizarem (MORIN, 2013). O autor problematiza o conceito de sistema como um conceito-piloto, que pode ser considerado uma *unidade complexa organizada* resultante das interações entre um observador e o universo fenomênico, que permite representar e conceber unidades complexas constituídas por inter-relações organizacionais entre elementos. A noção de sistemas não é simples e nem absoluta, comporta na sua unidade, relatividade, dualidade, multiplicidade, cisão, antagonismo e o problema da sua inteligibilidade abre a problemática da complexidade (MORIN, op. cit.). Portanto, a organização transforma, produz, liga e mantém o sistema.

Em sistemas fluviais, a complexidade de processos geomorfológicos, hidrológicos e bióticos operando sobre múltiplas escalas espaciais e temporais produzem notável diversidade de ambientes ribeirinhos (POOLE, 2002). Embora a heterogeneidade espacial garanta que a composição biofísica de todos os sistemas apresentem especificidades, muitas relações espaciais e padrões se repetem entre sistemas (CULLUM et al., 2008).

Em razão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais, dois caminhos conceituais desenvolveram-se para analisar sua organização espacial e temporal. De um lado, uma visão de rede (ênfatizando controles na escala do sistema), de outro, uma visão de trechos (focando na descontinuidade e nos controles locais) (PETTS e AMOROS, 1996; Schumm, 1977). Para Cullum et al. (2008), essas duas perspectivas compõem o paradigma da continuidade e descontinuidade. Segundo os autores, enquanto a primeira oferece modelos de interpretação preditivos da rede, a segunda permite aumentar a precisão das interpretações na escala do canal (Figura 1).

Na visão de rede destacam-se duas abordagens de análise que idealizam padrões e controles no nível do sistema. As relações fractais na geometria da rede e as dimensões do sistema fluvial.

A geometria fractal foi introduzida por Mandelbrot (1983) para descrever padrões significativamente complexos de distribuição, estrutura e dinamismo da natureza, ou seja, não lineares, irregulares, caóticos e aleatórios. O conceito de dimensão fractal surge como uma das ferramentas propostas para a análise dos sistemas complexos, sendo definida como a medida do grau de irregularidades em diferentes escalas; e é relacionada com o aumento da medida de um objeto, enquanto a escala do instrumento de medida

Paradigmas

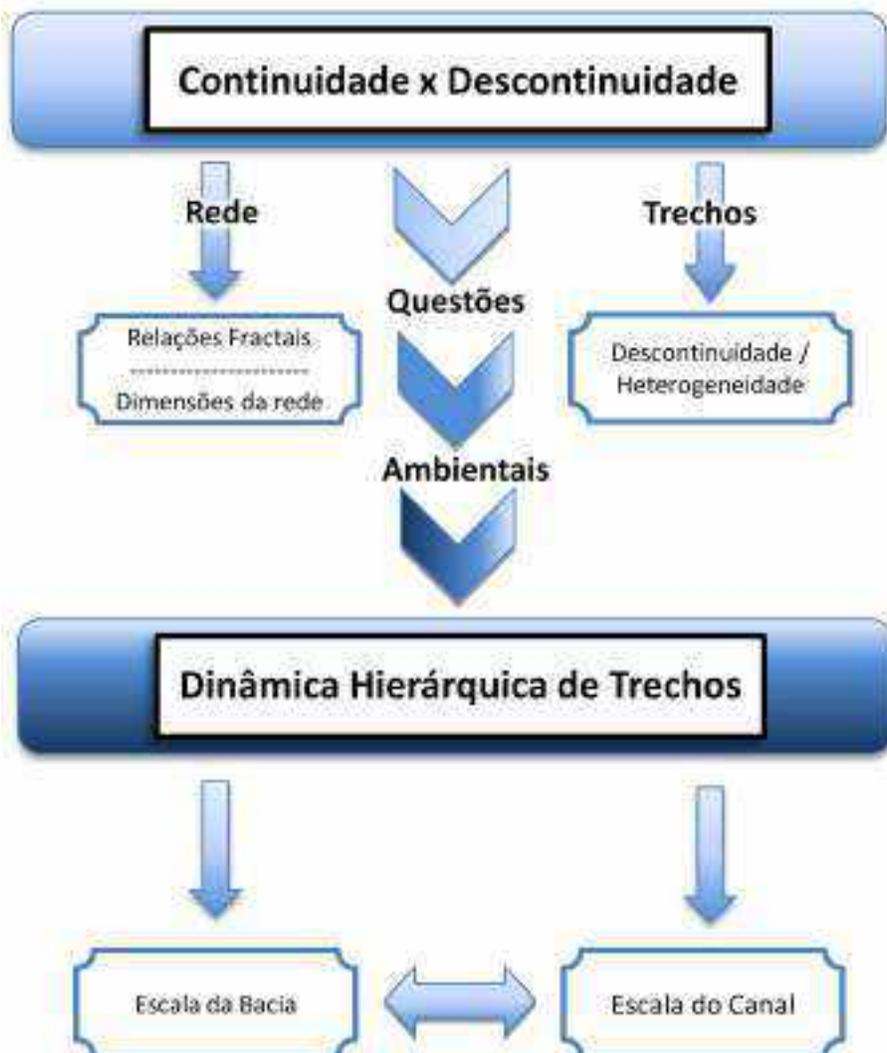


Figura 1 – Paradigmas contemporâneos da organização espacial de sistemas fluviais. Elaboração dos autores.

diminui (MURRAY et al., 2014). Uma bacia de drenagem inclui em suas transformações bacias menores ao longo de seus afluentes. Na natureza, esse processo termina com as bacias de drenagem de primeira ordem, cujos tamanhos determinam a fractalidade da escala interna (VESTENA e KOBAYAMA, 2010).

Na tentativa de melhor explicar a estrutura e função das comunidades biológicas e dos gradientes físicos nos sistemas fluviais, desenvolveram-se conceitos voltados para a visão ecológica do rio, passando a analisar interações de processos geomorfológicos e hidrológicos, a partir de quatro dimensões fluviais (WARD, 1989; WARD e STANFORD, 1995). A dimensão *longitudinal* compreende as relações montante-jusante e tributário-tronco (*continuum* fluvial; VANNOTE et al., 1985; MONTGOMERY, 1999); a dimensão *lateral* contém relações encosta-canal e canal-planície (pulso de inundação; JUNK et al., 1989); a dimensão *vertical* inclui níveis de inundação e interações superfície-subsuperfície (corredores hiporrêicos; STANFORD e WARD, 1993); e, por último, a dimensão *temporal* que compreende magnitude, frequência e sincronismo do movimento da água e sedimentos, regimes de perturbação e padrões decorrentes de perturbações (LEOPOLD et al., 1964; SCHUMM, 1977).

Ao passo que o conceito de continuidade fluvial (originalmente RCC: *River Continuum Concept*) propõe o entendimento de padrões consistentes de estrutura e função (física e biológica) ao longo do curso de um rio, o conceito de descontinuidade fluvial (originalmente SDC: *Serial Discontinuity Concept*) aponta para transições abruptas entre segmentos do rio, resultantes de efeitos de construção de barragens, variações locais ou regionais de litologia, geomorfologia, clima e vegetação (LANA e CASTRO, 2006).

Os exercícios de colocar cada dimensão em perspectiva, isolando relações e atributos do sistema, contribuem para a análise de movimentos e conexões específicas, replicáveis em diferentes escalas nos sistemas fluviais. No entanto, isoladamente, a visão de rede não é capaz de descrever completamente a variabilidade presente em um sistema fluvial, visto que, o comportamento dos canais é fortemente influenciado pela história de um local específico, comumente desconsiderada em modelos determinísticos (MURRAY et al., 2014).

Na visão de trechos, é dado enfoque às análises de descontinuidades e controles locais que produzem heterogeneidades na paisagem. As feições que ocorrem nesta escala são resultantes diretas das interações entre fluxo e sedimentos, refletindo a distribuição de energia ao longo de um trecho do rio. Essas relações podem apresentar elevada variabilidade temporal, de acordo com o regime hidrológico do rio. A interação hidráulica entre partículas de diferentes composições e calibres permite o estabelecimento de uma matriz de ambientes para sustentar uma variedade de organismos bentônicos. Da mesma maneira, o tamanho do substrato, sua heterogeneidade, a frequência e o volume de retrabalhamento dos sedimentos são determinantes, por exemplo, para a diversidade e abundância de populações de invertebrados (BRIERLEY e FRYIRS 2005; WU e LOUCKS, 1995).

Novas questões ambientais passaram a demandar a integração destas duas perspectivas (visões de trecho e rede), aliando as análises de atributos físicos observáveis com a previsão de comportamentos e trajetórias de mudança dos rios (NEWSON, 2002). Exemplos disso são as relações entre mudanças de uso do solo com assoreamento e inundação de canais, ocorridos desde períodos coloniais; intervenções de engenharia como retifica-

ções, represamentos e irrigações ocorridos em processos recentes de expansão urbana e agrícola; e relações das mudanças climáticas com magnitude e frequência de processos.

Para lidar com essas questões, as pesquisas em geomorfologia fluvial vêm adotando o paradigma para análise da organização dos sistemas fluviais, denominado de *dinâmica hierárquica de trechos* (FRISSEL, 1986). Essa perspectiva deriva das ideias da teoria da hierarquia, originada na ecologia, na qual os sistemas são apreendidos como elementos dispostos em diferentes níveis de organização. Elementos em níveis mais elevados na hierarquia restringem atributos e comportamento em níveis mais baixos (ALLEN e STARR, 1982).

Para a interpretação de sistemas fluviais, destacam-se dois níveis escalares hierárquicos (POOLE, 2002). O primeiro representa a escala da bacia (regional) e tem como principal objetivo organizar informações sobre a estruturação da rede de drenagem, considerando os principais fatores de controle, sendo eles: o perfil longitudinal do canal, parâmetros morfométricos (padrão de drenagem, densidade, hierarquia e forma da bacia), análise do regime hidrológico e caracterização ambiental regional (geologia, geomorfologia, solos, topografia, clima e uso do solo) (NEWSON e NEWSON, 2000).

O segundo nível de análise corresponde à escala do canal (local), que permite acompanhar fenômenos que ocorrem em níveis de detalhe, fundamentais para a distinção de ambientes fluviais e estabelecimento dos limites onde eles operam. Nesta escala é possível levantar informações sobre a característica do vale; feições morfológicas no canal e sua forma em planta; e material do leito (BISSON e MONTGOMERY, 1996).

Diante deste novo paradigma, surgem ao longo da década de 1990 novos modelos de classificação e análise de rios visando identificar as relações entre processos e formas, sob a perspectiva de que estes ocupam um lugar e função dentro do contexto da paisagem e da bacia hidrográfica (NAIMAN, 1992; ROSGEN, 1994; BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Nestes modelos ocorrem esforços metodológicos para integrar as escalas, refletindo o reconhecimento de que um rio faz parte de um sistema físico com uma história evolutiva. Essa marca do passado é comumente referida como herança, antecedência, memória do sistema, ou contingência histórica, compreendendo as pré-condições de respostas do sistema para eventos de perturbações contemporâneas (MIKA et al., 2010; SIMON e RINALDI, 2006; GOUDIE, 1993).

Diversos pesquisadores passaram, ainda, a estudar os sistemas fluviais através de seus ajustes e mudanças progressivas a partir de diferentes escalas de tempo, que vão desde pequenas variações sazonais às profundas transformações de escala geológica (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Durante longos períodos, influências geológicas como tectônica e controle de nível de base conduzem à evolução da paisagem, moldando o relevo, a declividade, o confinamento do vale e padrões de erosão e sedimentação (Ab'SABER, 1950; BIGARELLA, 1965; SCHUMM e LITCHY, 1965). Estas correspondem às condições de limite impostas ao sistema. Em contraste, influências climáticas definem as condições de limite do fluxo dentro das quais os rios operam. Ou seja, interações entre fluxo, sedimento e vegetação determinam o regime comportamental dos trechos de rios (MURRAY et al., 2014; FRYIRS e BRIERLEY, 2010). Mudanças climáticas podem alte-

rar as condições de limite, possibilitando a criação de um novo tipo de rio com uma capacidade de ajuste diferente (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Exemplo deste processo é o modelo teórico de Bigarella e Mousinho (1965) acerca das oscilações climáticas pleistocênicas no reafeiçoamento do relevo tropical do sudeste brasileiro e formação de depósitos correlativos regionais.

Em escalas de tempo mais curtas, os rios estão sujeitos a um conjunto de eventos impactantes, tais como inundações, secas e queimadas. Tais eventos são concebidos como perturbações ao sistema fluvial, sendo definidas como uma mudança na intensidade dos processos, referindo-se a qualquer fator que afete as condições de limite (OWENS et al., 2010; BOLATTI et al., 2014). Eventos de perturbação são, portanto, aqueles que interferem nas taxas de ajustes podendo incorrer em mudanças nos rios (GAEUMAN et al, 2005). Porém, as taxas nas quais os rios se ajustam variam de sistema para sistema e ao longo de diferentes períodos de tempo, de maneira que é necessária diferenciação entre os conceitos de ajuste, comportamento e mudança.

Em sistemas fluviais, a capacidade de ajuste é uma medida da variabilidade potencial e extensão de ajustes geomorfológicos que podem ocorrer ao longo de um rio (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). O comportamento fluvial reflete ajustes geomorfológicos e ecológicos em curso ao longo de períodos nos quais as condições de contorno de fluxo permanecem relativamente uniformes (por exemplo, regime de descarga sólida e líquida), de maneira que um trecho mantenha uma configuração característica da relação de forma e processo. A mudança fluvial, por outro lado, ocorre quando um segmento do rio apresenta uma substituição indiscriminada em sua relação de forma e processo estabelecida (SCHUMM, 1969). Isto pode ser induzido por uma perturbação de ordem natural ou antrópica.

Ocasionalmente, os rios são sujeitos a mudanças dramáticas e quase instantâneas em resposta a eventos catastróficos. Em alternativa, se o sistema se encontra perto de uma condição de limite, eventos relativamente pequenos podem reconfigurar o sistema, transformando-o (SCHAEFFER et al., 2001). Desse modo, as mudanças em um rio podem ocorrer quando fatores intrínsecos (p. ex., declividade) e extrínsecos (p. ex., clima) transgridam abruptamente a condição de limite, bem como através de ajustes progressivos (p. ex., desmatamento).

Lake (2000) descreve a variabilidade do ritmo e magnitude dessas perturbações, que se distinguem amplamente de sistema para sistema. *Pulso de Perturbação* são os eventos episódicos de baixa frequência, alta magnitude e duração limitada (p. ex., inundações sazonais), cujos efeitos tendem a ser localizados. Impactos fora do local de ocorrência são mínimos e breves, assim como a reorganização do material do leito dentro do trecho do rio após a enchente. *Perturbação de Pressão* corresponde à alteração persistente e contínua das condições de limite do fluxo (p. ex., construção de uma barragem). Tais eventos e suas respostas ocorrem sobre áreas maiores do que o tipo *Pulso de Perturbação*, e as respostas não são espacialmente uniformes e tendem a ser mais permanentes. Por último, *Perturbação Progressiva* são eventos cuja força de sua influência cresce continuamente ao longo do tempo e do espaço. Exemplos incluem secas prolongadas, que promovem a sedimentação no leito, e perda progressiva de vegetação nativa, que induzem mudanças na hidrologia de encostas.

Para Brunsden e Thornes (1979), além dos tipos de impactos, é necessário compreender as respostas do sistema a eventos de perturbação individuais, pois são seus efeitos cumulativos que determinam a trajetória evolutiva do rio.

Os tipos de respostas do sistema fluvial aos diferentes tipos de perturbação variam, refletindo as condições da paisagem e a conectividade do sistema (HOOKE, 2003). O conceito de conectividade é definido como a transferência de matéria e energia entre diferentes compartimentos do sistema (BRIERLEY et al., 2006). Em paisagens conectadas, os efeitos de perturbação são frequentemente propagados através delas. Em contraste, respostas às perturbações são ineficientemente propagadas através de paisagens desconectadas. Barragens, por exemplo, amortecem fluxos de água e sedimentos, absorvendo os impactos (FRYIRS et al., 2007).

Brunsdén e Thornes (1979) propõem três categorias para analisar os tipos de respostas em sistemas, sendo elas o *tempo de reação*, *tempo de relaxamento* e *tempo de recuperação*. O tempo de reação é definido como o tempo necessário para que o sistema responda à alteração de intensidade de um processo. Tempo de recuperação compreende uma medida da capacidade geral do sistema para retornar ao seu estado antecedente, ou alcançar uma forma característica entre eventos de perturbação. Dependendo da sensibilidade do sistema às perturbações e o tempo entre estes eventos, várias formas de recuperação podem ocorrer. A rápida recuperação ocorrerá em sistemas autoajustáveis e, nesse caso, o sistema é capaz de se adaptar muito facilmente e rapidamente após a perturbação. A reação e o tempo de relaxamento são rápidos. A demora na recuperação de um distúrbio ocorre após um intervalo de tempo. O tempo de reação pode ser rápido, mas o sistema leva algum tempo para voltar ao seu estado anterior. Alguns distúrbios podem forçar um sistema além de sua capacidade de manter ou recuperar a sua forma. Nestes casos, o sistema se ajusta para uma condição de fluxo alterada e uma nova configuração é formada, onde eventos podem deixar uma impressão persistente sobre a paisagem.

Cheias de diferentes magnitudes, frequência e duração proporcionam diferentes formas e taxas de ajustes geomorfológicos para diferentes tipos de rios. A análise da relação magnitude-frequência de cheias e a avaliação do histórico de vazões são necessárias para interpretar quais eventos moldam e ajustam dentro de uma morfologia característica e os eventos que alteram a trajetória evolutiva de um segmento do rio. O conhecimento dessas relações é de grande relevância para elaboração de prognósticos de ajustes fluviais e mudanças.

Novos Paradigmas para Trabalhar na Gestão dos Rios

Pode-se considerar o estado natural como uma forma de estado histórico do rio, uma condição de referência ou uma preconcepção artificial de como o rio deveria se parecer? (Tradução de Fryirs e Brierley, 2009, p. 2).

O planejamento e o manejo de rios ao redor do mundo têm trazido para a agenda da gestão pública a discussão de duas vertentes teóricas e conceituais, que põem em disputa o *'design'* dos rios, isto é, a maneira como os rios devem ser e funcionar (BRIERLEY e FRYIRS, 2008). De um lado, um modelo tradicional, iniciado por volta do século XVIII,

preconizando a domesticação dos rios através da adaptação do fluxo e modificação do seu comportamento para condições desejadas; de outro, um modelo mais recente, surgido em meados do século XX, que busca alcançar um estado natural dos sistemas fluviais adaptando e orientando as ocupações à dinâmica natural dos rios. Em outras palavras, “o rio do meu jeito” *versus* “o rio do jeito do rio” (WILLIAMS, 2001).

O modelo de domesticação abrange estratégias de drenagem das vazões pelo caminho mais curto e com a maior velocidade de escoamento possível. Tal premissa tem como objetivos principais ganhar novas terras para a agricultura e urbanização, bem como minimizar os efeitos locais das cheias. Por décadas, as obras com base nesta concepção, sistematicamente, apresentaram consequências não consideradas ou avaliadas no planejamento, como: ajustes e mudanças nos processos geomorfológicos, redução da variedade de biota e prejuízos materiais e humanos cada vez maiores em função de cheias (JAMES e MARCUS, 2006).

Já o modelo de condição natural trabalha com objetivos que priorizam o reestabelecimento mais próximo possível da biota e preservação das áreas naturais de inundação, através do manejo regular ou de programas de gestão orientando práticas que viabilizem tais funções (ROSGEN, 2006).

Neste contexto, destaca-se a importância da integração das visões de rede e trechos na análise da organização de sistemas fluviais, sendo estas, maneiras de preparar o olhar de pesquisadores e envolvidos no processo de gestão para analisar criticamente arcações de “soluções prontas” (MIKA et al., 2010). Isso contribui para se evitar equívocos nas tomadas de decisão decorrentes da generalização de conhecimentos e transferência de descobertas para fora do seu contexto original.

Para Brierley e Fryirs (2009) e Brierley (2010), o manejo de rios deve buscar reconectar a sociedade ao lugar (cotidiano emocionalmente envolvido contido na dinâmica geral de espaço-tempo de processos socioecológicos) e promover prospectos para melhorar a “saúde” do rio (integridade de ecossistemas aquáticos e sistemas geomorfológicos), tornando-se parte do desenvolvimento sociocultural. Segundo esses autores, o manejo de rios é, portanto, ao mesmo tempo, um processo social e técnico.

Nesta perspectiva, as questões que permeiam as tomadas de decisão precisam ser respondidas para cada caso, tendo-se em conta as características de cada bacia e de cada canal, refletindo a trajetória de ajuste dos rios e dos valores da própria sociedade perante os seus recursos naturais (HOOKE, 2003; BROOKES, 1987).

No Brasil, apesar da existência de leis que dispõem sobre zoneamento e o ordenamento do uso e ocupação do território, inundações frequentes e problemas sociais graves relacionados à habitação e saneamento afetam, ainda nos dias de hoje, populações em diversos municípios. A exemplo dos rios da região norte do estado do Rio de Janeiro, onde o processo de uso e ocupação incorreu em diversos impactos diretos (modificações diretas no canal, como retificações e represamentos) e indiretos (atividades humanas realizadas fora da área dos canais, mas que modificam o comportamento do rio), resultantes de décadas de um modelo predominantemente de domesticação na gestão ambiental (MARÇAL, 2013; LIMA e MARÇAL, 2013; ASSUMPTÃO e MARÇAL, 2012).

Nesse sentido, devemos observar que o período Antropoceno envolve o conjunto das mudanças provocadas nos sistemas fluviais, que produziram, dentre outros efeitos,

o aprofundamento da crise hídrica, que hoje, desafiam a geomorfologia fluvial a compreender, a partir dos arcabouços conceituais contemporâneos, as trajetórias de evolução dos rios.

Conclusão

O estudo de sistemas complexos tem evoluído nos últimos 30 anos, desenvolvendo e demandando novos conceitos, ferramentas e maneiras de compreender antigos fenômenos. As recentes mudanças em nossas perspectivas de observações sobre causa e efeito estão ajudando a expandir nosso olhar e reflexões para novas explicações possíveis de eventos da paisagem, suas estruturas e comportamentos.

Na literatura científica, tem-se observado um número crescente de pesquisas voltadas ao entendimento da diversidade e o dinamismo dos sistemas complexos e suas respostas frente às perturbações causadas pelo homem. Nessa perspectiva, a geomorfologia fluvial contemporânea tem buscado compreender a organização dos sistemas fluviais, a partir da leitura integrada do paradigma da continuidade e descontinuidade. Esta necessidade de uma visão integrada tem estimulado, no âmbito da geomorfologia, o surgimento de novos instrumentos teórico e metodológicos.

Nesse sentido, a compreensão dos sistemas fluviais a partir dinâmica hierárquica dos trechos será importante para colocar em perspectiva as diferentes escalas espaciais e temporais em que operam o sistema fluvial. Basicamente, os processos e formas fluviais vêm sendo cada vez mais identificados e interpretados a partir da estruturação e organização das escalas espaciais e temporais em uma rede hierarquizada. Desse modo, os novos modelos explicativos desenvolvem-se a partir das relações entre as condições de limite do sistema e os componentes de trechos de canal-planície para determinar as formas e comportamentos resultantes.

Considerando que a geomorfologia fluvial tem interseção com outras áreas (geologia, engenharia hidráulica e ecologia), faz com que os conceitos trabalhados nesta disciplina, também alcancem e sejam alcançados por outras áreas científicas que contribuem para a prática do manejo e gestão dos rios, na perspectiva dos sistemas complexos.

Abordagens relativas à preservação e manejo dos rios variam significativamente de lugar para lugar e as tentativas de melhorar a saúde do rio estão subordinadas aos esforços de gerir o espaço e o uso da água de forma mais eficaz, minimizando as consequências antrópicas negativas nos sistemas fluviais. O manejo de rios e a gestão de bacia são, portanto, um processo contínuo, que se refere tanto a um movimento social e modo de vida como um exercício técnico e científico.

Referências Bibliográficas

AB'SABER. A Serra do Mar e a Mata Atlântica em São Paulo. *Bol. Paulista Geografia*, v. 2, n. 4, p. 61-70, 1950.

ALLEN, T.; STARR, T. *Hierarchy*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1982.

BISSON, P. A.; MONTGOMERY, D. R. Valley Segments, Stream Reaches and Channel Units. In: HAUER, R. F. R.; LAMBERT, G. A. (Eds.). *Methods in Stream Ecology*. Londres: Academic Press, 1996, p. 23-52.

ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé (RJ). *Revista de Geografia*, Recife, v. 29, p. 19-36, 2012.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the Study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H. E. Jr.; FREY, D. G. (Eds.). *International Studies on the Quaternary*. Geol. Soc. Am. Spec. Papers. New York, 84, 1965, p. 433-451.

_____; MOUSINHO, M. R. M. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. *Boletim Paranaense Geografia*, n. 16/17, p. 153-197, 1965.

BOLLATI, I.M.; PELLEGRINI, L.; RINALDI, M.; DUCI, G.; PELFINI, M. Reach-Scale Morphological Adjustments and Stages of Channel Evolution: the Case of the Trebbia River (northern Italy). *Geomorphology*, v. 221, p. 176-186, 2014.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005.

_____; FRYIRS, K. Don't Fight the Site: Three Geomorphic Considerations in Catchment-Scale River Rehabilitation Planning. *Environmental Management*, v. 43, n. 6, p. 1201-1218, 2009.

_____; _____. *Space, Place and a Healthy Dose of Realism Grounding the Process of River Repair. 4th ECRR Conference on River Restoration*. Italy, Venicltália, Veneza, Ilha de S. Servolo, p. 16-21, 2008.

_____; _____. JAIN, V. Landscape Connectivity: The Geographic Basis of Geomorphic Applications. *Area*, v. 38, n. 2, p. 165-174, 2006.

_____. Landscape Memory: The imprint of the Past on Contemporary Landscape Forms and Processes. *Area*, v. 42, n. 1, p. 76-85, 2010.

BROOKES, A. Restoring the Sinuosity of Artificially Straightened Stream Channels. *Environmental Geology and Water Science*, v. 10, p. 33-41, 1987.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J.B. Landscape Sensitivity and Change. *Translates of the Institute of British Geographers*, v. NS4, p. 463-484, 1979.

CHORLEY, R. Geomorphology and general systems theory. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, n. 500B, p. 1-10, 1962.

_____; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: a Systems Approach*. Londres: Prentice-Hall, 1971.

CORRÊA, A. C. B. A Geografia Física: uma pequena revisão de seus enfoques. *Rios*, v. 1, p. 170-181, 2005.

CULLUM, C.; BRIERLEY, G. J.; THOMS, M. The Spatial Organization of River Systems. In: BRIERLEY, G. J.; KIRSTIE, A. (Eds.) *River Futures: an Integrative Scientific Approach To River Repair*. Island Press, Society for Ecological Restoration International, p. 43-64, 2008.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. *Geographical Journal of Royal Society*, n. 14, p. 481-504, 1899.

FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context. *Environmental Management*, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and Place in River Rehabilitation. *Ecology and Society*, v. 14, n. 1, p. 20, 2009.

_____; _____. Antecedent Controls on River Character and Behaviour in Partly Confined Valley Settings: Upper Hunter Catchment, NSW, Australia. *Geomorphology*, v. 117, n. 1-2, p. 106-120, 2010.

_____; _____. PRESTON, N. J.; KASAI, M. Buffers Barriers and Blankets: the (Dis)Connectivity of Catchment-Scale Sediment Cascades. *Catena*, v. 70, p. 49-67, 2007.

GAEUMAN, D.; SCHMIDT, J. C.; WILCOCK, P. R. Complex Channel Responses to Changes in Stream Flow and Sediment Supply on the Lower Duchesne River, Utah. *Geomorphology*, v. 64, n. 3-4, p. 185-206, 2005.

GILBERT, G. K. The Transportation of Debris by Running Water. *US Geological Survey Professional Paper*, n. 86, 1914.

GOUDIE, A. *The Human Impact: Man's Role in Environmental Change*. Oxford: Blackwell, 1993.

HACK, J. T. Studies of longitudinal profiles in Virginia and Maryland. *U.S. Geological Survey Professional Paper 294-B*, Washington DC, 1957.

HOOKE, J. Coarse Sediment Connectivity in River Channel Systems: a Conceptual Framework And Methodology. *Geomorphology*, v. 56, n. 1-2, p. 79-94, 2003.

HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydro-physical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

JAMES, L. A.; MARCUS, W. A. The Human Role in Changing Fluvial Systems: Retrospect, Inventory and Prospect. *Geomorphology*, v. 79, n. 3-4, p. 152-171, 2006.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: DODGE, D. P. (Ed.). *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci., n. 106, p. 110-127, 1989.

LAKE, P. S. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 19, p. 573-46, 2000.

LANA, C.; CASTRO, P.T. Respostas da rede de drenagem à heterogeneidade geológica em bacias hidrográficas: uma comparação entre as bacias do Alto Rio das Velhas e Jequitaiá — MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, Goiânia. *Anais*. Goiânia, Brasil, 2006.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial Process in Geomorphology*. San Francisco: W. F. Freeman and Co., 1964.

LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé — RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p. 171-179, 2013.

MANDELBROT, B. B. *The fractal geometry of nature*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1983.

MARÇAL, M. S. Análise das mudanças morfológicas em seções transversais ao Rio Macaé - RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p. 59-68, 2013.

MIKA, S.; HOYLE, J.; KYLE, G.; HOWELL, T.; WOLFENDEN, B.; RYDER, D.; KEATING, D.; BOULTON, A.; BRIERLEY, G.; BROOKS, A. P.; FRYIRS, K.; LIESHMAN, M.; SANDER, M.; ARHINGTON, A.; CREESE, R.; DAHM, M.; MILLER, C.; PUSEY, B.; SPINK, A. Inside the “Black Box” of River Restoration: Using Catchment History to Identify Disturbance and Response Mechanisms to Set Targets for Process-Based Restoration. *Ecology and Society*, v. 15, n. 4, p. 8, 2010.

MONTGOMERY, D. R. Process Domains and the River Continuum. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 35, n. 2, p. 397-410, 1999.

MORIN, E. *O Método 1. A natureza da natureza*. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2013.

MURRAY, A. B.; COCO, G.; GOLDSTEIN, E. B. Cause and Effect in Geomorphic Systems: Complex Systems Perspectives. *Geomorphology*, v. 214, p. 1-9, 2014.

NAIMAN, R. J.; LONZARICH, D. G.; BEECHIE, T. J. General Principles of Classification and the Assessment of Conservation Potential of Rivers. In: BOON, P. J.; CALOW, P.; PETTS, G. E. (Eds.). *River Conservation and Management*. Chichester: Wiley, 1992, p. 93-123.

NEWSON, M. D. Geomorphological Concepts and Tools for Sustainable River Ecosystem Management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 12, n. 4, p. 365-379, 2002.

NEWSON, M. D.; NEWSON, C. L. Geomorphology, Ecology and River Channel Habitat: Mesoscale Approaches to Basin-Scale Challenges. *Progress in Physical Geography*, v. 24, p. 195-221, 2000.

OWENS, P. N.; PETTICREW, E. L.; VAN DER PERK, M. Sediment Response to Catchment Disturbances. *Journal of Soils and Sediments*, v. 10, n. 4, p. 591-596, 2010.

PETTS, G. E.; AMOROS, C. *Fluvial Hydrosystems*. Londres: Chapman & Hall, 1996.

PIÉGAY, H.; KONDOLF, M.; MINEAR, T.; VAUDOR, L. Trends in Publications in Fluvial Geomorphology Over Two Decades: A Truly New Era in the Discipline Owing to Recent Technological Revolution? *Geomorphology*, v. 248, p. 489-500, 2015.

POOLE G. C. Fluvial Landscape Ecology: Addressing Uniqueness Within the River Discontinuous. *Freshwater Biology*, v. 47, p. 641-660, 2002.

ROSGEN, D. L. River Restoration Using a Geomorphic Approach FOR Natural Channel Design. *PROCEEDINGS of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC)*, p. 394-401, 2006.

ROSGEN, D. L. The classification of natural rivers. *Catena*, v. 22, p.169-199, 1994.

SCHEFFER, M. S.; CARPENTER, J. A.; FOLEY, C. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, n. 413, p. 591-96, 2001.

SCHUMM, S. A., River Metamorphosis. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of the Hydraulics Division*, v. 95, p. 255-273, 1969.

_____. *The Fluvial System*. Chichester: J. Wiley & Sons, 1977.

_____. Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems. In: MORISAWA, M. (Ed.). *Fluvial Geomorphology*. Nova York: SUNY Binghamton Publications in Geomorphology, 1973.

_____; LICHTY, R.W. Time, Space and Causality in Geomorphology. *American Journal of Science*, v. 263, p. 110-119, 1965.

SIMON, A.; RINALDI, M. Disturbance, Stream Incision, and Channel Evolution: the Roles Of Excess Transport Capacity and Boundary Materials in Controlling Channel Response. *Geomorphology*, v. 79, n. 3-4, p. 361-383, 2006.

SMITH, D. G. Fluvial geomorphology: where do we go from here? *Geomorphology*, v. 7, n. 1-3, p. 251-262, 1993.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. *Revista IG-USP*, v. 16, p. 1-52, 1977.

STANFORD J. A; WARD J. V. An Ecosystem Perspective of Alluvial Rivers: Connectivity and the Hyporheic Corridor. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 12, p. 48-60, 1993.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) — Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Science*, v. 37, p. 130-137, 1985.

VAUDOR, L. Trends in Publications in Fluvial Geomorphology Over Two Decades: a Truly New Era in the Discipline Owing to Recent Technological Revolution? *Geomorphology*, v. 248, p. 489-500, 2015.

VITTE, A. C. A Construção da Geomorfologia no Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, n. 3, p. 91-108, 2011.

VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M. A geometria fractal da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner-SC. *Revista Árvore*, v. 34, n. 4, p. 661-668, 2010.

WARD, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of North American, Benthological Society*, v. 8, p. 2-8, 1989.

_____; STANFORD, J. A. The Serial Discontinuity Concept: Extending the Model to floodplains Rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 10, p. 159-168, 1995.

WHITEHEAD, M. *Environmental Transformation. A Geography of Anthropocene*. Londres: Routledge, 2014.

WILLIAMS, P. B. River Engineering Versus River Restoration. ASCE Wetlands. A Keynote Speech Given at Engineering and River Restoration Conference. Reno, Nevada, 2001.

WOHL, E. Time and the Rivers Flowing: Fluvial Geomorphology Since 1960. *Geomorphology*, v. 216, p. 263-282, 2014.

WOLMAN, M. G.; LEOPOLD, L. B. River Flood Plains: Some Observations on Their Formation. *U.S. Geological Survey Professional Paper 282C*. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, p. 87-109, 1957.

_____; GERSON, R. Relative Scales of Time and Effectiveness of Climate in Watershed Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 3, p. 189-208, 1978.

WU, J. G.; LOUCKS, O. L. From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: a Paradigm Shift in Ecology. *Quarterly Review of Biology*, v. 70, n. 4, p. 439-466, 1995.

Recebido em: 13/06/2016

Aceito em: 19/06/2016

Critical Analysis of the van Bemmelen Conversion Factor used to Convert Soil Organic Matter Data to Soil Organic Carbon Data: Comparative Analyses in a UK Loamy Sand Soil

Análise Crítica do Fator de Conversão van Bemmelen usado para Converter Dados de Matéria Orgânica de Solo em Dados de Carbono Orgânico: Análises Comparativas em um Solo Franco-Arenoso do Reino Unido

Lee Heatonⁱ

University of Wolverhampton
Wolverhampton, United Kingdom

Michael A. Fullenⁱ

University of Wolverhampton
Wolverhampton, United Kingdom

Ranjan Bhattacharyyaⁱⁱ

Centre for Environment Science and Climate
Resilient Agriculture, New Delhi, India

Abstract: Converting soil organic matter (SOM) data to soil organic carbon (SOC) data usually uses the van Bemmelen factor of 0.58 (or in reverse its reciprocal of 1.724) as a universal conversion factor. The accuracy of this conversion factor has been questioned. Under the Kyoto Protocol (1997) dry combustion is recommended to provide reproducible analyses to measure soil carbon stocks. However, dry combustion equipment is expensive and entails high maintenance. For rapid and inexpensive measurements, loss-on-ignition (LOI) is often used. A total of 278 loamy sand topsoil (0-5 cm depth) samples were taken during three soil sampling sessions (9 January 2007, 22 January 2009 and 10 October 2011) from runoff plots, splash erosion plots and grassed/cultivated plots on the Hilton Experimental Site, Shropshire, UK. A total of 124 soil samples were collected from both runoff and splash plots in both 2007 and 2009 (Bhattacharyya *et al.*, 2011a). Some 22 of the collected samples in 2011 were from grassland (Ah horizon) and eight from cultivated soils (Ap horizon). Homogenized soil samples were split and SOM was deter-

ⁱ Faculty of Science and Engineering, The University of Wolverhampton, Wolverhampton WV1 1LY, UK. m.fullen@wlv.ac.uk.

ⁱⁱ Centre for Environment Science and Climate Resilient Agriculture, NRL Building, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, 110012, India.

mined on oven-dried samples by LOI and total SOC was determined by dry combustion. A conversion factor of 0.845 was used to obtain SOC from total soil C, following Rawlins *et al.* (2011). Results showed strong associations ($R^2 = 0.70$, $P < 0.001$, $n = 278$) between SOM and SOC data. For all data, SOM to SOC conversion factors varied between 0.36-0.98, with a mean value of 0.66 (SD = 0.105). The mean values of the conversion factor were 0.64, 0.69 and 0.56, respectively, for the samples collected in 2007, 2009 and 2011. Results indicate the van Bemmelen factor (0.58) is a reasonable predictor, but both temporal and spatial variations occur around it within a specific soil type. Thus, caution should be exercised in SOM/SOC data conversions using the van Bemmelen factor.

Keywords: Soil Organic Matter; Soil Organic Carbon; Hilton Experimental Site; van Bemmelen Conversion Factor.

Resumo: Para conversão de dados de Matéria Orgânica de Solo (SOM) em dados de Carbono Orgânico de Solo (SOC) geralmente se usa o fator van Bemmelen de 0,58 (ou inverter a sua recíproca de 1.724) como fator de conversão universal. A precisão deste fator de conversão tem sido questionada. Pelo Protocolo de Quioto (1997) a combustão seca é recomendada para fornecer análises que buscam medir estoques de carbono do solo. No entanto, equipamentos de combustão a seco são caros e exigem elevada manutenção. Para medições rápidas e de baixo custo é frequentemente utilizado a perda de peso por ignição (LOI). Um total de 278 amostras de solo franco-areno foram coletadas entre 0-5 cm de profundidade em sessões de três solos em 09 de janeiro de 2007, 22 de janeiro de 2009 e 10 de outubro de 2011, a partir de parcelas de erosão em áreas gramadas de pastagens e parcelas em áreas cultivadas na estação experimental de Hilton, Shropshire, Reino Unido. Um total de 124 amostras de solo foram coletadas de parcelas de escoamento superficial e de *splash* nos anos de 2007 e 2009 (Bhattacharyya *et al.*, 2011a). Cerca de 22 das amostras foram coletadas em 2011 nas áreas de pastagens (Horizonte Ah) e oito em solos cultivados (Horizonte Ap). As amostras de solo foram homogeneizadas e divididas para análise de SOM, que foi determinada em amostras secas ao forno, e análise de LOI e SOC total que foram determinadas por via seca. Um fator de conversão de 0,845 foi utilizada para se obter o SOC total de C, seguindo Rawlins *et al.* (2011). Os resultados mostraram fortes associações ($R^2 = 0,70$, $p < 0,001$, $n = 278$) entre os dados da MOS e SOC. Para todos os dados, a SOM e os fatores de conversão SOC variaram entre 0,36-0,98, com um valor médio de 0,66 (DP = 0,105). Os valores médios do fator de conversão foram 0,64, 0,69 e 0,56, respectivamente, para as amostras coletadas em 2007, 2009 e 2011. Os resultados indicam que o fator de van Bemmelen (0,58) é um preditor razoável, mas ambas as variações temporais e espaciais ocorrem em torno de um tipo de solo específico. Assim, deve-se ter cuidado em conversões de dados SOM/SOC usando o fator van Bemmelen.

Palavras-chave: Matéria Orgânica de Solo; Carbono Orgânico de Solo; Estação Experimental de Hilton; Fator de Conversão van Bemmelen.

Introduction

Soil organic matter (SOM) is a fundamental soil property which interacts with multiple aspects of soil system dynamics. SOM affects soil structure, soil erodibility, moisture

retention, nutrient retention and availability and the nature and properties of soil flora and fauna (LOVELAND and WEBB, 2003; FULLEN and CATT, 2004). Thus, accurate and reproducible analyses of SOM are crucial in Soil Science. Much SOM consists of soil organic carbon (SOC) and the importance of SOC is given increasing prominence due to its pivotal role in carbon storage and sequestration (BHATTACHARYYA et al., 2012) and its inter-relationships with climate change (LAL, 2008).

Progress in international comparability of SOM/SOC datasets is impeded by different countries using different analytical protocols (JANKAUSKAS et al., 2006). It is also essential to calibrate SOM and SOC values. Generally, the van Bemmelen constant is used, assuming that 58% of SOM is SOC. The constant is frequently used uncritically in Soil Science and some researchers have suggested caution in using the constant (HOWARD and HOWARD, 1990; SCHUMACHER, 2002). This study analysed the SOM and SOC content of loamy sand topsoils sampled in the UK and performed split analyses of SOC and SOM following the dry combustion method (NELSON and SOMMERS, 1982) and loss-on-ignition (LOI) (BALL, 1964), respectively, to critically evaluate the applicability of the van Bemmelen constant.

Materials and Methods

The Hilton Experimental Site, Shropshire, UK (National Grid Reference SO778952) was established in 1979 for studies on soil erosion and conservation (FULLEN, 1998) (Plates 1 and 2). Soil texture is loamy sand, with a typical texture of 79.8% sand (2000-63 μm), 14.8% silt (63-2 μm) and 5.4% clay (<2 μm) (FULLEN and BRANDSMA, 1995; FULLEN et al., 1998). Data on the spatial and temporal dynamics of SOM have been collected since 1985. For ease, rapidity and comparability of analysis, SOM has been determined using the LOI protocol of Ball (1964) in the UK. This involves prolonged moderate temperature ignition (375°C for 16 hours) of oven-dried fine-earth (<2.0 mm) fractions in a muffle furnace. A total of 124, 124 and 30 topsoil samples (0-5 cm) were collected on 9 January 2007, 22 January 2009 and 10 October 2011, respectively, from runoff plots and splash erosion plots, and grassed/cultivated plots in the Hilton Experimental Site, Shropshire, UK (FULLEN and BOOTH, 2006).

Different erosion control treatments were imposed in the runoff plots in 2007 and the samples were collected before and after two years of experiments. Before experiments commenced, some plots (six out of 10 plots) were under continuous pasture for over two years and were used for another study to test the effectiveness of Borassus (a palm-mat) buffer strip plots in reducing soil erosion during 2002-2004 (BHATTACHARYYA et al., 2009). Previously these plots were occasionally used for undergraduate student projects since 1998, when two (out of 10 plots) were used as bare plots. Some plots (four out of 10 plots) were permanent grassland plots. To produce a broad intra-site variation in SOM/SOC values, 22 of the collected samples in 2011 were from grassland (Ah horizon) and eight from cultivated soils (Ap horizon).

Soil samples were air-dried for seven days and then oven-dried at 105°C overnight. Studies of the van Bemmelen conversion factor were carried out using a split-laboratory analysis of homogenized soil subsamples. SOM concentrations were analysed at the Uni-



Plate 1 – Aerial view of the Hilton Experimental Site, Shropshire, England, UK.



Plate 2 – Detailed view of the Hilton runoff plots.

versity of Wolverhampton, UK. SOC concentrations were analysed at the Vivekananda Parvatiya Krishi Anusandhan Sansthan (VPKAS), Almora, India (during 2007 and 2009) and at the Indian Agricultural Research Institute (IARI), New Delhi, India, in 2011. The Wolverhampton laboratory used the LOI method of Ball (1964) on oven-dried samples (fine-earth fractions <2.0 mm).

SOM (LOI) was calculated using the equation:

$$[\text{Weight soil before ignition (g)} - \text{weight soil after ignition (g)} / \text{weight of soil before ignition (g)}] \times 100.$$

The SOC concentration of replicate <0.2 mm 5 g subsamples were analysed by dry combustion at the VPKAS, Almora, and at the IARI laboratory in New Delhi. This technique mirrored the LOI technique preparation, as it used homogenised air and oven-dried soil samples. The dry combustion technique was to place the sample into a furnace that used pure O₂ to combust the organic matter for 1 hour at 900°C and then transport the gases through scrubbers to a spectrophotometric detection unit, which measured CO₂ evolved from the original combustion using an infrared spectrometer at infrared wavelengths of 2.6-4.0 µm. Measurements are then converted to percentages to give precise readings of organic matter content. The carrier gas used in this instance was He to transport evolved CO₂ to the spectrometer. We did not determine the inorganic C concentrations in the soil samples, and hence, a conversion factor of 0.845 was used to obtain SOC from total soil C for the UK topsoils, as recommended by Rawlins et al. (2011).

Results and Discussion

Soil organic matter and SOC values along with their descriptive statistics are presented in Table 1. Conversion factors were calculated to convert the SOM values to SOC values for the sampling in individual years and for all three years. Results indicate there are strong positive associations between the SOM and SOC datasets obtained from the collected samples in 2007, 2009 and 2011 (Figures 1, 2 and 3). When all data are combined, the overall relationship is $\text{SOM} = 1.42 \times \text{SOC} + 3.09$; $R^2 = 0.70$; $n = 278$; $P < 0.001$ and the conversion factor (to obtain SOC from SOM data) is 0.66 (means 66% of SOM = SOC) (Figure 4). The correlation coefficient (of SOM and SOC) was highest for the 2011 dataset (Figure 3; $R^2 = 0.82$; $n = 30$; $P < 0.001$) and least for the 2007 dataset (Figure 1; $R^2 = 0.56$; $n = 124$; $P < 0.001$). Although the samples were taken from the same site in 2007 and 2009, both the association between SOM and SOC and the conversion factor vary. The conversion factor (to obtain SOC from SOM data) was greatest (0.69) for samples collected in 2009 and least (0.56) for samples collected in 2011 (Table 1). Thus, the obtained conversion factor had both spatial and temporal variations, and probably depends upon management and land use practises even within a specific agro-ecosystem.

Table 1 – Soil organic matter (SOM) and soil organic carbon (SOC) concentrations of topsoil (0-5 cm) samples from the Hilton Experimental Site (UK) and the conversion factors to obtain SOC from SOM data.

YEAR OF SAMPLING	SOIL ORGANIC MATTER (G KG ⁻¹)					SOIL ORGANIC C (G KG ⁻¹)					Conversion factor (SOC/SOM)
	Max.	Min.	Mean	SD	N of samples	Max.	Min.	Mean	SD	N of samples	
2007	54.6	23.0	34.8	7.0	124	35.5	12.4	22.2	5.6	124	0.64
2009	53.3	18.0	32.8	7.9	124	35.8	12.7	22.5	5.7	124	0.69
2011	82.2	32.5	56.9	15.7	30	47.9	19.9	31.5	8.6	30	0.56
All years	82.2	18.0	38.6	14.9	278	47.9	12.4	24.7	7.6	278	0.66

SD = Standard deviation.

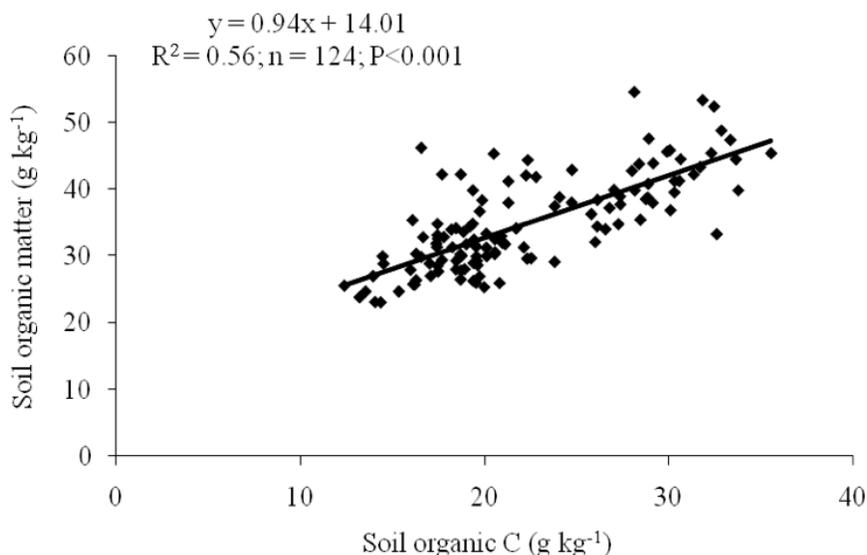


Figure 1 – Relationship between soil organic matter and soil organic carbon concentrations of topsoil samples collected in 2007 from runoff plots at the Hilton Experimental Site, UK.

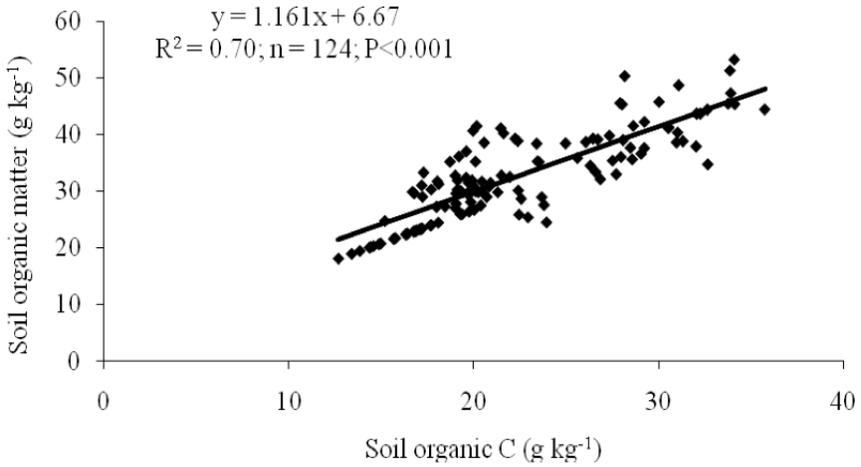


Figure 2 – Relationship between soil organic matter and soil organic carbon concentrations of topsoil samples collected in 2009 from runoff plots at the Hilton Experimental Site, UK.

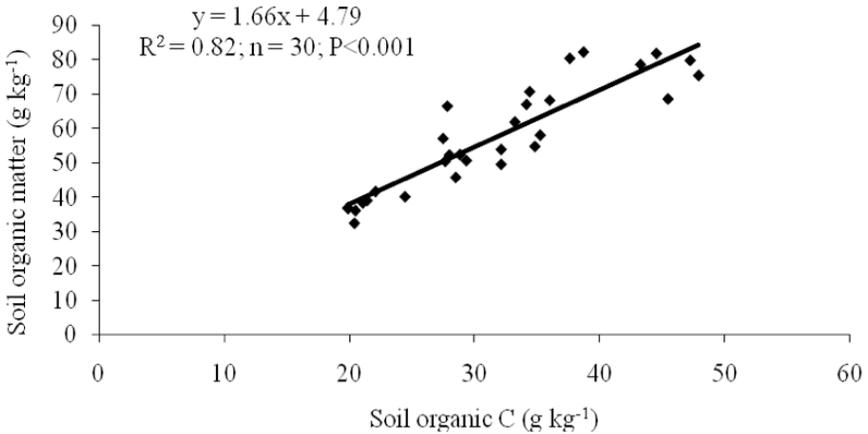


Figure 3 – Relationship between soil organic matter and soil organic carbon concentrations of topsoil samples collected in 2011 from grassed/cultivated plots at the Hilton Experimental Site, UK.

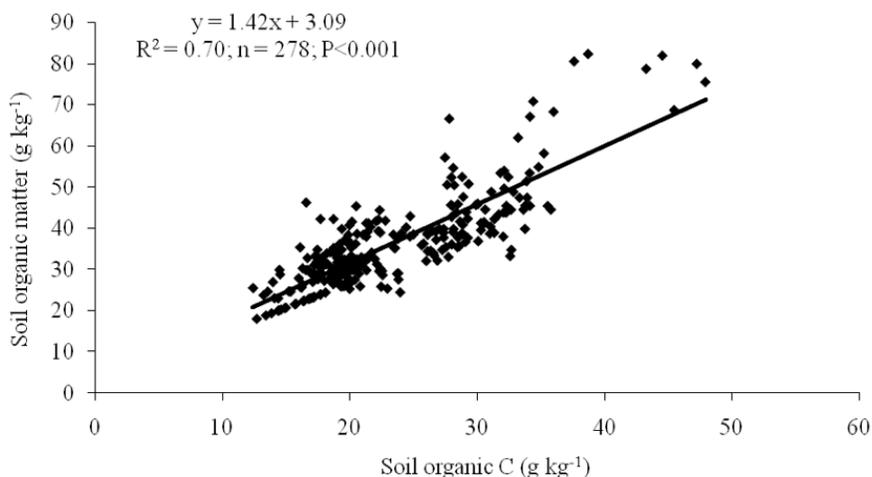


Figure 4 – Relationship between soil organic matter and soil organic carbon concentrations of topsoil samples collected in all years from runoff plots and grassed/cultivated plots at the Hilton Experimental Site, UK.

The variations in the obtained conversion factors from soil samples taken from the runoff plots in 2007 and 2009 was probably due to greater decomposition of topsoil SOM and partly due to soil conservation by the Borassus and Buriti mats (BHATTACHARYYA et al., 2011a). The initial (2007) SOM of Hilton comprised of additional products, including partially-decomposed or undecomposed organic materials; whereas the 2009 soil samples were more decomposed and contained less partially-decomposed or undecomposed organic materials (BHATTACHARYYA et al., 2011b). The 2007 soil samples might have contained more non-humified compounds (mainly plant tissues) to yield less total soil C of SOM compared with the 2009 soils (STEVENSON, 1994). Topsoil conservation might also assist decomposition processes.

Gaining SOC data through LOI using the van Bemmelen conversion factor 1.72 (SOC = 0.58% of SOM) is useful for general analysis of soil when precise data are not required, due to its relatively low expense. However, results from data gained using this conversion factor should not be used in precise measurements for calculating carbon stocks. The intra-site matrix gathered from the sample collection points indicate that there are spatial and temporal fluctuations in SOM, which strengthens the assertion that the van Bemmelen conversion factor provides an initial approximation and should be used cautiously in conversions between SOM and SOC data.

Conclusions

Multiple analyses (n = 278 topsoil samples) suggests a mean conversion factor to obtain SOC in the 0-5 cm soil layer from SOM for the Hilton Experimental Site, Shropshire (UK), is 0.66 (or 66%). This highlights that assessing SOC from LOI serves as a useful

initial approximation, but is not a totally accurate technique. In the case of the Hilton Experimental Site, the van Bemmelen conversion factor (0.58) usually underestimated the topsoil SOC content. The mean values of the conversion factor were 0.64 (n = 124 samples), 0.69 (n = 124 samples) and 0.56 (30 samples) for samples collected in 2007, 2009 and 2011, respectively. Results showed strong associations ($R^2 = 0.70$, $P < 0.001$, $n = 278$) between SOM and SOC data. However, obtaining an accurate conversion factor also requires estimation of soil inorganic C content.

References

BALL, D. F. Loss-On-Ignition as an Estimate of Organic Matter and Organic Carbon in Non-Calcareous Soils. *Journal of Soil Science*, n. 15, p. 84-92, 1964.

BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M. A.; DAVIES, K.; BOOTH, C. A. Utilizing Palm Leaf Geotextile Mats to Conserve Loamy Sand Soil in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, n. 130, p. 50-58. 2009.

_____; _____. BOOTH, C. A. Using Palm-Mat Geotextiles on an Arable Soil for Water Erosion Control in the UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, n. 36, p. 933-945, 2011a.

_____; _____. SMETS, T.; POESEN, J.; BLACK, A. Using Palm Mat Geotextiles for Soil Conservation. I. Effects ON Soil Properties. *Catena*, n. 84, p. 99-107, 2011b.

_____; TUTI, M. D.; KUNDU, S.; BISHT, J. K.; BHATT, J. C. Conservation Tillage Impacts on Soil Aggregation and Carbon Pools in a Sandy Clay Loam Soil of the Indian Himalayas. *Soil Science Society of America Journal*, n. 76, p. 617-627, 2012.

FULLEN, M. A. Effects of Grass Ley Set-Aside on Runoff, Erosion and Organic Matter Levels in Sandy Soils in East Shropshire, U.K. *Soil & Tillage Research*, n. 46, p. 41-49, 1998.

_____; BRANDSMA, R. T. Property Changes by Erosion of Loamy Sand Soils in East Shropshire, U.K. *Soil Technology*, n. 8, p. 1-15, 1995.

_____; WU, BO ZHI; BRANDSMA, R. T. A Comparison of the Texture of Grassland and Eroded Sandy Soils from Shropshire, U.K. *Soil & Tillage Research*, n. 46, p. 301-305, 1998.

_____; CATT, J. A. Soil Management: Problems and Solutions. Londres: Arnold Publishers, 2004. 269p.

_____; BOOTH, C. A. Grass Ley Set-Aside and Soil Organic Matter Dynamics on Sandy Soils in Shropshire, U.K. *Earth Surface Processes and Landforms*, n. 31, p. 570-578, 2006.

Lee Heaton, Michael A. Fullen e Ranjan Bhattacharyya

HOWARD, P. J. A.; HOWARD, D. M. Use of Organic Carbon and Loss-On-Ignition to Estimate Soil Organic Matter in Different Soil Types and Horizons. *Biology and Fertility of Soils*, n. 9, p. 306-310, 1990.

JANKAUSKAS, B.; SLEPETIENE, A.; JANKAUSKIENE, G.; FULLEN, M. A.; BOOTH, C. A. A Comparative Study of Analytical Methodologies to Determine the Soil Organic Matter Content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma*, n. 136, p. 763-773, 2006.

LAL, R. Sequestration of Atmospheric CO₂ in Global Carbon Pools. *Energy and Environmental Science*, n. 1, p. 86-100. 2008.

LOVELAND, P.; WEBB, J. Is There a Critical Level of Organic Matter in the Agricultural Soils of Temperate Regions: a Review. *Soil & Tillage Research*, n. 70, p. 1-18, 2003.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total Carbon, Organic Carbon, AND Organic Matter. In: PAGE, A. L. et al. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron. Monogr.*, n. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 539-594, 1982.

RAWLINS, B. G.; HENRYS, P.; BREWARD, N.; ROBINSON, D. A.; KEITH, A. M.; GARCIA-BAJO, M. The Importance of Inorganic Carbon in Soil Carbon Databases and Stock Estimates: a Case Study from England. *Soil Use and Management*, n. 27, p. 312-320, 2011.

SCHUMACHER, B. A. Methods for determination of Total Organic Carbon (TOC) in soils and sediments. Las Vegas: Ecological Risk Assessment Support Center, US. Environmental Protection Agency, 2002.

STEVENSON, F. J. Characterization of Soil Organic Matter By NMR Spectroscopy and Analytical Pyrolysis. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). *Humus Chemistry — Genesis, Composition And Reactions*. Nova York: John Wiley, 1994, p. 265-284.

Recebido em: 17/03/2016

Aceito em: 26/04/2016

A Aplicação de Técnicas Geocronométricas em Geomorfologia: uma Atualização Metodológica

The Application of Geochronometric Techniques in Geomorphology: a methodological updating

Antonio Carlos de Barros Corrêaⁱ

Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brasil

Bruno de Azevêdo Cavalcanti Tavaresⁱⁱ

Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brasil

Kleython de Araújo Monteiroⁱⁱⁱ

Universidade Federal de Alagoas
Maceio, Brasil

Drielly Naamma Fonsêca^{iv}

Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brasil

Resumo: O surgimento da Geomorfologia, conquanto disciplina acadêmica sistematizada a partir do final do século XIX, foi marcado pela tentativa de explicar os processos elaboradores do relevo com base na identificação de supostos estágios de evolução temporal das formas. Assim, a cronologia da denudação, em bases davisianas, constituiu uma primeira tentativa de atribuir idades relativas ao relevo, fundamentando sua metodologia em abordagens litoestratigráficas e na análise espacial da distribuição das formas. Com o surgimento e difusão, no terço final do século passado, de métodos absolutos de datação, em sua maioria radiométricos, os pesquisadores passaram a contar com valiosos recursos para propor reconstruções mais realistas e dos fatos geomorfológicos. Do carbono radioativo às técnicas de luminescência e isótopos cosmogênicos, os métodos de datação geomorfológica abrangem agora diferentes escalas temporais, e são utilizados em diversas formas de relevo e materiais. Todavia, tão importante quanto conhecer a aplicação de cada uma das técnicas, é fundamental compreender seus limites de uso e interpretação de resultados. Por fim, apesar das limitações inerentes à reconstrução

ⁱ Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Geográficas, UFPE. dbiase2001@terra.com.br.

ⁱⁱ Prof. Adjunto do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFAL. geokleython@gmail.com.

ⁱⁱⁱ Prof. Adjunto do Departamento de Arqueologia, UFPE. brunoactavares@gmail.com.

^{iv} Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE. driellynaamma@gmail.com.

temporal de modelados denudacionais e agradacionais, a aplicação das técnicas geocronométricas tem propiciado avanços fundamentais no grau de acurácia e qualidade da interpretação da gênese das formas de relevo, que por fim retroalimentam os próprios modelos teóricos de evolução da paisagem.

Palavras-chave: Geocronologia; Datação Absoluta; Métodos Radiométricos.

Abstract: The emergence of geomorphology as an academic systematized discipline at the end of the 19th Century, was marked by an attempt to explain landform-shaping processes based on the identification of alleged temporal evolutionary stages of the earth's relief. Thus, denudation chronology, in davisian sense, became the first methodology aimed at attributing relative age to landforms, based on lithostratigraphic approaches and spatial analysis of land morphologies. Following the appearance and diffusion, after the second half of the 20th Century, of absolute dating methods, mostly radiometric, researchers started to count with a valuable resource to propose more realistic reconstructions of geomorphic events. From radiocarbon to luminescence and cosmogenic isotopes techniques, geomorphological dating methods cover a vast range of time scales, and can be applied to several types of landforms and materials. Nonetheless, as important as understanding the application of each of the techniques, It is capital to grasp their limitations as far as usage and results interpretation are concerned. At last, in spite of the limitations inherent to any temporal reconstruction of aggradation or denudation landforms, the application of geochronometric techniques has brought about fundamental advances in the level of accuracy and interpretative quality of landform reconstruction schemes, which help reformulate landscape evolution models.

Keywords: Geochronology; Absolute Dating; Radiometric Dating.

Introdução

Qualquer tipo de historiografia da Geomorfologia deriva do uso de simplificações e tendências das escolas de pensamento, não obstante, a partir da sua crítica e análise emerge uma das principais formas de refletir sobre a evolução das metodologias e explicações nesta disciplina (RHOADS, 1999). De fato, o que historicamente parece indicar uma mudança de eixo de investigação e questionamentos pode unicamente se tratar de uma sequência de ajustes graduais e pragmáticos do conhecimento, acerca de diversos temas, à medida que significativas inovações técnicas são acopladas às metodologias e procedimentos já bem consolidados. Se tomarmos como exemplo a variável “tempo” em Geomorfologia, a mesma foi representada teoricamente no ciclo davisiano como uma escala unidirecional da evolução do relevo, com base em uma analogia claramente orgânica, envolvendo uma sequência de estágios evolutivos, nomeados de juventude, maturidade e senilidade.

Esta visão inicial do tempo em Geomorfologia esteve claramente relacionada ao paradigma orgânico-evolutivo que dominava o debate nas ciências da natureza ao longo do último quartel do século XIX. Assim, sua substituição a partir de meados do século XX

por uma visão de tempo não finalista, mas voltada para a compreensão dos elementos controladores responsáveis pela manutenção ou transformação das formas de relevo no tempo, configura-se como uma adoção de um novo paradigma em decorrência do aprofundamento das técnicas de observação e mensuração dos processos superficiais, como no caso da tectônica de placas, e esgotamento do arsenal procedimental e interpretativo da fase anterior.

A Geomorfologia de bases empíricas que emergiu da tradição davisiana pode ser sintetizada como uma cronologia da denudação, assim como tratada por diversos autores, entre os quais Peltier (1950), Tricart e Cailleux (1972) e Ollier, (1981), que demandava a reconstrução da história erosiva da paisagem com base em medições de altitude dos níveis de cimeira de supostas superfícies de erosão, ombreiras topográficas e terraços, além da busca por evidências de capturas fluviais e indícios de epigenia da drenagem, como os boqueirões de vento e canais desajustados ao vale. O modelo em questão baseava-se na observação direta da paisagem e admitia como uma condição interpretativa *a priori* que o relevo evoluía pela ação direta da erosão fluvial em relação a um nível de base geral, o nível do mar. O processo de evolução do relevo seria sempre iniciado por um soerguimento tectônico quase instantâneo e generalizado de uma região, a partir do qual as formas seriam gradualmente desgastadas pela ação da drenagem até atingir um estágio final, marcado por uma destruição quase que completa dos divisores e formação de uma superfície plana, rebaixada, dominada pela deposição fluvial de canais divagantes, denominada de penepiano (ORME, 2011). A este estágio final da evolução da paisagem, chamado de senilidade, antecederiam os estágios de juventude e maturidade.

Ao longo da juventude, o relevo recém soerguido, seria dominado por grandes desníveis altimétricos, vales encaixados em “V”, cachoeiras e encostas íngremes. A passagem para a maturidade seria marcada pelo alargamento dos vales, rebaixamento dos divisores e do ângulo das encostas, e por processos de captura fluvial. Esses processos aconteceriam quando as drenagens de maior vazão e capacidade erosiva situadas em níveis topográficos inferiores, acabavam por avançar regressivamente sobre os divisores da bacia de drenagem vizinha e situada em nível topográfico superior. A consequência deste processo seria a formação de passagens erosivas entre as bacias (boqueirões ou gargantas), e vales sem drenagem a jusante das capturas denominados de *wind-gaps* (boqueirões de vento). Essas características morfológicas não eram diretamente relacionadas às peculiaridades geológicas ou climáticas das regiões analisadas para a construção do modelo, como os Montes Apalaches ao longo da costa oriental da América do Norte, mas sim como decorrentes do seu estágio dentro do ciclo denudacional, assumido como tendo duração total entre 10 e 100 milhões de anos (ORME, 2011).

Não obstante os esforços de encadeamento lógico, que buscavam relacionar as formas a seu estágio de evolução, empenhados pela proposta davisiana, os processos denudacionais possuem a característica intrínseca de destruir as evidências superficiais das condições ambientais e morfologias pretéritas, restando os esforços de reconstrução da paisagem unicamente sob as morfologias e aspectos da distribuição altimétrica das formas de relevo, sendo as mais altas mais antigas e tomadas como remanescentes de ciclos denudacionais anteriores.

Assim, a base empírica da cronologia da denudação abriu espaço para outro tipo de conjunto de dados empiricamente construído, desta feita alicerçado sobre a análise dos depósitos sedimentares e solos residuais que logram preservar os registros de condições passadas. Essa mudança de foco acompanhou o surgimento de métodos capazes de obter de forma mais confiável e realista os dados cronológicos e composicionais desses materiais. Em consórcio com um aprofundamento do conhecimento acerca das variações climáticas que marcaram os últimos 2 a 3 milhões de anos, e reafeiçoaram a superfície do planeta, essas novas técnicas substituíram a cronologia da denudação pela geocronologia aplicada à Geomorfologia do Quaternário.

É importante ainda ressaltar que antes do advento das datações absolutas (cronométricas), o estudo da evolução do relevo encontrava-se aprisionado em argumentos circulares, nos quais tempo e clima eram compreendidos como equivalentes, isto é, ora uma paisagem era muito antiga e evoluíra sob condições climáticas pretéritas inferidas pela morfologia, ou muito recente e fruto unicamente das condições climáticas hodiernas. Esse tipo de abordagem resultava em interpretações altamente intuitivas que embora bem construídas dentro de um encadeamento lógico mediado pela observação e agrupamento das formas em unidades cronológicas aparentemente coerentes, eram em grande parte impossíveis de serem testadas e reproduzidas.

Dessa forma, o apelo recorrente a hipóteses de difícil validação empírica, que versavam acerca do papel da sobreposição da drenagem, exumação e rejuvenescimento do relevo, resultaram no gradativo abandono da cronologia da denudação a partir do final da década de 1960, favorecendo os estudos processuais em Geomorfologia a partir da década seguinte. Neste momento, a maior difusão da datação por carbono radioativo levou a uma retomada parcial dos estudos de cronologia das paisagens, contudo o foco dessa nova fase se deteve sobre os modelados agradacionais do Pleistoceno Superior e Holoceno em função da limitação inerente ao alcance cronológico máximo da própria técnica (BROWN, 1987). De fato, apenas com o surgimento de técnicas de datação direta de sedimentos e superfícies rochosas ao longo da última década do século XX foi possível retomar a discussão sobre a cronologia da evolução do relevo e seus problemas, mediante a aplicação de metodologias e procedimentos contemporâneos de análise multitemporal.

A geocronologia aplicada aos estudos geomorfológicos é necessariamente um campo de aplicações multidisciplinares, sustentando as interpretações sobre a evolução de longo prazo das formas de relevo. Uma série de técnicas de reconstrução ambiental são utilizadas e aplicadas sobretudo aos depósitos sedimentares que estruturam os modelados agradacionais, permitindo a identificação das condições ambientais vigentes ao longo de diferentes estágios de evolução da forma, incluindo no seu bojo análises sedimentológicas, palinológicas, além de outras formas de resíduos vegetais como as biosilicificações (fitólitos). Dentre as diversas técnicas de datação se destacam aquelas que permitem a reconstrução de cronologias absolutas completas para determinadas famílias de formas (encostas, terraços e leques aluviais etc.). Neste caso, observa-se que ao longo das últimas décadas a Geomorfologia lançou mão inicialmente da aplicação do ^{14}C , seguido por outras técnicas radiométricas com diversas abrangências temporais e, mais recentemente, dos métodos de datação absoluta de sedimentos por luminescência.

Essas abordagens constituem uma base essencial para o estabelecimento de correlações espaçotemporais mormente quando confrontadas com o registro contínuo da história climática do planeta, correntemente revelada por meio da estratigrafia dos isótopos de oxigênio proveniente da análise do gelo tanto do inlandis antártico quanto groenlandês (SHACKLETON, 2000).

Ainda segundo Goudie e Viles (2010), a aplicação contemporânea de técnicas de datação absoluta em Geomorfologia tem permitido a verificação de assinaturas neocatastrofistas da mudança ambiental na paisagem, marcadas pela ocorrência de períodos de relaxamento intercalados por curtos intervalos de intensa atividade geomorfológica e mudanças ambientais, cujos mecanismos desencadeadores devem-se tanto à dinâmica externa quanto interna do planeta.

Para Goudie (2013) o neocatastrofismo em geomorfologia surgiu como uma resposta, após pelo menos 100 anos de reflexão, ao paradigma tradicional que atribuía um protagonismo aos eventos de baixa magnitude e alta frequência sobre a evolução das formas. A ideia essencial por trás do conceito de neocatastrofismo em geomorfologia, portanto, é o reconhecimento de que a paisagem responde de forma mais eficaz a pulsos relativamente rápidos de entrada de energia ocorrendo entre momentos de maior estabilidade do sistema ambiental como um todo. Um elemento importante desta ideia decorre de que os processos envolvidos na transformação do relevo se dão após uma entrada rápida de energia que resulta em uma reação morfológica (p. ex.: chuvas torrenciais concentradas e formação de ravinas). A esse momento altamente enérgico, chamado de tempo de reação, sucede-se uma fase de ajuste das formas após a perturbação inicial, chamada de “período de relaxamento”, no qual as formas de relevo buscarão se adaptar às condições ambientais predominantes após o evento perturbador.

Este artigo buscará abordar, com base na literatura contemporânea, aspectos metodológicos e evolutivos das principais técnicas a serviço da datação das formas de relevo, ou dos materiais que as estruturam dentro de uma perspectiva claramente morfoestratigráfica. É importante ter em mente que a maioria das técnicas foi desenvolvida para a elucidação preferencial de determinadas circunstâncias geomorfológicas, dentro de certas escalas de tempo de operação dos agentes formativos, além do tempo de residência dos materiais sobre a superfície do planeta.

Origens

Determinação da Idade Relativa

A Estrutura dos Depósitos Sedimentares

A base para a reconstrução de cronologias geomorfológicas relativas antes do século XIX eram as propriedades da continuidade lateral, sobreposição das camadas, discordâncias erosivas e a inclusão de xenólitos (GOUDIE, 2013). Tratava-se essencialmente de uma abordagem litoestratigráfica (Figura 1) que envolvia certas suposições *a priori*: a) as camadas sedimentares eram originalmente contínuas lateralmente, de forma que pudessem ser correlacionadas litoestratigraficamente ao longo de certa distância; b) as

camadas mais jovens foram depositadas sobre o topo das mais antigas; c) as camadas sedimentares originalmente apresentavam uma configuração aproximadamente horizontal; d) discordâncias transversais que seccionam como falhas, intrusões ígneas, e não conformidades ocorrem sempre sobre rochas mais antigas que a estrutura que as interceptam; e, e) inclusões de xenólitos são mais antigos que a rocha que as envolve.

De fato, a evolução dos conhecimentos geológicos e geomorfológicos evidenciou que muitas camadas sedimentares não são depositadas horizontalmente, e falhas de empurrão e intrusões ígneas podem se sobrepor a rochas mais antigas ou ocorrerem de forma adjacente às mais jovens. Além disso, dobras recumbentes e *nappes* de cavalgamento podem sobrepor camadas mais antigas às mais jovens, causando inversões cronológicas nas sequências estratigráficas. Não obstante, as estruturas sedimentares são tradicionalmente usadas para fins de determinar a ocorrência de camadas deformadas e inversões.

Neste sentido, compreende-se ainda que os termos primário, secundário e terciário surgiram na Geologia através da necessidade de estabelecimento de uma sequência cronológica relativa para as rochas antes que essas pudessem ser diretamente datadas. Em linhas gerais, se estabelecia que as rochas primárias seriam as mais velhas, compostas por litologias ígneas e metamórficas altamente deformadas, enquanto as rochas secundárias seriam compostas pelas litologias sedimentares consolidadas e igualmente deformadas, e por fim as terciárias formadas por sedimentos incoesos depositados paralelamente à superfície do terreno e destituídas de deformações (GREGORY e GOU-DIE, 2011).

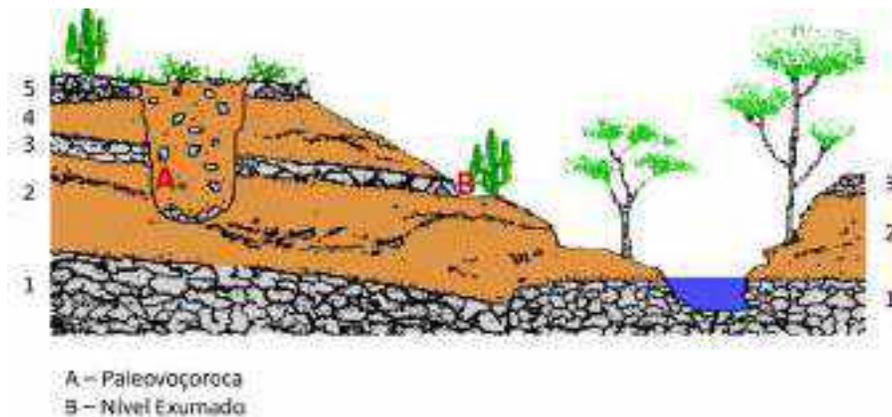


Figura 1 – Níveis estratigráficos indicando discontinuidades entre si, com destaque para uma litofácia exumada a partir de evacuação dos materiais sobrepostos, com presença também de um sistema de *cut and fill* (corte e preenchimento) a partir de um depósito de paleovoçoroca, evidenciando a complexidade de se estabelecer uma continuidade lateral dos depósitos e uma estratigrafia sequencial.

Fonte: Os autores.

A Cronologia do Relevo a Partir da Datação e a Determinação da Idade Absoluta

As técnicas de datação constituem um dos mais importantes recursos diagnósticos disponíveis aos geomorfológicos. Na verdade, o atributo-chave para as técnicas contemporâneas de datação advém do fato dessas constituírem técnicas absolutas e não relativas e, em sua maior parte radiométricas, ou seja, baseadas no decaimento diferencial de isótopos radioativos ao longo do tempo. A mais conhecida técnica radiométrica, usada extensivamente pela Geomorfologia e ciências ambientais é a do carbono radioativo (^{14}C). A datação por carbono 14 pode ser aplicada para qualquer tipo de matéria orgânica, tal como material esquelético, carvão ou vestígios vegetais. Nos últimos anos tem se tornado uma técnica altamente precisa, com um grau crescente de acurácia, embora não seja necessariamente a escolha mais adequada para grande parte dos estudos geomorfológicos, sobretudo em face de duas razões: a) a sua abrangência temporal não alcança além dos 60 mil anos AP, mesmo utilizando-se as metodologias mais avançadas de detecção; e b) a metodologia se restringe a sedimentos ricos em matéria orgânica, o que não ocorre na maioria dos contextos geomorfológicos, sobretudo nos trópicos.

Atualmente duas outras técnicas radiométricas se tornaram particularmente importantes para os estudos geomorfológicos, tanto por poderem ser aplicadas a sedimentos inorgânicos quanto pelo fato de apresentarem uma abrangência temporal mais longa. Nesta abordagem introdutória, as características principais de controle e aplicação de cada uma dessas metodologias serão introduzidas, sendo as mesmas tratadas com mais profundidade mais adiante.

A primeira é a **Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)**, que apresenta boas respostas para a datação do quartzo e do feldspato, sendo o primeiro um resísto extremamente resiliente, presente na maior parte dos sedimentos e em todos os ambientes continentais. Uma vez incorporados a um depósito sedimentar, adequadamente inumado, e protegido da luz solar, o quartzo e outros minerais cristalinos, como o feldspato, começam a receber radiação do ambiente ao seu entorno. Esta radiação gradualmente provoca mudanças internas na estrutura dos átomos que constituem o cristal, causadas pela mudança na posição de certos elétrons dentro da trama cristalográfica. Desta forma, um sinal luminescente começa a ser acumulado de forma previsível – a depender da dose anual de radiação emitida em cada contexto sedimentar específico. Este acúmulo se dá até que os grãos de quartzo contidos no depósito sejam expostos novamente à luz do sol por meio de subseqüentes processos erosivos. Neste caso, os sedimentos expostos à luz perdem o sinal luminescente acumulado desde o último soterramento, e essa perda é chamada de “zeramento” do sinal. Esta propriedade dos sólidos cristalinos nos permite datar a última fase de exposição/soterramento dos sedimentos em boa parte dos contextos continentais, sob condições de deposição sub-aéreas e sub-aquosas.

Para realizar a datação por LOE, uma amostra de sedimento é colhida sem exposição à luz e, posteriormente, no laboratório, após separação da fração mineral desejada para a datação – geralmente quartzo ou feldspato – é submetida ao “zeramento” artificial por meio da estimulação ótica. Durante a fase de estimulação ótica a amostra emite um sinal luminescente (luminescência) que é prontamente medido por meio do uso de um fotodetector altamente sensível. A intensidade da luminescência emitida permite calcular o

intervalo de tempo durante o qual a amostra esteve soterrada e isolada da iluminação solar (Figura 2). Para a realização deste cálculo algumas informações ambientais devem ser obtidas, tais como a dose anual de radiação ambiental emitida pelos sedimentos, a qual pode ser aferida com maior prontidão pelo uso de um espectrômetro portátil de radiação gama, ou por técnicas mais sofisticadas em laboratório (ativação de nêutrons, contagem de radiação beta, etc.). Dados relativos ao teor de umidade, granulometria, altitude do depósito e posição geográfica dos sedimentos também precisam ser registrados a fim de corrigir a idade final da amostra.

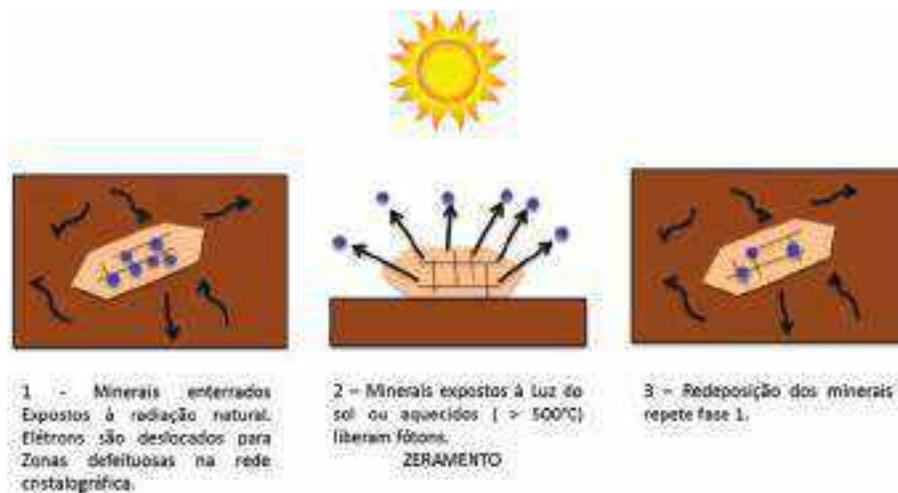


Figura 2 – Sequência de eventos relacionados à aquisição natural do sinal de luminescência em sedimentos siliciclásticos continentais.

Fonte: Os autores.

A LOE tem permitido avançar o limite da datação dos sedimentos quaternários diretamente associados às formas de relevo por eles estruturadas a até centenas de milhares de anos AP, sobretudo em situações ambientais em que a dose anual de radiação é relativamente baixa. Goudie e Viles (2010) apontam para o fato de que a LOE tem se mostrado particularmente eficaz para a datação de dunas de desertos, depósitos de *loess*, terraços fluviais e rampas de colúvio, permitindo a construção de cronologias de deposição ao longo de áreas extensas.

A datação por **isótopos cosmogênicos** é outra técnica recente de datação que tem emergido como de grande importância para os estudos geomorfológicos. A análise dos isótopos cosmogênicos, formados pela interação entre os raios cósmicos e minerais formadores de rocha – a exemplo do quartzo –, permite estimar o intervalo de tempo de acumulação desses isótopos nas proximidades da superfície, estabelecendo taxas de erosão de superfícies rochosas expostas na escala de 10^3 a 10^6 anos. A técnica é empregada geralmente para a datação da exposição de superfícies e taxas de denudação, embora também possa ser aplicada à reconstrução de cronologias de soterramento. Uma grande

vantagem dessa técnica é o intervalo temporal longo em que pode ser aplicada, permitindo a datação de superfícies de cimeira rochosas, superfícies de inselbergs, etc. Sua aplicação tem demonstrado que em alguns ambientes, como no hiper-árido deserto do Namibe na África Meridional, as taxas de denudação são extremamente baixas, da ordem de 10 metros por milhão de anos (BIERMAN e CAFFEE, 2001). A técnica dos isótopos cosmogênicos permite estabelecer limites cronológicos para as superfícies de denudação que compõem as cimeiras locais ou regionais de grandes morfoestruturas, tanto em contextos tectônicos de margens ativas quanto nos contextos de margem passiva e intraplaca.

Recentemente a integração entre a LOE e a técnica dos isótopos cosmogênicos, em particular, tem demonstrado que os geomorfólogos podem dispor de metodologias que permitam a construção de cronologias evolutivas, empiricamente verificáveis, tanto para os modelados agradacionais quanto denudacionais.

O Problema da Datação das Superfícies Erosivas

Quando as superfícies erosivas não se encontram inumadas e não há nenhum método estratigráfico tradicional que permita datá-las, aceita-se apenas que a superfície deve ser posterior à idade da rocha ou sedimento que a estrutura. No caso de rochas do embasamento geológico essas normalmente são pré-terciárias e, portanto, milhões de anos mais velhas que os processos geomorfológicos que lhes afeiçoaram formas. O resultado é que paisagens erosivas são difíceis de datar diretamente, sendo grande parte das formas de relevo constituídas por formas de destruição (Figura 3).

Como já enunciado anteriormente, as técnicas que utilizam a medição dos isótopos cosmogênicos constituem uma adição recente aos métodos de datação que permitem explicar a evolução das superfícies erosivas, possibilitando estimar ritmos e taxas de erosão e testar hipóteses sobre modelos evolutivos de denudação, criando assim uma nova forma de cronologia da denudação (COCKBURN e SUMMERFIELD, 2004).



Figura 3 – Superfícies erosivas estruturadas sobre arenito siluro-devoniano, Formação Tacaratu, Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.

Fonte: Os autores.

Humphrey e Heller (1995) alertam sobre a importância de se obter idades absolutas das formas de relevo visando estimar taxas de operação de processos e reconstruir a história de evolução das formas. Assim, para os autores, é fundamental acoplar a datação de eventos erosivos à dos eventos deposicionais em um único estudo, bem como modelar a relação entre erosão, transporte e deposição (estocagem) na escala das unidades morfológicas (p. ex.: encosta, cimeira, planície fluvial), sob o risco de que se tais interações, altamente oscilatórias, forem ignoradas, a reconstrução final será fatalmente muito simplificada.

Goudie e Viles (2010), no entanto, alertam para que embora essa integração seja necessária para o aprofundamento da explicação da evolução geomorfológica da paisagem em bases científicas, talvez não seja suficiente. Na década de 1960, por exemplo, o crescente conhecimento acerca das mudanças climáticas ainda era pouco aplicado nos estudos geomorfológicos, em parte, devido ao paradigma vigente que enfatizava o equilíbrio entre forma e processo, mas também devido às diferentes visões que emanavam das várias escolas de Geomorfologia – americana, anglo-saxã, francesa e alemã – e sua filiação acadêmica à Geologia ou Geografia. Esse estado de coisas resultava em um conhecimento extremamente fracionado entre grupos de especialistas e suas disciplinas, dificultando a integração entre a Geomorfologia e as ciências do Quaternário e, portanto, a aplicação de técnicas de datação absoluta nos produtos dos processos de superfície terrestre.

De certa forma esses obstáculos continuam presentes na Geomorfologia contemporânea e resultam em uma dificuldade de integrar dados de longo, médio e curto prazo na evolução das paisagens, mesmo quando as cronologias dos eventos formadores e materiais estruturadores do relevo são relativamente bem conhecidas. Assim sendo, a discussão ora apresentada alerta para que não existe ainda na Geomorfologia metodologias integradoras para o uso dos dados cronológicos provenientes da aplicação das variadas técnicas de datação. Um dos principais obstáculos encontrados está no fato de que os intervalos de abrangência temporal das técnicas nem sempre se sobrepõem, permitindo o uso concatenado de procedimentos para a obtenção, por exemplo, das idades das cimeiras rochosas, encostas coluviais, terraços fluviais e formas de acumulação do antropoceno em uma mesma paisagem, sem lacunas. Os hiatos compreendidos entre os limites temporais das técnicas de datação ainda precisam ser complementados por modelos hipotéticos de evolução da paisagem, mesmo estando cada vez mais estruturados em interpretações consubstanciadas por aferições diretas dos fenômenos.

Isótopos Cosmogênicos

A Terra é constantemente bombardeada por raios cósmicos. Esses por sua vez induzem reações nucleares que ocorrem primordialmente nos primeiros metros abaixo da superfície. As reações envolvem elementos alvos como Si, O, Cl, K e Ca, e produzem isótopos de ^3He , ^{21}Ne , ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl e ^{14}C , cuja abundância pode ser determinada por técnicas de espectrometria de massa (GILLESPIE e BIERMAN, 1995; GOSSE e PHILLIPS, 2001), difundidas sobretudo a partir da década de 1980. De fato, um grande avanço pa-

ra a aplicação desta técnica foi o desenvolvimento da espectrometria de aceleração de massa (AMS), que permite separar um isótopo raro do seu correspondente mais abundante, como por exemplo o ^{14}C do ^{12}C , tornando possível medir isótopos de longas meias-vidas, mas com concentrações relativas muito baixas.

Desta forma, a datação de superfícies pode ser realizada, haja vista as concentrações dos isótopos são interpretadas como uma função do tempo transcorrido desde que a superfície foi exposta pela primeira vez aos raios cósmicos. Segundo Bierman (1994), de maneira geral, a abundância de isótopos cosmogênicos é proporcional à estabilidade da paisagem e/ou à sua idade. Uma vez que os isótopos cosmogênicos são produzidos principalmente nos metros superiores de rocha e solo, atuam na superfície terrestre como monitores sensíveis do tempo de permanência dos materiais nas paisagens, podendo fornecer informações relativas a períodos longos de exposição (10^6 anos). De acordo com Bierman et al. (1999), se o comportamento da paisagem se aproxima do equilíbrio, o tempo de residência dos isótopos refletirá as taxas de geração de sedimento e erosão de longo prazo.

A compreensão da distribuição, por profundidade, da produção dos isótopos cosmogênicos é fundamental para o cálculo de taxas de erosão de longo prazo e tempo de exposição de superfícies. Nas rochas com $2,7 \text{ g/cm}^3$ de densidade, cerca de 50% dos raios são absorvidos à profundidade de 45 cm. A taxa de produção de isótopos (P_x) por profundidade (x) em um material de densidade (p) pode ser descrita pela seguinte expressão exponencial [1], levando-se em consideração a taxa de produção superficial (P_0):

$$P_x = P_0 e^{-(x/p)} \quad [1]$$

sendo 1 = comprimento de atenuação para nêutrons rápidos, entre $150 - 170 \text{ g/cm}^3$.

Os isótopos cosmogênicos mais comumente utilizados em rochas ricas em quartzo (^{10}Be e ^{26}Al) são produzidos pela interação entre os nêutrons provenientes da radiação cósmica com átomos como o Si e O. No entanto, os raios cósmicos são exponencialmente atenuados pela atmosfera terrestre e nos primeiros metros da superfície da crosta. Um modelo analítico geral para a interpretação de abundância *in situ* de isótopos cosmogênicos em amostras de rochas inclui dois parâmetros independentes que são a taxa de erosão (ϵ) e o tempo de exposição (t). Supondo que a taxa de produção de isótopo (P), a densidade do material (p), a atenuação de nêutrons (Λ) e a constante de decaimento (λ) sejam conhecidos e uniformes, é possível equacionar [2] tais taxas:

$$N = \frac{P (1 - e^{-(\lambda + \epsilon p \Lambda^{-1}) t})}{\lambda + \epsilon p \Lambda^{-1}} \quad [2]$$

Este modelo é geralmente aplicado de duas formas distintas. Na hipótese de que tenha decorrido tempo suficiente e perda constante de massa, de forma que a abundância de material esteja em equilíbrio (controlada pela taxa de perda de massa da superfície amostrada), pode-se calcular taxas de erosão ($t = \infty$). Para calcular as idades de exposição, supõe-se que a superfície amostrada não continha isótopos cosmogênicos quando foi exposta pela primeira vez, e que a mesma não sofreu erosão desde então ($\epsilon = 0$).

Ambos os casos presumem que a superfície amostrada esteve continuamente exposta ao fluxo de radiação cósmica e que nunca foi sepultada durante, ou após, a exposição aos raios cósmicos.

Modelos de Idades de Exposição e Taxas de Erosão

A abundância medida de um isótopo cosmogênico refletirá a produção integrada através do tempo reduzida pelo decaimento, no caso de um isótopo instável como o ^{10}Be e o ^{26}Al . Se a superfície amostrada foi exposta rapidamente e não sofreu erosão desde então, a abundância do isótopo será uma função da idade de exposição da superfície e da taxa de produção do isótopo *in situ*. Se a superfície amostrada tem sido erodida continuamente desde a exposição inicial, e esta se deu há muitas meias-vidas ou se muitos metros de rocha foram erodidos desde a exposição, então a concentração de isótopos será controlada pela taxa de erosão. O cálculo deste modelo de interpretação presume que a superfície esteja erodindo continuamente e que a perda de massa ocorra em uma escala menor que a profundidade de penetração dos raios cósmicos (BIERMAN et al., 1999). Na verdade, a maioria das áreas amostradas provavelmente sofreu erosão episódica após uma exposição inicial. Portanto, a idade de exposição de uma superfície é calculada a partir da abundância medida do isótopo após correção dos valores das contribuições geológicas e radiogênicas, e o decaimento do isótopo.

A compreensão das taxas de denudação em uma variada gama de escalas temporais é importante para a quantificação das relações entre a tectônica e a topografia. A fim de gerar um modelo do comportamento de longo prazo das margens continentais passivas e cinturões orogênicos, as taxas de denudação necessitam ser estimadas a grandes escalas espaciais e temporais. Por outro lado, a investigação dos controles tectônicos sobre o relevo deve ser determinada em escalas temporais e espaciais menores. A datação das paisagens que sofreram perturbações tectônicas pode ajudar a definir as taxas de reativação de falhamentos e soerguimento diferencial entre blocos contíguos. Uma área tectonicamente ativa, com rápido soerguimento/erosão pode conter uma concentração mais baixa de isótopos cosmogênicos em relação às áreas adjacentes mais estáveis.

Na maioria dos casos a abundância de isótopos cosmogênicos pode ser usada para fornecer as idades mínimas de exposição de superfícies geomorfológicas e/ou taxas máximas de denudação da mesma superfície. Assim, descarta-se a vinculação necessária entre deposição e elaboração da superfície, comum às abordagens clássicas de interpretação da gênese do relevo e, rompendo-se com o vínculo estratigráfico depósito/superfície, os modelados de erosão e superfícies de deposição (unidades sedimentares com relevância morfoestratigráfica funcional) passam a contar histórias evolutivas distintas, dentro da escala de análise da sua própria elaboração.

Em alguns casos é possível medir a concentração de mais de um isótopo na mesma amostra (método $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$), uma vez que a meia-vida do ^{26}Al (0,7 Ma) é menor que a do ^{10}Be (1,5 Ma) e, portanto, a razão $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ pode ser interpretada como sendo função da taxa de erosão e soterramento/exposição da amostra. Amostras que estive-

ram expostas continuamente exibirão uma abundância previsível de isótopos e uma razão $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ também previsível. Contudo, se um afloramento rochoso, bloco, clasto ou sedimento tiver sido soterrado e abrigado dos raios cósmicos durante ou após a deposição, a razão $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ será desviada de um valor previsível e cairá, uma vez que o isótopo de meia-vida mais curta, o ^{26}Al , decai mais rapidamente. Tal abordagem pode ser utilizada para estabelecer limites inferiores à história total de exposição e soterramento da amostra.

A depender da estratégia de amostragem, a medição dos isótopos cosmogênicos permite estimar: a) taxas médias de erosão em bacias hidrográficas a partir dos sedimentos fluviais; b) taxas de erosão nas encostas a partir dos afloramentos de rochas; ou c) idades de exposição de cimeiras rochosas (se a taxa presumida de erosão for próxima a zero). Contudo, ao se utilizar os dados dos isótopos cosmogênicos estocados em sedimentos fluviais para estimar taxas médias de erosão em bacias, acaba-se por aceitar que as taxas de erosão estão em equilíbrio ao longo do tempo em que ocorreu a produção do isótopo no solo/rocha, e que o tempo de estocagem de sedimento é menor que o tempo de decaimento dos radionuclídeos (VANICE et al., 2003). Ainda neste sentido, dentre as principais limitações do método, aponta-se a aceitação a priori de que a datação do tempo exposição requer que a superfície tenha se formado ao longo de um curto intervalo de tempo. Outra limitação é que se a superfície datada tenha permanecido preservada no transcurso da sua exposição, as superfícies a serem datadas devem apresentar taxas muito baixas de erosão para serem ideais para a aplicação do método.

A Datação dos Modelados de Agradação

A datação de sedimentos e, por consequência, dos modelados agradacionais tais como encostas coluviais, leques aluviais, terraços e até depósitos afetados por movimentação tectônica recente se desenvolveu a partir das aplicações clássicas baseadas em correlações estratigráficas relativas e bioestratigráficas até o surgimento e aplicação das primeiras técnicas cronoestratigráficas, em particular utilizando a datação pelo ^{14}C . A datação pelo método do carbono radioativo foi a primeira técnica a utilizar um radionuclídeo a ser largamente empregada pela Geomorfologia, sendo as primeiras tentativas realizadas logo após o seu surgimento, ainda no começo da década de 1950 (GOUDIE EVILES, 2010). Talvez a sua proeminência dentre as técnicas de datação possa ser ressaltada por ser uma das únicas a possuir um periódico científico inteiramente dedicado aos seus avanços, a revista *Radiocarbon*.

Na verdade, as técnicas radiométricas, assim como o ^{14}C , utilizam-se, em maior ou menor escala, do tempo de residência de um determinado isótopo, de origem alóctone, em um depósito sedimentar, com a finalidade de lhe atribuir uma idade. Essa, por fim, dependerá dos níveis de concentração mensuráveis do isótopo a partir de uma gama de técnicas sofisticadas de detecção. O limiar da detecção reflete a meia vida do isótopo, sendo aqueles com meias-vidas mais curtas utilizados para a datação de processos e depósitos mais recentes (Tabela 1).

Tabela 1 – A meia-vida de isótopos de curta e longa vida utilizados nas geociências.

Radionuclídeo	Meia-vida	Ambiente de origem	Principais Aplicações
⁷ Be	≅ 54dias	Natural; radiação cósmica e partículas energéticas do sol na atmosfera natural da Terra	Marcador natural
²²⁸ Th	1,9 anos	Natural	Taxa de sedimentação em ambientes estuarinos
¹³² Cs	2,0 anos	Partículas radioativas de Chernobyl	Sedimentos fluviais e lacustres
²¹⁰ Pb	22,8 anos	Natural	Sedimentos fluviais e lacustres
¹³⁷ Cs	30,3 anos	Testes de armas termonucleares e partículas radioativas e Chernobyl	Sedimentos fluviais e lacustres e taxas de erosão (diretamente)
³² Si	≅ 140 anos	Precipitação natural na atmosfera e testes nucleares	Sedimentos lacustres e taxas de erosão
³⁹ Ar	269 anos	Gás nobre natural	Termocronologia neotectônica
²⁴¹ Am	432,2 anos	Testes de armas termonucleares	Sedimentos lacustres e taxas de erosão
¹⁴ C	5.730 anos	Formação em elevadas altitudes através do impacto de raios cósmicos no nitrogênio e absorção por organismos vivos	Idades para soterramentos pós-morte, lagos, ambientes fluviais, glaciais, e sedimentos lamosos
³⁶ Cl	300.000 anos	Isótopo cosmogênico natural	Depósitos fluviais expostos e soterrados, e taxas de denudação
¹⁰ Be	1.500.000 anos	Isótopo cosmogênico natural	Depósitos fluviais expostos e soterrados, e taxas de denudação
⁵³ Mn	3.700.000 anos	Isótopo cosmogênico natural encontrado em meteoritos	Intemperismo terrestre e evolução de modelados
²⁶ Al	7.100.000 anos	Isótopo cosmogênico natural	Depósitos fluviais expostos e soterrados, e taxas de denudação

Em linhas gerais a datação radiométrica se alicerça na ideia de que alguns isótopos radioativos de certos elementos (isótopo pai) se transformam em outro elemento (isótopo filho) obedecendo a uma taxa fixa de decaimento. A taxa de desintegração isotópica é dada por uma equação exponencial negativa [3] já bem estabelecida:

$$N/N_0 = e^{-\lambda t} \quad [3]$$

Na qual N é o número de átomos radioativos do isótopo pai no tempo t após a formação da rocha, N_0 é o número original de átomos radioativos, e λ é a constante de decaimento. A meia-vida é o tempo necessário para reduzir o número inicial de isótopos pai pela metade, sendo igual a $0,693/\lambda$. Assim sendo, o nível de resolução da datação radiométrica decresce à medida que a meia vida do radioisótopo pai aumenta. Assim, radioisótopos com as meias-vidas mais curtas são usados para a datação de sedimentos mais jovens, resultando em melhores níveis de resolução e, portanto, maior confiabilidade dos resultados alcançados. Para materiais mais antigos que 10^3 anos, a resolução final é da ordem de 10^1 a 10^2 anos pelo método do carbono radioativo, enquanto que para materiais com idade entre 10^7 e 10^8 anos, a resolução restará na casa de 10^6 anos.

Radionuclídeos de Meia-vida Longa

Carbono radioativo

Os isótopos de carbono radioativo são formados dentro da atmosfera terrestre como resultado do fluxo contínuo de raios cósmicos. O ^{14}C constitui um dos mais importantes isótopos cosmogênicos, sendo encontrado em todos os materiais de origem orgânica. Assim como em outros radionuclídeos cosmogênicos a estimativa da taxa de produção é um aspecto crítico para o método de datação. Portanto, a partir da calibração da técnica com base na dendrocronologia de gimnospermas de longa-vida, como as da costa da Califórnia (EUA), e, mais recentemente, com base na comparação com as longas sequências de varvitos do Lago Suigetsu (Japão), foi possível estabelecer uma curva de calibração para o método atingindo muito mais que 10 Ka AP (BRONK RAMSEY, 2009).

Embora tendo sido estabelecido no final da década de 1940, o método do ^{14}C , ainda é o mais utilizado de todas as técnicas de datação radiométrica, possuindo vasta literatura a seu respeito, sobretudo nas últimas décadas com os desenvolvimentos advindos da aplicação da espectrometria de aceleração de massa e dos métodos que permitem a remoção de contaminantes durante o processamento das amostras (HIGHAM et al., 2006), levando a uma drástica redução no tamanho mínimo das amostras para processamento, reduzidos em mais de 100 vezes, e permitindo datações confiáveis para além de 50 ka AP.

Nos modelados agradacionais, a datação por carbono radioativo pode ser utilizada em sedimentos fluviais sob diferentes aplicações: fornecendo idades máximas de solos, idades de atividade da matéria orgânica frágil, a exemplo das folhas, incorporadas nos sedimentos a partir de um único episódio de deposição, ou idades mínimas, tais como de solos orgânicos desenvolvidos sobre depósitos de enchentes (CHIVERRELL et al., 2007).

Quando material orgânico é mais robusto, como turfeiras e fragmentos de madeira, é incorporado nos sedimentos apenas como uma idade máxima da sedimentação, podendo ser determinada como resultado da janela-temporal (lapso de tempo) desconhecida entre a formação do material orgânico e sua incorporação no sedimento. Este problema é particularmente incidente sobre depósitos colúviais em ambientes de encosta, e podem

acabar por atribuir uma incerteza incontornável à escala de tempo da deposição. O uso da técnica neste tipo de ambiente deve aceitar de forma implícita que existe um nível considerável de ruído no sistema, que se torna proporcionalmente mais pronunciado em sequências com grande quantidade de matéria orgânica.

Assim, conquanto uma ferramenta de datação geomorfológica, o método depende fortemente do estabelecimento de correlações com outros *proxies* que permitam criar sequências cronológicas mais robustas da produção de sedimento em si, e não apenas dos estágios de relaxamento dos sistemas geomorfológicos com expansão da cobertura vegetal.

A Série do Urânio

Esse grupo de técnicas de datação compreende a série de decaimento radioativo dos isótopos de urânio ^{238}U , ^{235}U e ^{232}U , baseadas na medição do desequilíbrio radiométrico entre o ^{230}Th e o ^{234}U . O evento que pode ser datado mediante a aplicação desses métodos é o fechamento de um sistema geoquímico, que foi previamente perturbado por fracionamento químico. A série do urânio pode ser aplicada a carbonatos pedogenéticos (calcrete) ocorrendo tanto no interior quanto na superfície de corpos sedimentares, além de fósseis que contenham carbonato. As idades de pedogênese obtidas constituem idades mínimas, devido ao tempo transcorrido entre a sedimentação e a precipitação do carbonato serem desconhecidos. De fato, a literatura aponta para que esse lapso temporal pode atingir valores tão longos quanto 40.000 anos (SHARP et al., 2003). Desta forma, para fins de obtenção da idade de deposição do sedimento propriamente dito, antes que esse tenha passado pela pedogenização e formação de calcrete, faz-se necessário lançar mão de técnicas de datação absoluta de sedimentos terrígenos quaternários, como é o caso da Luminescência Opticamente Estimulada, que será discutida mais adiante (Figura 4).



Figura 4 – Concreção carbonática de marmita de dissolução, Lagoa do Uri, Salgueiro, PE. As idades de formação do calcrete são até 20.000 anos mais recentes do que a deposição do material.

Fonte: Felice et al.(2013).

Usos recentes da série do urânio para datação em Geomorfologia utilizaram a abordagem da análise de isócronas (extração de múltiplas sub-amostras de um mesmo horizonte) a fim de corrigir possíveis contaminações por detritos, demonstrando que idades confiáveis podem ser obtidas para eventos geomórficos discretos tais como a agradiação ou abandono de um terraço fluvial (CANDY et al., 2005). Dentre as vantagens da datação pela série do urânio destaca-se o fato de sua abrangência temporal ser maior do que a do ^{14}C , embora as aplicações se restrinjam aos ambientes de deposição carbonática, comumente associados aos sistemas morfo genéticos mais secos como os do semiárido brasileiro.

Radionuclídeos de Meia-vida Curta

Existem vários isótopos radioativos que apresentam meias-vidas curtas da ordem de apenas algumas décadas, e alguns deles vêm sendo utilizados em estudos geomorfológicos. Segundo GREGORY e GOUDIE (2011) os critérios para que um isótopo radioativo possa ser aplicado em procedimentos de datação geomorfológica obedecem a seguinte ordem de características desejáveis:

- O comportamento químico do isótopo deve ser bem conhecido.
- A meia-vida do isótopo deve ser bem conhecida.
- A quantidade inicial do isótopo por unidade do sedimento é conhecida ou pode ser estimada com precisão.
- O isótopo deve ser incorporado ao sedimento por adsorção em quantidades adequadas (nos sistemas sedimentares a adsorção se dá pela argila e materiais na fração coloidal).
- Uma vez ligado ao sedimento, as únicas mudanças de concentração do isótopo resultam do decaimento radioativo.
- A medição do isótopo deve ser procedida por técnicas prontamente replicáveis e que não consumam muito tempo e recursos.
- O isótopo deve apresentar uma abrangência temporal de detecção de suas meias-vidas efetiva para a escala dos processos que se deseja datar (geralmente na casa de 8 meias vidas).

O isótopo ^{210}Pb é adequado para a datação de sedimentos recentes e estudos da paisagem e seus ecossistemas, nos quais as mudanças nas taxas de deposição tenham ocorrido ao longo dos últimos 150 anos. Como membro da série do ^{238}U , o ^{210}Pb está sujeito ao desequilíbrio juntamente com o seu parente distante ^{226}Ra (Rádio) devido à atividade físico-química do isótopo intermediário (progenitor) em forma gasosa ^{222}Rn (Radônio). O desequilíbrio radioativo surge quando o gás ^{222}Rn escapa para a atmosfera. Com uma meia-vida de apenas 3,8 dias, o ^{222}Rn decai através de uma série de isótopos de meia-vida muito curta até atingir a forma do ^{210}Pb . Este processo produz um excedente de ^{210}Pb na atmosfera e por subsequentemente na hidrosfera (LUBIS, 2006).

A precipitação deste material acaba por resultar em um excesso de ^{210}Pb radioativo em relação ao ^{210}Pb em equilíbrio com o ^{226}Ra do ambiente já presente nos sedimentos. Este excesso de ^{210}Pb fornece o mecanismo para avaliação de idades e histórias deposicionais recentes. Uma forma modificada dessa técnica também pode ser utilizada para

medir a erosão do solo em parcelas agrícolas. No entanto, o uso mais corrente do ^{210}Pb em Geomorfologia consiste na medição de taxas recentes de erosão sobretudo em lagos e reservatórios (represas) (Figura 5).



Figura 5 – Coleta de amostra em sedimentos de colmatação de açudes no maciço da Serra da Baixa Verde, semiárido de Pernambuco.

Fonte: Os autores.

Há ainda os chamados de elementos “transurânicos” que foram lançados na atmosfera em escala global a partir da década de 1950, tendo como principal origem as emissões provenientes dos testes de armamentos nucleares. O primeiro destes isótopos a ser utilizado para datar sedimentos lacustres foi o ^{137}Cs , cujos trabalhos pioneiros foram realizados no Lake District do Reino Unido (PENNINGTON *et al.*, 1973). Mais recentemente, outros radionuclídeos transurânicos, tais como o ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu (Plutônio) e

²⁴¹Am (Amerício) também foram utilizados para aferir taxas de sedimentação em lagos (MICHEL et al., 2001). O uso desses isótopos abre a possibilidade de rastreamento e estimativa do fluxo de sedimento fino ao longo dos últimos 50 anos.

As aplicações destes isótopos, nos estudos geomorfológicos, geralmente se voltam para a determinação de taxas de transporte de sedimento fino ao longo das encostas para as planícies aluviais ou daqueles que ficam retidos em lagos e represas. O ¹³⁷Cs, em particular, tem sido largamente utilizado para o cálculo de estimativa tanto da taxa de sedimentação ao longo de planícies aluviais, quanto para medição da taxa de erosão a partir do truncamento de perfis de solo, tomando por referência solos que não apresentem sinais de erosão (ZHANG e WALLING, 2005). A literatura internacional aponta para uma crescente superposição desses métodos no que diz respeito aos estudos de origem de sedimento e taxas de erosão de curto prazo (Figura 6).

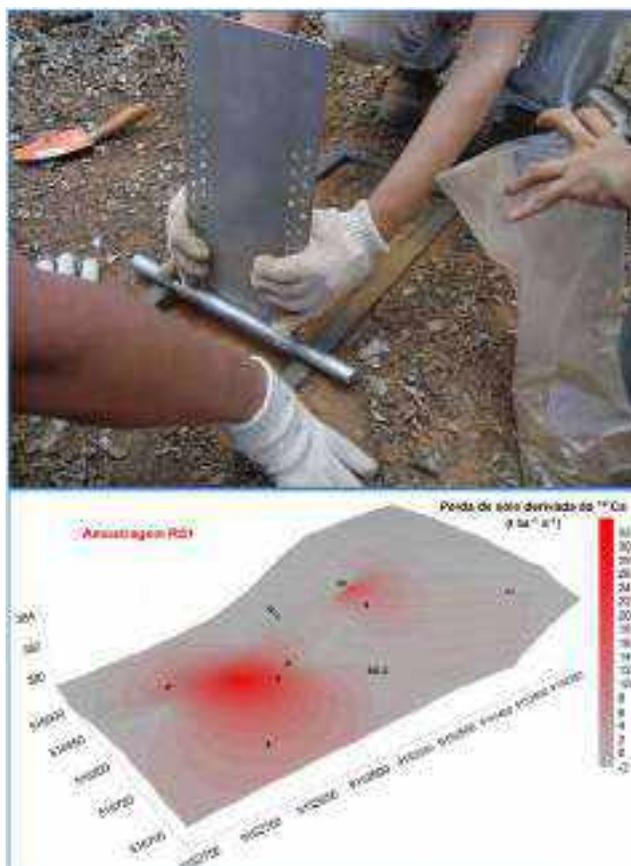


Figura 6 – *Scrape Plate* utilizado para coleta de amostras para análise de ¹³⁷Cs com incremento a cada 3 cm de profundidade e padrões espaciais computados de erosão dos solos em um perfil de encosta no riacho Salgado, Belém do São Francisco, Pernambuco. Fonte: Azambuja (2012).

Dosimetria de Radiação

A aplicação da técnica de datação do carbono radioativo limita-se a formas do Pleistoceno Superior e Holoceno nas quais se encontrem material orgânico adequado incorporado aos sedimentos. Tais limitações não existem nas metodologias baseadas na dosimetria de radiação, e por essa razão a termoluminescência (TL) e a luminescência opticamente estimulada (LOE) alcançaram tanto potencial para a Geomorfologia. O princípio norteador deste método de datação é a acumulação de energia nos minerais cristalinos – sobretudo quartzo e feldspato – como função do tempo de exposição desses materiais à radiação ambiental natural de baixa intensidade e de origem cósmica, onipresente em todos os contextos deposicionais.

Atualmente três técnicas de datação dosimétricas são utilizadas com maior ou menor intensidade nas aplicações geomorfológicas: Termoluminescência (TL), Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) e a Ressonância do Spin do Elétron (RSE), também denominada em português de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE). A diferença básica entre estes três métodos é a forma como a energia acumulada nos minerais é liberada e detectada. Além disso, a sensibilidade das três abordagens ao processo de “zeramento” do sinal por exposição à luz do é distinta. A técnica da LOE apresenta as características mais efetivas de perda do sinal luminescente (zeramento) por exposição à luz solar, tornando-se assim o método mais efetivo para a datação de sedimentos provenientes de ambientes de deposição aquosos, como é o caso dos ambientes fluviais (JAIN et al., 2004). Não obstante, no caso de sedimentos provenientes de terraços e outras formas de acumulação de origem fluvial, problemas de sub-exposição à luz do dia e variações nas respostas de sensibilidade dos materiais datados devem ser investigados com bastante cautela. Dentre esses, deve-se investigar as amostras de grãos de quartzo que frequentemente não apresentam zeramento total, a contaminação por feldspato – difícil de separar do quartzo por métodos de densidade – e desequilíbrios na dose anual de radiação decorrentes da presença de concentrações variáveis de urânio dentro das várias camadas que integram um depósito.

Até mesmo os depósitos coluviais com pouca distância de transporte podem ser datados com êxito pelo método da LOE (CORRÊA, 2001; BEZERRA et al., 2008; GURGEL et al., 2013). Dois testes essenciais para verificar a confiabilidade das idades obtidas por LOE são o ordenamento estratigráfico das idades em uma sequência vertical e o levantamento de divergências encontradas na dosimetria ambiental dentro de um mesmo nível estratigráfico ou camada (BROWN et al., 2010). No caso da TL, o comportamento do zeramento é menos confiável, assim como no caso da RPE. Não obstante, avanços recentes, como a análise de grãos isolados, permitem a extração unicamente daqueles que apresentem boas características de zeramento (BEERTEN e STESMANS, 2005).

Luminescência

A família dos métodos de datação baseados na luminescência tem o seu mecanismo de operação assentado sobre o decaimento radioativo. Eles medem um sinal que se relaciona com a transferência de elétrons, a partir de defeitos inerentes aos materiais cristalinos

semicondutores (STOKES, 1999), sobretudo o quartzo e o feldspato. Os defeitos são próprios à estrutura cristalográfica dos minerais. Esses métodos são capazes de estabelecer o período de tempo transcorrido desde que a população aprisionada de elétrons foi liberada pela última vez. O evento de liberação da carga acumulada para os materiais sedimentares é o instante em que este material foi exposto à luz diurna pela última vez, antes de ser recoberto por novo episódio deposicional. A técnica se impôs a partir da década de 1980 e das contribuições de HUNTLEY et al. (1985; 1988). A descoberta mais significativa foi, sem dúvida, a da possibilidade de medir o sinal de luminescência diretamente relacionado à carga da população de elétrons aprisionada no cristal, mediante estímulo luminoso, assim definindo o próprio método da LOE (Luminescência Ópticamente Estimulada).

Segundo Stokes (1999) a abordagem teórica da LOE é mais coerente do que a da TL (Termoluminescência), muito utilizada até o surgimento do novo método, principalmente ao ser aplicada a depósitos sedimentares de ambientes aquosos, pois o mecanismo de liberação das cargas aprisionadas por fotoestímulo é mais próximo do natural, decorrente da iluminação solar, do que o térmico, utilizado pela TL.

O método da LOE presume que qualquer carga pretérita de elétrons contida em um sedimento é substancialmente reduzida, ou completamente removida, durante os processos de erosão, transporte e sedimentação, restando apenas uma pequena carga residual não removível. Geoffrey-Smith et al., (1988) demonstraram que no caso do quartzo e do feldspato, a redução do sinal por estímulo óptico chega a níveis muito baixos, obtendo-se valores residuais inferiores a 5% da carga inicial após uma exposição à luz do sol por um minuto.

Rendell et al. (1994) também demonstraram a eficácia do esvaziamento do sinal de luminescência óptica no quartzo e no feldspato, após uma exposição a três horas de luz, a uma profundidade de 12 metros sob a água, apesar de o espectro solar ser substancialmente atenuado a esta profundidade. Esses experimentos confirmaram a melhor adequação do método da LOE para a datação de sedimentos de encosta e fluviais depositados em condições subaquosas. Contudo, se o transporte de sedimento ocorrer em fluidos de elevada turbidez, a luz solar pode não proceder ao zeramento completo dos sedimentos, e neste caso a datação por luminescência pode sobre-estimar a idade do depósito.

A datação por luminescência tem sido usada de forma crescente nas últimas décadas para os sedimentos estruturadores das formas de agradação quaternárias (AITKEN, 1998; MURRAY e WINTLE, 2000; DULLER et al., 2003). As vantagens do método da LOE sobre os demais procedimentos de datação de sedimentos recentes, como o ^{14}C por exemplo, advém do fato deste explorar uma propriedade física – a luminescência – inerente aos sólidos cristalinos (minerais) encontrados no próprio depósito, prioritariamente o quartzo e os feldspatos. Assim sendo, a LOE se converte em método de datação absoluta de eventos deposicionais. Sua abrangência temporal vai desde cerca de 100 anos AP até 1Ma, dependendo dos níveis de saturação do material analisado (AITKEN, 1998; WAGNER, 1998), portanto o método da LOE se presta para a datação de eventos deposicionais ocorridos ao longo do Quaternário, desde aqueles relacionados a eventos climáticos regionais de grande magnitude (mudanças nos padrões de circulação regional), ou a eventos tectônicos que afetaram a rede de drenagem (inversões e capturas por soerguimento das cabeceiras), até episódios erosivos recentes desencadeados por alterações nos padrões de uso do solo (Figura 7).



Figura 7 – Tubo PVC introduzido em perfil para coleta de amostra para datação por LOE de colúvios da Serra da Baixa Verde, Pernambuco. O material amostrado precisa ser protegido da luz para evitar o “zeramento” da amostra pela exposição à luz.

Fonte: Tavares (2015).

A técnica é baseada nos efeitos ionizantes da radioatividade natural proveniente de minerais que contêm potássio, tório e urânio. Os elétrons são liberados do seu estado estável por uma adição de energia ao sistema, como quando são expostos à radiação ionizante proveniente do decaimento radioativo. Uma vez aprisionados, uma parte da população de elétrons pode se fixar em áreas defeituosas, tornando-se estáveis, até que uma nova adição de energia seja introduzida por via óptica ou térmica. Esta energia adicional supera um patamar de ativação e permite que os elétrons se combinem a “vazios” nos centros de recombinação. Os elétrons, então, retornam ao seu estado de base e se o centro de recombinação for do tipo luminescente, a energia é emitida em forma de fótons. Uma emissão de luminescência que se segue ao estímulo ótico é chamada de LOE, enquanto que aquela que se segue a um estímulo térmico denomina-se TL.

Conforme já mencionado, a luminescência opticamente estimulada (LOE) pode ser utilizada para estimar o tempo transcorrido desde que os clastos componentes de um se-

dimento foram expostos pela última vez à luz do sol. Portanto, a técnica fornece a idade da última estabilização do depósito. Considerando-se que a luminescência nos minerais naturais é uma função da exposição à radiação ambiental, e que pode ser esvaziada por exposição à luz durante o transporte e a deposição, a forma básica para o cálculo da idade por luminescência pode ser expressa pela equação [4]:

$$\text{Idade} = \text{Paleodose} / \text{Dose Ambiental} \quad [4]$$

A paleodose também é conhecida como dose equivalente (ED), e corresponde à radiação ionizante do decaimento dos isótopos de urânio, tório e potássio, incluindo-se uma contribuição menor da radiação cósmica, à qual o material esteve exposto desde a sua deposição.

A dose ambiental corresponde à taxa com que a amostra foi exposta à radiação ionizante e, portanto, à taxa pela qual a população de elétrons foi acumulada. Se o intervalo de tempo considerado for igual a um ano, refere-se a esta taxa como “Dose Anual”. O cálculo da dose anual pode ainda ser complicado, atenuado, pelos níveis de umidade ambiental e outros fatores como o intemperismo químico, de maneira que a sua fórmula final [5] pode ser expressa da seguinte forma:

$$D_a = 0,92 (D\beta) / 1 + 1,25 H_2O + D\chi / 1 + 1,14 H_2O + D_c + (D\beta_i) \quad [5]$$

onde D_a (dose anual), $D\beta$ (dose de radiação beta), H_2O (teor de água da amostra, expresso de 0 a 1), $D\chi$ (dose de radiação gama), D_c (dose de radiação cósmica), $D\beta_i$ (dose de radiação beta interna oriunda do K_{40} para as amostras de K-feldspato)

A datação óptica vale-se do fato de que a luz do sol libera os elétrons de armadilhas sensíveis existentes na estrutura cristalográfica do cristal de quartzo ou feldspato. A liberação dos elétrons aprisionados por estímulo luminoso reduz o sinal da LOE a zero. Quando os grãos são soterrados e permanecem fora do alcance da luz solar, eles começam a acumular uma população de elétrons aprisionados devido ao efeito da radiação ionizante emitida pelo decaimento de radioisótopos contidos no próprio depósito. Uma parte desta radioatividade natural origina-se dentro dos próprios grãos de quartzo e feldspato (radiação beta), mas a dose de radiação é oriunda, principalmente, do depósito em si (radiação gama). Se o fluxo de radiação ionizante for constante, então o tempo de soterramento pode ser determinado pela medição da dose armazenada nos grãos, dividida pelo fluxo da radiação ionizante ambiental (dose ambiental). A dose ambiental é uma medida do valor da radiação ionizante à qual o mineral é submetido. Esta pode ser determinada pelos métodos da ativação de nêutrons, pela β TLD (dose de termoluminescência da radiação beta) e pela espectrometria gama de alta resolução que permite ainda verificar a ocorrência de equilíbrio radioativo no depósito.

Em circunstâncias nas quais os sedimentos não foram suficientemente expostos à luz solar antes da deposição, as técnicas normais de LOE superestimam o tempo decorrido desde o último soterramento. Por esta razão, deve-se estabelecer, a partir de diversos pré-testes, a viabilidade da datação. Segundo Clarke et al., (1999), os sedimentos que sofreram um “zeramento” adequado do sinal de luminescência durante o transporte exi-

birão uma dose acumulada de radiação similar, desde que o material tenha uma sensibilidade homogênea à radiação ambiental ionizante – daí a necessidade de verificar a consistência mineralógica do material a ser datado. Também é necessário que a radiação ambiental tenha se mantido homogênea ao longo do tempo considerado, sem que tenha ocorrido substancial “desequilíbrio” devido a fatores externos, como um acentuado intemperismo químico.

Buscando superar o problema da falta de zeramento ou zeramento parcial do sinal de luminescência, no caso da deposição em ambiente aquoso, como os depósitos fluviais, alguns procedimentos têm sido implementados nos estudos mais recentes (FUCHS e WAGNER, 2005; THOMAS et al., 2005). Uma dessas abordagens é a redução do número de amostras para pequenas alíquotas ou mesmos grãos isolados. Essa técnica baseia-se na suposição de que amostras com zeramento insuficiente são constituídas por uma mistura de grãos de minerais com diversos níveis de zeramento, desde total até parcial ou incompleto. Assim, a medição da luminescência de várias alíquotas resultaria em uma distribuição específica. O setor da distribuição com os menores valores de luminescência acumulada representaria as subamostras com as melhores características de zeramento, logo supostamente mais adequadas para estabelecer a idade de deposição do material (OLLEY et al., 1999). Deste desenvolvimento surgiu o protocolo agora altamente difundido de uso de alíquotas simples – *Single Aliquote Regenerative method* ou SAR (STEVENS et al., 2008), que vem possibilitando estender a abrangência temporal da técnica para além do episódio paleomagnético Brunhes–Matuyama.

Traço de Fissão

A datação por traço de fissão também está baseada em isótopos radioativos como o ^{238}U (que ocorre no zircão, esfeno e apatita) que emitem partículas alfa que causam danos à estrutura cristalina dos minerais, chamados de “traços de fissão”. A densidade dos traços de fissão aumenta com a idade. Para que um traço de fissão seja formado, a temperatura do mineral deve estar abaixo de uma determinada faixa, chamada de temperatura de fechamento (cerca de 300°C para o zircão e aproximadamente 100°C para a apatita). Assim sendo, a idade registrada é aquela equivalente ao momento em que o mineral, em resfriamento, passou pela temperatura de fechamento, normalmente um intervalo de algumas dezenas de graus centígrados.

A principal aplicação geológica/geomorfológica da análise de traço de fissão é a de determinar a história de soerguimento e exumação/denução de uma determinada área. Se o gradiente geotérmico da área amostrada for bem conhecido, é possível determinar o tempo transcorrido desde que o mineral alvo do estudo cruzou a temperatura de fechamento a determinada profundidade da superfície atual do terreno.

Deste modo, termocronômetros de baixa temperatura como a apatita e o zircão acumulam uma idade de traço de fissão como resultado da fissão espontânea do ^{238}U que permite determinar o tempo transcorrido desde que os grãos esfriaram, passando por faixas de temperatura entre ~ 100°C ou 300°C, respectivamente. Essa propriedade tem sido utilizada para estimar a evolução termotectônica ou estratigrafia de traço de fissão (LISKER et al., 2009), que nesse caso inclui a estratigrafia do traço de fissão da

apatita (TFA). Percebe-se, no entanto, que o método é mais útil se aplicado em faixas móveis ativas, com elevadas taxas de soerguimento, permitindo a detecção de eventos de esfriamento da apatita e formação de traços datados do Terciário Médio e até mesmo do Pleistoceno. Nessas áreas, de fato, o método tem sido acoplado a outras formas de datação de superfícies e sedimentos, como os isótopos cosmogênicos e LOE, e têm demonstrado um comportamento de soerguimento contínuo em certas margens ativas de continentes, ou até mesmo do noroeste da Europa, que pode haver sido desencadeado pela denudação em combinação com forçantes climáticas, como os ciclos de Milankovitch (BRIDGLAND e WESTAWAY, 2007).

Dentre os métodos disponíveis para estimar a quantidade de denudação sofrida por uma área, o Traço de Fissão da Apatita (TFA) é correntemente utilizado em virtude de fornecer a história térmica das rochas para o intervalo entre 60° e 110°C. Esta temperatura de fechamento para os TFA, no caso das litologias cristalinas que constituem o arcabouço geológico de grande parte do Brasil, encontra-se a cerca de 3-4 km de profundidade – dado o gradiente geotérmico nesse contexto geográfico – o que de fato sugere que a técnica é adequada para o esclarecimento da denudação pós-separação continental, até o limiar do Cenozoico. Todavia, para o contexto geotectônico brasileiro, a mesma não resgata os movimentos crustais de menor alcance, sobretudo aqueles ocorridos a partir do limiar Terciário/Quaternário. Assim os dados obtidos são idealmente utilizados para inferir cronologias de denudação de longo prazo (> 10⁶ anos), sendo necessária sua integração com outras técnicas para a elucidação de eventos mais recentes.

Considerações Finais

Obviamente nenhum método de datação é isento de falhas e problemas em sua aplicação, desde o custo excessivo até a atuação de uma gama de fatores que podem resultar em idades errôneas ou de significado duvidoso. Além disso, conquanto a precisão e a acurácia da datação de sedimentos individuais aumentam, importantes problemas ainda permanecem no que concerne ao significado das idades obtidas em termos do que podem refletir em relação às mudanças ocorridas na paisagem.

Um exemplo pode ser dado a partir da abertura de uma seção estratigráfica, vertical, dentro de um depósito rudáceo de preenchimento de marmitas de dissolução articuladas à rede de drenagem, comuns nos pedimentos rochosos do semiárido brasileiro, com idades obtidas a cada 50 cm. De fato, o que essas idades realmente traduzem em termos de como as condições de aridez/semi-aridez, torrencialidade dos fluxos superficiais e aporte de sedimento mudaram ao longo da escala de tempo medida? Será que a falta de sedimento de um período em particular significa que nenhum sedimento foi depositado? E, se for o caso, por que isso ocorrerá? Será que as condições foram demasiado secas em dados momentos e, portanto, destituídas de escoamento superficial significativo, ou o suprimento de sedimento não era adequado, ou mesmo a vegetação tenha retido as frações que poderiam ser destacadas pelo fluxo laminar não canalizado? Ou ainda, será que a falta de sedimento de um período pressupõe uma fase erosiva, com criação de novo espaço de acomodação para os sedimentos da fase subsequente? (Figura 8).

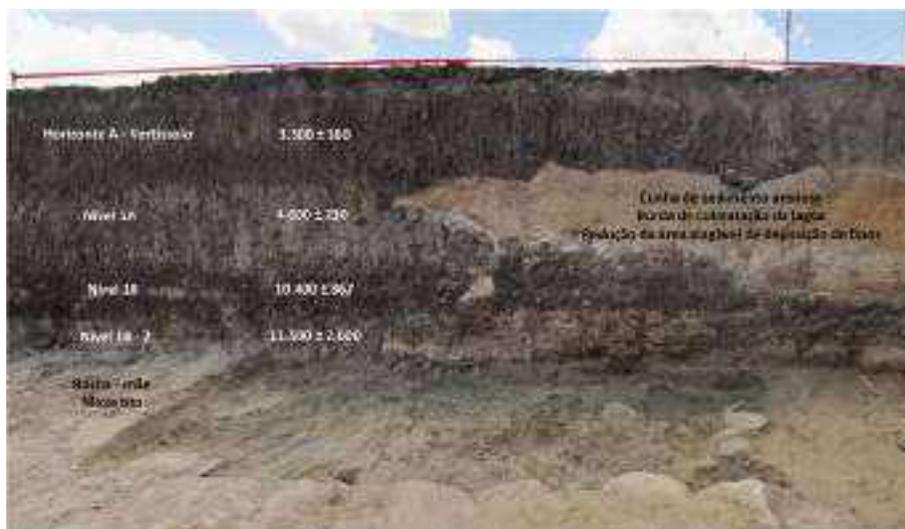


Figura 8 – Depósito de preenchimento de marmita de dissolução com níveis datados por LOE, e significativos hiatos deposicionais. Lagoa do Uri, Salgueiro, Pernambuco. Fonte: Mützenberg et al. (2013).

Efetivamente, a Geomorfologia avançou bastante nas últimas décadas no registro dos processos formativos que se refletem nos mais diversos tipos de modelados agradacionais, embora ainda reste muita incerteza sobre o que realmente essas áreas de estocagem na paisagem significam. Esse é apenas um exemplo de como os geomorfólogos contemporâneos, lidando com as questões concernentes à relação forma-processo em paisagens funcionais atuais, podem contribuir diretamente para a compreensão das questões evolutivas acerca de paisagens pretéritas.

Referências Bibliográficas

AITKEN, M. J. *An Introduction to Optical Dating: the Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 267p.

AZAMBUJA, R. N. *Dinâmica superficial em uma bacia de drenagem semiárida: um estudo de caso da bacia do riacho Salgado — PE*. Recife, PE. 247f. 2012. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

BEERTEN, K.; STESMANS, A. Single quartz grain electron spin resonance (ESR) dating of a contemporary desert surface deposit, Eastern Desert, Egypt. *Quaternary Science Reviews*, v. 24, p. 223-231, 2005.

BEZERRA, F. H. R.; BRITO NEVES, B. B.; CORRÊA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin — The Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*, v. 97, p. 555-582, 2008.

BIERMAN, P. R. Using in situ cosmogenic isotopes to estimate rates of landscape evolution: A review from the geomorphic perspective. *Journal of Geophysical Research* (special issue on Tectonics and Topography), v. 99, B-7, p. 13885-13896, 1994.

_____; MARSELLA, K. A.; DAVIS, P. T.; PATTERSON, C.; CAFFEE, M. Mid-Pleistocene cosmogenic minimum-age limits for pre-Wisconsinan glacial surfaces in southwestern Minnesota and southern Baffin Island — a multiple nuclide approach. *Geomorphology*, v. 27, n. 1/2, p. 25-40, 1999.

_____; CAFFEE, M. Steady state rates of rock surface erosion and sediment production across the hyperarid Namib Desert and the Namibian escarpment, southern Africa. *American Journal of Science*, v. 301, p. 326-358, 2001.

BRIDGLAND, D. R.; WESTAWAY, R. Preservation patterns of late Cenozoic fluvial deposits and their implications: results from IGCP 449. *Quaternary International*, v. 189, p. 5-38, 2007.

BRONK RAMSEY, C. Dealing with outliers and offsets in radiocarbon dating. *Radiocarbon*, v. 51, n. 3, p. 1-28, 2009.

BROWN, A. G.; BASELL, L. S.; TOMS, P. S.; BENNETT, J.; HOSFIELD, R. T.; SCRIVENER, R. C. Late Pleistocene evolution of the Exe Valley: a chronostratigraphic model of terrace formation and its implications for Paleolithic Archaeology. *Quaternary Science Reviews*, v. 29, p. 897-912, 2010.

_____. Holocene floodplain sedimentation and channel response of the lower River Severn. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 31, p. 293-310, 1987.

CANDY, I.; BLACK, S.; SELLWOOD, B. W. U-series isochron dating of immature and mature calcretes as a basis for constructing Quaternary landform chronologies for the Sorbas basin, southeast Spain. *Quaternary Research*, v. 64, p. 100-111, 2005.

CHIVERRELL, R. C.; HARVEY, A. M.; FOSTER, G. C. Hillslope gullying in the Solway Firth — Morecambe Bay region, Great Britain: responses to human impact and/or climatic deterioration? *Geomorphology*, v. 84, p. 317-343, 2007.

CLARKE, M. L.; RENDELL, H. M.; WINTLE, A. G. Quality assurance in luminescence dating. *Geomorphology*, v. 29, p. 173-185, 1999.

COCKBURN, H. A. P.; SUMMERFIELD, M. A. Geomorphological applications of cosmogenic isotope analysis. *Progress in Physical Geography*, v. 28, n. 1:1-42, 2004.

CORRÊA, A. C. B. *Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil*. Rio Claro, SP. 386f. 2001. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista, 2001.

DULLER, G. A. T., BOTTER-JENSEN, L., MURRAY, A. S. Combining infrared and green-laser stimulation sources in single-grain luminescence measurements of feldspar and quartz. *Radiation Measurements*, v. 37, p. 543-550, 2003.

FELICE, G. D.; PESSIS, A. M.; CORRÊA, A. C. B.; GUIDON, N.; LOURDEAU, A.; PAGLI, M.; MÜTZENBERG, D.; MACEDO, A. O. Microescavação de amostra da concreção carbonática da Lagoa Uri de Cima: gênese e tafonomia. *Fundamentos X*, v.1, n. 10, p. 69-99, 2013.

FUCHS, M.; WAGNER, G. A. The chronostratigraphy and geoarchaeological significance of an alluvial geoarchive: comparative OSL and AMS ¹⁴C dating from Greece. *Archaeometry*, v. 47, p. 849-860, 2005.

GEOFFREY-SMITH, D. I.; HUNTLEY, D. J.; CHEN, W. H. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts. *Quaternary Science Reviews*, v. 7, p. 373-380, 1988.

GILLESPIE, A. R.; BIERMAN, P. Precision of terrestrial exposure ages and erosion rates from analysis of in-situ produced cosmogenic isotopes. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. 12, p. 24637-24649, 1995.

GOSSE, J. C.; PHILLIPS, F. M. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. *Quaternary Science Reviews*, v. 20, p. 1475-2560, 2001.

GOUDIE, A. S. *Arid and Semi-Arid Geomorphology*. Nova York: Cambridge University Press. 2013. 461p.

_____; VILES, H. A. *Landscapes and Geomorphology: A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2010. 144p.

GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (Eds.). *The SAGE Handbook of Geomorphology*. Nova York: SAGE Pub USA, 2011. 610p.

GURGEL, S. P. P.; BEZERRA, F. H. R.; CORRÊA, A. C. B.; MARQUES, F. O.; MAIA, R. P. Cenozoic uplift and erosion of structural landforms in NE Brazil. *Geomorphology*, v. 186, p. 68-84, 2013.

HIGHAM, T. G.; JACOBI, R. M.; BRONK RAMSEY, C. AMS radiocarbon dating of ancient bone using ultrafiltration. *Radiocarbon*, v. 48, p. 179-195, 2006.

HUMPHREY, N. F.; HELLER, P. L. Natural oscillations in coupled geomorphic systems: an alternative origin for cyclic sedimentation. *Geology*, v. 23, p. 499-502, 1995.

HUNTLEY, D. J.; GODFREY-SMITH, D. I.; THEWALT, M. L. W. Optical dating of sediments. *Nature*, v. 313, p. 105-107, 1985.

_____; GODFREY-SMITH, D. I.; THEWALT, M. L. W.; BERGER, G. W. Thermoluminescence spectra of some mineral samples relevant to thermoluminescence dating. *Journal of Luminescence*, v. 39, p. 123-136, 1988.

JAIN, M.; MURRAY, A. S.; BOTTER-JESEN, L. Optically stimulated luminescence dating: How significant is incomplete light exposure in fluvial environments? *Quaternaire*, v. 15, p. 143-157, 2004.

LISKER, F.; VENTURA, B.; GLASMACHER, U. A. Apatite thermochronology in modern geology. *Geological Society*, Londres, Special Publications, v. 324, p. 1-23, 2009.

MICHEL, H.; BARCI-FUNEL, G.; DALMASSO, J.; ARDISSON, G.; APPLEBY, P. G.; HAWORTH, E.; EL-DAOUSHY, F. Plutonium, americium and cesium records in sediment cores from Blelham Tarn, Cumbria (UK). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 247, p. 107-110, 2001.

MURRAY, A. S.; WINTLE, A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurement*, v. 32, p. 57-73, 2000.

MÜTZENBERG, D.; CORRÊA, A. C. B.; CISNEIROS, D.; VIDA, I. A.; FELICE, G. D.; SILVA, D. G.; KHOURY, H.; LIBONATI, R. Sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima: cronoestratigrafia de eventos paleoambientais no semiárido nordestino. *Fumdhamentos X*, v. 1, n. 10, p. 51-68, 2013.

OLLEY, J. M.; CAITCHEON, G. G.; ROBERTS, R. G. The origin of dose distributions in fluvial sediments, and the prospect of dating single grains from fluvial deposits using optically stimulated luminescence. *Radiation Measurements*, v. 30, p. 207-217, 1999.

OLLIER, C. *Tectonics landforms*. Londres: Longman Group, 1981. 324p.

ORME, A. R. The Cycle of Erosion: Changing Times, Changing Science. In: AGNEW, J. A.; LIVINGSTONE, D. N. *The SAGE Handbook of Geographical Knowledge*. Londres: SAGE, 2011, 636p.

PELTIER, L. The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 40, p. 214-236, 1950.

PENNINGTON, W.; TUTIN, T.; CAMBRAY, R.; FISHER, E. Observations on lake sediments using fallout ¹³⁷Cs as a tracer. *Nature*, v. 242, p. 324-326, 1973.

RENDELL, H. M.; WEBSTER, S. E.; SHEFFER, N. L. Underwater bleaching of signals from sediment grains: new experimental data. *Quaternary Science Reviews*, v. 13, p. 433-435, 1994.

RHOADS, B. L. Beyond pragmatism: the value of philosophical discourse for physical geography with emphasis on geomorphology. *Annals Association of American Geographer*, v. 89, 1999.

SHACKLETON, N. J. The 100,000-Year Ice-Age Cycle Identified and Found to Lag Temperature, Carbon Dioxide, and Orbital Eccentricity. *Science*, v. 289, p. 1897-1902, 2000.

SHARP, W. D.; LUDWIG, K. R.; CHADWICK, O. A.; AMUNDSON, R.; GLASER, L. L. Dating fluvial terraces by $^{230}\text{Th}/\text{U}$ on pedogenic carbonate, Wind River Basin, Wyoming. *Quaternary Research*, v. 59, p. 139-150, 2003.

STEVENS, T.; LU, H.; THOMAS, D. S. G.; ARMITAGE, S. J. Optical dating of abrupt shifts in the late Pleistocene East Asian monsoon. *Geology*, v. 36, n. 5, p. 415-418, 2008.

STOKES, S. Luminescence dating applications in geomorphological research. *Geomorphology*, v. 29, p. 153-171, 1999.

TAVARES, B. A. C. *Evolução morfotectônica dos pedimentos embutidos do Planalto da Borborema*. Recife, PE. 251f. 2015. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

THOMAS, P. J.; JAIN, M.; JUYAL, N.; SINGHVI, A. K. Comparison of single-grain and small-aliquot OSL dose estimates in <3000 years old river sediments from South India. *Radiation Measurements*, v. 39, p. 457-469, 2005.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. *Introduction to Climatic Geomorphology*. Londres: Longman, 1972. 321p.

VANCE, D.; BICKLE, M.; IVY-OCHS, S.; KUBIK, P. W. Erosion and exhumation in the Himalaya from cosmogenic isotope inventories of river sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 206, p. 273-288, 2003.

WAGNER, G. A. *Age Determination of Young Rocks and Artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology*. Nova York: Springer, 1998. 466p.

ZHANG, X.; WALLING, D. E. Characterizing land surface erosion from Cesium-137 profiles in lake and reservoir sediments. *Journal Environmental Quality*, v. 34, p. 514-23, 2005.

Recebido em: 16/06/2016

Aceito em: 30/6/2016

Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica

Methods And Techniques In Geomorphology Tectonics

Luiza Leonardi Bricalliⁱ

Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, Brasil

Resumo: Há uma notória relação entre Neotectônica e aspectos da morfologia das paisagens atuais. Nos últimos anos, a tectônica envolvendo o intervalo de tempo do Neógeno e do Quaternário (Neotectônica) tem sido amplamente investigada para explicar as feições morfotectônicas, especialmente na região Sudeste e Nordeste do Brasil. A base metodológica utilizada para estudos em Geomorfologia Tectônica deve integrar: análise de domínios de lineamentos sobre MDE, pois podem indicar reativação de linhas de fraqueza pré-cambrianas; análise estrutural de conjuntos de pares falha/estria afetando o embasamento alterado e os depósitos neogênicos, que podem apontar eventos tectônicos geradores de estruturas e do relevo; análises morfotectônicas que correspondem a formas sob o controle tectônico ativo, resultado de movimentos crustais ocorridos no cenozoico; análises hipsométricas que podem indicar blocos altos e baixos com origem tectônica; análise da rede de drenagem, através da identificação de anomalias de drenagem, cálculo de assimetria de drenagem, identificação de padrões de drenagem controlados tectonicamente, orientação da rede de drenagem e identificação de *knickpoints*. A preocupação central desse artigo é demonstrar que não se realiza pesquisa em Geomorfologia Tectônica dissociada da Neotectônica, uma vez que feições derivadas de ação tectônica antiga apresentam variação de suas características devido a processos erosivos.

Palavras-chave: Morfotectônica; Neotectônica; Geomorfologia Tectônica; Lineamentos; Rede de Drenagem.

Abstract: There is a striking relationship between neotectonics and the morphology of the current landscape. In recent years, the tectonic involving the time interval of the Neogene and Quaternary (Neotectonics) have been widely investigated to explain the morphotectonic features, especially in the southeast and northeast of Brazil. The methodological basis used for studies on Geomorphology Tectonic shall include: lineaments of domain analysis on MDE, as they may indicate reactivation of Precambrian lines of weakness; Structural analysis offault/striae affecting the Precambrian basement weathered and neogenic deposits, which may point generating structures and tectonic relief events; morphotectonic analyzes that correspond to forms in the active tectonic control, the result of crustal movements in cenozoico; hipsometric analysis that may indicate high and low

ⁱ Professora do Departamento de Geografia – UFES. luizabricalli@gmail.com

blocks with tectonic origin; analysis of the drainage network, by identifying anomalies drainage, drainage asymmetry calculation drainage patterns identification tectonically controlled, drainage network knickpoints guidance and identification. The central concern of this article is to show that not conducted research in geomorphology Tectonics disassociated from Neotectonics, since features derived from ancient tectonic activity have varying characteristics due to erosion.

Keywords: Morphotectonic; Neotectonics; Tectonic Geomorphology; Lineaments; Drainage Network.

Introdução

O estudo aprofundado do relevo na ciência geográfica tem seu início por meio do *Geographical Cycle*. A tectônica influenciando as formas de relevo é abordada desde o início do século XX, na visão de Penck (1953), que entendia que o relevo evoluiria a partir de um soerguimento crustal com denudação concomitante, inadmitindo uma estabilidade tectônica ao longo da evolução da morfologia, como sugerida por Davis (1899).

Em um contexto geotectônico geral na Placa Sul-americana, o Brasil localiza-se em uma zona de “margem passiva”, onde os esforços tectônicos ocorrem em função, essencialmente, da interação de processos das forças de empurrão, exercidas principalmente pela abertura da Cordilheira Meso-Atlântica (*ridge push*); e dos esforços compressoriais, transmitidos a partir do limite oeste da placa, na fossa Peru-Chile (COBLENTZ e RICHARDSON, 1996). Em nível regional, além do empurrão da cordilheira, deve-se considerar também o “puxão” decorrente da subducção da Placa de Nazca (*slab pull*) e, em nível local, as forças associadas às margens continentais e às áreas elevadas (COBLENTZ; RICHARDSON, 1996).

Nas margens continentais “passivas”, como a brasileira, dois fatores geram esforços locais que interagem com os regionais: o contraste de densidade entre as crostas continental e oceânica, acarretando o estiramento da borda continental, e a flexura da litosfera devido à carga de sedimentos das bacias marginais. Esses dois fatores gerariam distensão na área mais superficial e compressão na parte interna (ASSUMPÇÃO, 1992).

Durante muitos anos o Brasil foi considerado como uma margem tectônica passiva, onde não se considerava a ocorrência de movimentações tectônicas. No entanto, a tectônica envolvendo o intervalo de tempo do Neógeno e do Quaternário (Neotectônica) (BRICALLI, 2011) tem sido amplamente investigada na região Sudeste, principalmente na área do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil – feição geotectônica desenvolvida na área emersa adjacente às bacias de Santos e Campos, incluindo importantes bacias sedimentares paleogênicas. Esta área tornou-se alvo de pesquisadores interessados nos movimentos recentes da crosta, resultando em um amplo conjunto de estudos a respeito do tema (RICCOMINI, 1989; HASUI, 1990; SAADI, 1993; SALVADOR, 1994; SALVADOR e RICCOMINI, 1995; MELLO, 1997; GONTIJO, 1999; RICCOMINI; ASSUMPÇÃO, 1999; HIRUMA e RICCOMINI, 1999; FERRARI, 2001; HIRUMA et al., 2001; SARGES, 2002; MODENESI-GAUTTIERI et al., 2002; ALBUQUERQUE, 2004; SANSON, 2006; SILVA, 2006; HIRUMA, 2007; MIRANDA, 2009; RIBEIRO, 2010; BRICALLI, 2011).

Diversos estudos enfatizam o levantamento e análise de estruturas tectônicas rúpteis (juntas e falhas) que afetam as sucessões cenozoicas, com a definição de seqüências de eventos tectônicos responsáveis pela formação e deformação de cada área estudada para o entendimento puramente dos eventos geológicos ou da morfotectônica. Entre estes, podem ser mencionados os estudos de Riccomini (1989), Salvador (1994), Salvador e Riccomini (1995), Riccomini e Assumpção (1999), Ferrari (2001), Albuquerque (2004), Riccomini et al. (2004), Sanson (2006), Silva (2006), Miranda (2009) e Bricalli (2011). Existe uma notória relação entre Neotectônica e aspectos da morfologia das paisagens atuais e, por isso, os principais estudos sobre Geomorfologia Tectônica e Estrutural no Brasil não são dissociados da Neotectônica e têm sido desenvolvidos, especialmente, na região Sudeste (GONTIJO, 1999; HIRUMA et al., 2001; MODENESI-GAUTTIERI et al., 2002; BRICALLI e MELLO, 2009; RIBEIRO, 2010; BRICALLI, 2011; BUSATO, 2014), principalmente na área do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil – feição geotectônica desenvolvida na área emersa adjacente às bacias de Santos e Campos, incluindo importantes bacias sedimentares paleogênicas (RICCOMINI, 1989; SALVADOR e RICCOMINI, 1995) e na região nordeste do Brasil (BEZERRA et al., 2001; NOGUEIRA et al., 2006; BEZERRA et al., 2007; BEZERRA et al., 2014). Um aspecto importante relacionado ao controle neotectônico no relevo são as correspondências das orientações das falhas geradas nos eventos neotectônicos com a orientação das feições morfotectônicas (HATUSHIKA et al., 2005; BRICALLI e MELLO, 2009; BRICALLI, 2011).

Há uma escassa bibliografia no Brasil sobre a relação de feições geomorfológicas com a tectônica e estruturas. Esse fato está relacionado com a herança histórica dos estudos geomorfológicos no Brasil, direcionados para fatores que são classicamente considerados, tais como o arcabouço litoestrutural e as variações climáticas. Para isso, é de fundamental importância integrar conhecimentos da Geomorfologia e da Geologia Estrutural, considerando ser o desenvolvimento desta abordagem integrada de análise uma relevante evolução técnico-científica da ciência Geomorfológica.

Fundamentos Teóricos-Conceituais em Geomorfologia Tectônica

Geomorfologia Tectônica

Muitas feições geomorfológicas são originadas por movimentação tectônica. Summerfield (1986) considera a morfotectônica como a elaboração das formas ou paisagens sob o controle tectônico ativo, e em 1987 este mesmo autor a considera como uma metodologia para à identificação de movimentos neotectônicos. Doornkamp (1986) corrobora com tal argumentação, colocando que a morfotectônica deve ser entendida como a geomorfologia das formas de relevo, cujo caráter é relacionado com a tectônica recente. Desta forma, a morfotectônica se atém apenas a feições geomorfológicas resultantes da neotectônica, pois as feições derivadas de ação tectônica antiga apresentam variação de suas características devido à erosão sofrida no decorrer do tempo geológico (BLOOM, 1991), não sendo mais possível identificar com clareza a influência tectônica em sua gênese; além de proporçio-

nar feições singulares em margens passivas, de modo que sejam identificadas com características próprias de morfologias que sofreram controle neotectônico (BURBANK e ANDERSON, 2001).

Segundo Stewart e Hancock (1994), *landforms* ou paisagens ou relevos tectônicos expressam um amplo espectro de feições topográficas que podem ser empregadas como indicadores do estilo, da magnitude, e da recorrência do movimento tectônico.

Em estudos geológicos, elementos de fundamental importância para análises tectônicas controlando o relevo são, por exemplo, rupturas de declive (SOARES e FIORI, 1976 apud BEZERRA, 2003), as quais definem formas de estruturação do relevo, possibilitando alterações geomorfológicas das mais variadas dimensões na superfície da Terra.

Falhas ativas originam estruturas variadas e criam feições distintas, gerando padrões específicos de paisagens (SUMMERFIELD, 1991; GONTIJO, 1999). Cada tipo de falha é responsável por feições geomorfológicas diferentes. Falhas normais podem gerar feições morfotectônicas do tipo: escarpas, que podem apresentar *fronts* lineares (Figura 1) ou escalonados; facetas trapezoidais e triangulares (Figura 1); *Horsts* e *Grabens* (Figura 1) – Summerfield (1986; 1987; 1991). Falhas transcorrentes podem gerar as seguintes feições morfotectônicas (SUMMERFIELD, 1986; 1987; 1991): escarpas, vales lineares, *sag ponds*, cristas lineares de *pressure ridges* e *Shutter ridge* (Figura 1), enquanto falhas reversas podem gerar escarpas, colinas anticlinais (*upwarps*) (Figura 1), colinas sinclinais (*downwarps*) (SUMMERFIELD, 1986; 1987; 1991). Todas feições morfotectônicas citadas são comuns no Sudeste do Brasil (GONTIJO, 1999; BRICALLI e MELLO, 2009; BRICALLI, 2011), destacando-se ainda a existência de feições morfotectônicas de vales assimétricos, alvéolos de sedimentação e vale retilíneo.

Neotectônica

Em termos do contexto geotectônico geral na Placa Sul-americana, o Brasil localiza-se em uma zona de “margem passiva”, onde os esforços tectônicos ocorrem em função, essencialmente, da interação de dois processos: forças de empurrão, exercidas principalmente pela abertura da Cordilheira Meso-Atlântica (*ridge push*) (Figura 2); e esforços compressoriais, transmitidos a partir do limite oeste da placa, na fossa Peru-Chile (COBLENTZ e RICHARDSON, 1996). Em nível regional, além do empurrão da cordilheira, deve-se considerar também o “puxão” decorrente da subducção da Placa de Nazca (*slab pull*) e, em nível local, as forças associadas às margens continentais e às áreas elevadas (COBLENTZ e RICHARDSON, 1996). Os esforços neotectônicos no Brasil possuem uma relação com esses esforços tectônicos regionais.

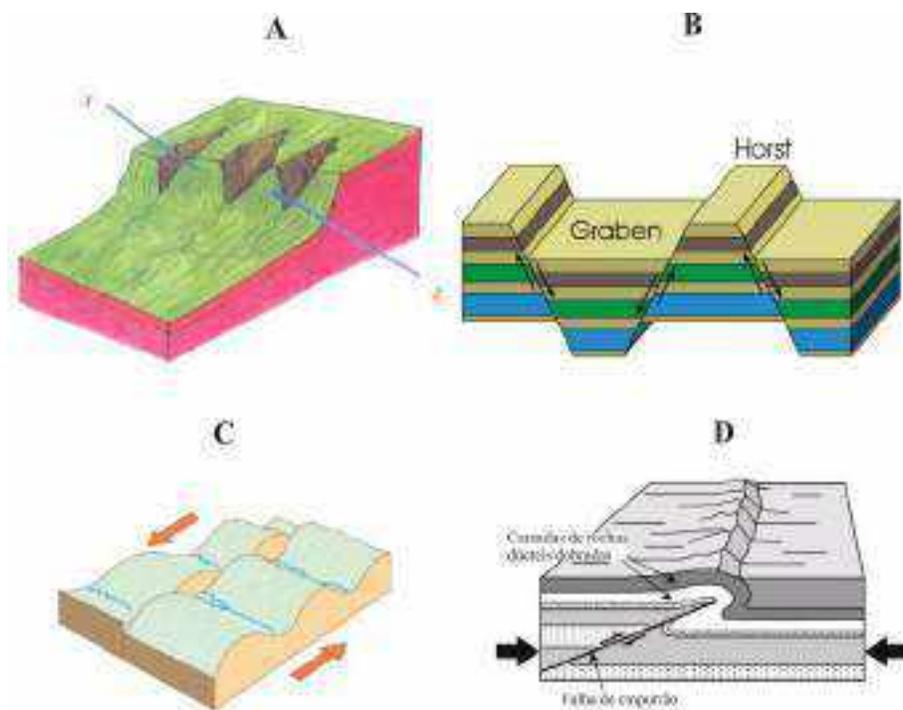


Figura 1 – (A) Facetas desenvolvida em escarpas de falha (1 - faceta trapezoidal; 2 - faceta triangular), originadas por falhamento normal. (B) Feições morfotectônicas de *horsts* e *grabens*, originadas por falhamento normal. (C) Feição morfotectônica *Shutter Ridge*, ao longo de uma falha *strike slip*. (D) Colinas anticlinais (*upwarps*) produzidas quando as camadas que se encontram sobre a falha são dobradas.

Fonte: A (<http://pt.slideshare.net/Cica2010/geomorfologia-geral-e-do-brasil>. Acesso em 18 maio 2016). B (<http://tyhugibax.freeiz.com/what-are-horst-and-graben.php>. Acesso em 18 maio 2016). C (Huggett, 2011). D (<https://gsc350.wikispaces.com/1994Northridgeearthquake>. Acesso em 18 maio 2016).

O conceito de Neotectônica diverge de acordo com a concepção de vários autores que tratam do assunto, embora todos tratem das deformações tectônicas recentes da crosta terrestre. Para alguns, a Neotectônica está relacionada a apenas um aspecto temporal, enquanto outros destacam a relação com a modelagem da topografia contemporânea. Outros autores tratam das relações geológicas e sismológicas. Obruchev (1948 apud SAADI, 1993) introduziu o termo Neotectônica para designar movimentos da crosta terrestre que se instalaram durante o “Terciário” tardio (Neógeno) e Quaternário, e que desempenharam um papel decisivo na formação da topografia contemporânea. Já a Comissão de Neotectônica da INQUA de 1978 (MORNER, 1989) define Neotectônica como sendo qualquer movimento da Terra ou deformação do nível de referência geodésico.

co, seus mecanismos, sua origem, suas implicações práticas e suas extrapolações futuras, incluindo toda a escala de tempo dos movimentos, desde os instantâneos (sismos) até 10^7 anos, caso necessário para permitir o entendimento da origem do movimento registrado.



Figura 2 – Distribuição das tensões regionais na Placa Sul-americana, considerando a força de empurrão da Cordilheira Meso-Atlântica, a força de contato entre diferentes porções litosféricas, a força topográfica e a força de arrasto da placa com a astenosfera. As letras indicam a posição da Cordilheira Blanca (A), Escudo Brasileiro Ocidental (B), Escudo Brasileiro Oriental (C) e bacia oceânica (D). As forças colisionais aplicadas neste modelo produziram grandes áreas de compressão nas porções setentrional e meridional da placa, mas não afetaram significativamente as tensões previstas no interior das regiões continentais. (Fonte: Coblenz e Richardson, 1996).

Hancock e Williams (1986) consideraram ainda que a fase de atuação neotectônica de uma região é aquela que corresponde ao campo de tensão e de deformação contemporâneo, afirmando a importância do aspecto temporal para definir o termo, considerando como Neógeno. E Summerfield (1986) coloca que o período neotectônico englobaria movimentos da crosta com escalas de tempo variando desde décadas até o Neógeno inteiro, não podendo ser mais antigos que isso e tendo relação direta com a evolução da paisagem de uma dada região. Complementando esta ideia, Trifonov (1989) considera neotectônica como movimentos de superfície que podem ser estudados e medidos mais do que outros antigos, considerando uma atividade do Neógeno e afirma ainda que a neotectônica fornece a base para testar conceitos

tectônicos. Já Pavlides (1989) afirma que neotectônica está ligada a eventos tectônicos novos, que ocorreram ou estão ocorrendo numa região após a orogênese final ou, mais precisamente, após a sua reorganização tectônica mais significativa, e Hasui (1990) define que eventos neotectônicos estão diretamente relacionados à tectônica ressurgente, definida como uma manifestação tectônica intermitente de falhas em episódios separados por intervalos de quiescência. Este autor afirma ainda que durante a atuação de um regime de esforços, dependendo da orientação da falha preexistente em relação aos esforços e a intensidade destes, é mais fácil reativar uma falha preexistente do que nuclear uma nova falha. E, como complementação final, Stewart e Hancock (1994) afirmam que a neotectônica constitui um ramo da tectônica ligada ao estudo dos movimentos que ocorreram no passado e continuam ocorrendo no presente e que as estruturas neotectônicas estariam relacionadas ao regime tectônico atual, tendo sido geradas ou reativadas em um campo de esforços e deformação.

Em termos da evolução geológica do território brasileiro, Hasui (1990) relaciona os mecanismos neotectônicos ao processo de deriva da Placa Sul-americana, dizendo respeito a movimentações ainda vigentes, em ambiente intraplaca. Este autor sugere, entre outros marcos balizadores da Neotectônica no Brasil, o início da deposição da Formação Barreiras – unidade sedimentar de idade Mioceno-Plioceno cujo registro ocorre ao longo da região costeira entre os estados do Amapá e do Rio de Janeiro. Nesta mesma linha de pensamento, Saadi (1993) afirma que a Plataforma Brasileira foi afetada por deformações tectônicas cenozoicas em toda a sua extensão e que essas deformações se aproveitaram preferencialmente de antigas linhas de fraqueza crustal, herdadas de deformações pretéritas, podendo, no entanto, terem sido nucleadas estruturas novas. Para este autor, as principais descontinuidades crustais reativadas limitam uma compartimentação do território brasileiro segundo as atividades neotectônicas.

Metodologia, Métodos e Técnicas para Pesquisa em Geomorfologia Tectônica

Análise de Lineamentos

Lineamentos são considerados feições lineares identificáveis no terreno e em imagens de sensores remotos, que podem ser associadas a estruturas de subsuperfície, especialmente as linhas de fraqueza pré-cambrianas.

A reativação de linhas de fraqueza pré-cambrianas tem sido documentada como aspecto fundamental para o entendimento das manifestações neotectônicas no Brasil (HASUI, 1990; SAADI, 1993; BRICALLI, 2011). Neste sentido, a análise de domínios de lineamentos (setores do terreno identificáveis por conjuntos de lineamentos com padrões particulares), em escala regional, tem sido mostrada como uma ferramenta útil, sendo utilizada em estudos de neotectônica e geomorfologia tectônica realizados no Sudeste do Brasil por, entre outros, Gontijo (1999), Hiruma e Riccomini (1999), Hiruma et al. (2001), Modenesi-Gauttieri et al. (2002), Silva (2006), Hiruma (2007), Miranda (2009); Ribeiro (2010) e Bricalli (2011); na Itália (WISE et al, 1985; FUNICIELLO et al, 1977) e; na Antártica (CIANFARRA e SALVINI, 2008). Além disso, a análise de lineamentos, pre-

viamente a trabalhos de campo, pode apontar áreas de ocorrência de estruturas rúpteis, uma vez que os lineamentos correspondem a feições geológicas lineares.

Extração Manual de Lineamentos

O mapa de lineamentos pode ser confeccionado a partir da técnica de extração de lineamentos sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando-se de *softwares* de geoprocessamento. Os MDEs são as imagens de sensores remotos mais utilizados para decalque de lineamentos, uma vez que: i) permitem a aplicação de diferentes iluminações artificiais na imagem, favorecendo o realce diferenciado dos lineamentos para cada ângulo de iluminação utilizado; ii) após aplicação das iluminações artificiais, as zonas de discontinuidades da crosta (fraturas) ficam mais destacáveis e visíveis na imagem; iii) diferentemente das imagens de satélites e fotografias aéreas, as imagens de radar não destacam as áreas urbanas, vegetação e nuvens, por exemplo, o que dificulta a análise de lineamentos.

A primeira etapa para elaboração de um mapa de lineamentos consiste no processamento e preparo da imagem, que inclui: i) aplicação de iluminações artificiais (por exemplo, 000°, 045°, 090° e 315°) (Figura 3), buscando destacar a maior quantidade de lineamentos possíveis. Essas iluminações são obtidas a partir do cálculo do sombreamento do relevo, utilizando-se a ferramenta própria de *softwares* de geoprocessamento; ii) escolha da elevação solar de 45°, ângulo intermediário que facilita a análise em regiões heterogêneas, que apresentam áreas planas e montanhosas, e; iii) estabelecimento do “Z-factor” (valor variável de acordo com a latitude em que a área em análise encontra-se no planeta), dependendo do *software* utilizado.

Os lineamentos são traçados em cada uma das iluminações referenciadas, considerando linhas de segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, vales, trechos de rios e lagos, e depressões alongadas (LIU, 1984) (Figura 4).

Posteriormente, a análise de lineamentos consiste no cálculo do azimute e do comprimento dos lineamentos realizadas por aplicativos específicos em *softwares* de geoprocessamento.

Esses valores são exportados em forma de tabela para um programa de diagramas de rosetas para representação das direções e comprimentos dos lineamentos. É importante que sejam construídas rosetas representativas da direção e do comprimento predominantes para cada compartimento geológico, além de uma roseta representativa da direção e do comprimento predominantes para a área total. Ressalta-se a importância de um detalhamento da análise dos lineamentos, elaborando uma quantidade maior de rosetas de direção e comprimento de lineamentos, distribuídas por toda área (Figura 5).

Por último, a elaboração de um mapa de densidade de lineamentos é importante para indicar os principais *trends* estruturais da área.

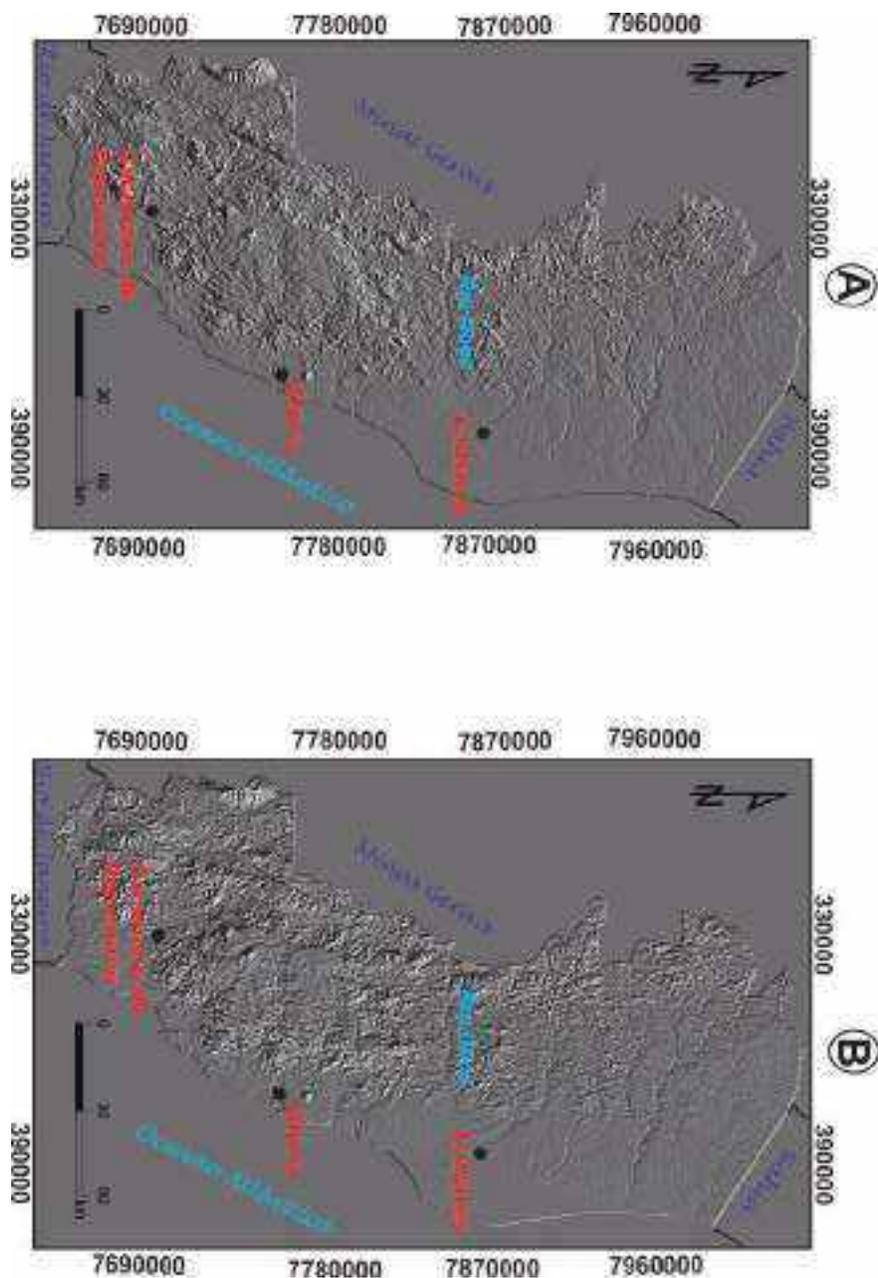


Figura 3 – Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 0°(A), 45°(B) e elevação solar constante de 45°.

Fonte: Bricalli (2011).

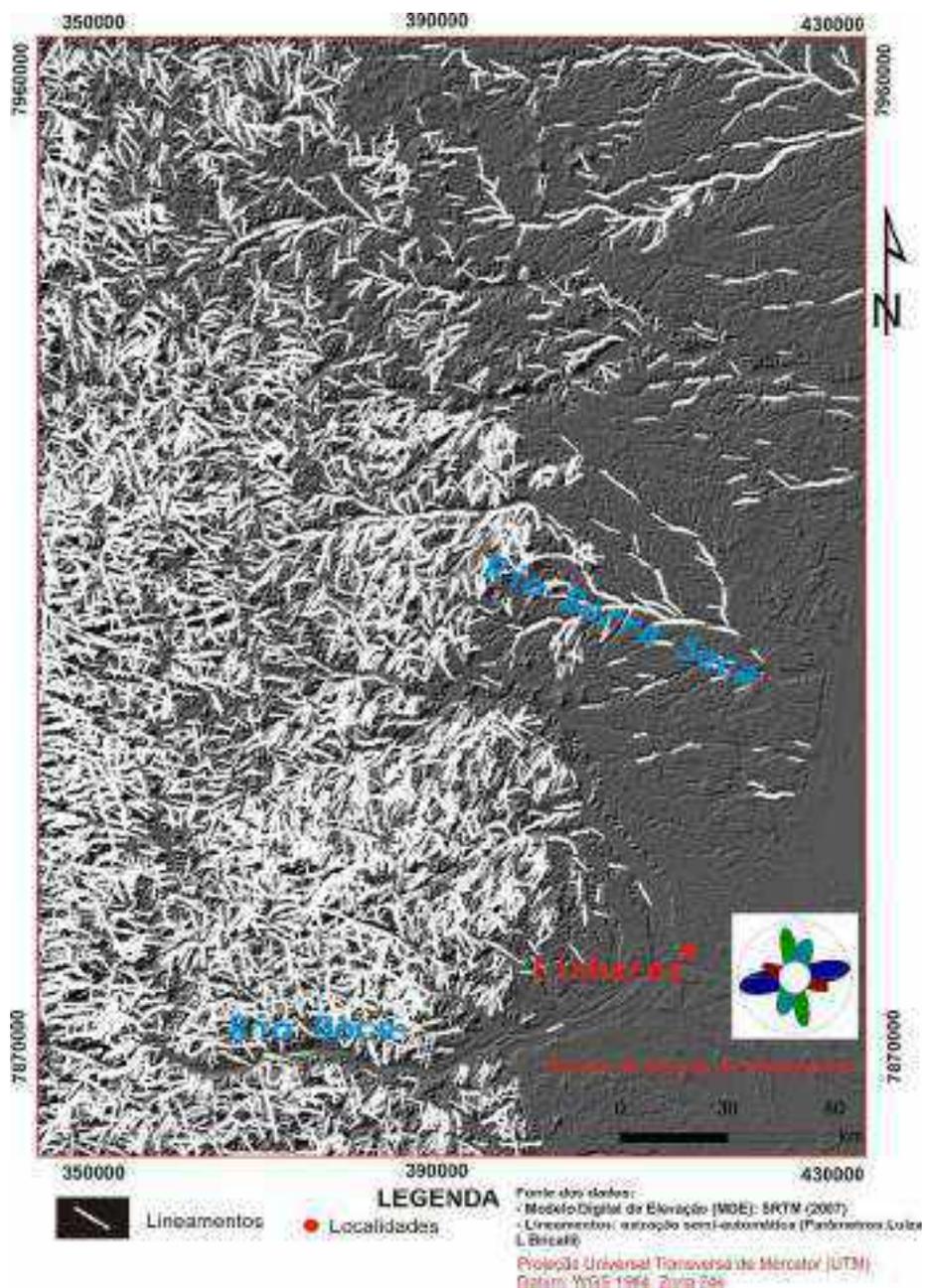


Figura 4 – Mapa de lineamentos da porção do norte do estado do Espírito Santo segundo o método semiautomático. Fonte: Bricalli (2011).

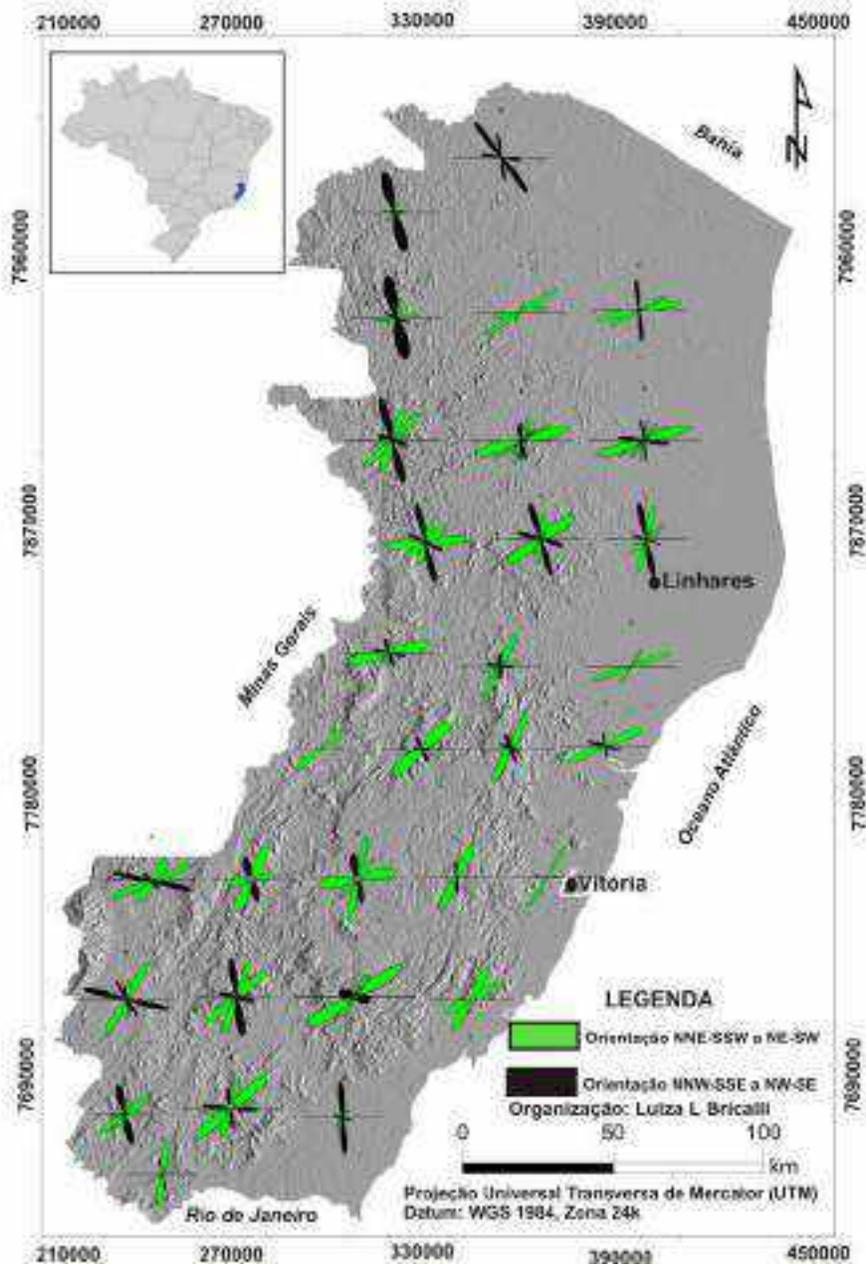


Figura 5 – Distribuição da frequência por orientação de lineamentos ao longo do estado do Espírito Santo. Fonte: Bricalli (2011).

Extração Semiautomática de Lineamentos

A extração semiautomática de lineamentos pode ser realizada no software *SID™ 3.158*, desenvolvido pelo pesquisador Prof. Francesco Salvini, responsável pelo *Laboratorio di Geodinamica Quantitativa e Telerilevamento (GeoQute)* do *Dipartimento di Scienze Geologiche da Università Degli Studi Di Roma Tre (UNIROMA-TRE)*, Itália, e ainda não disponível para uso externo ao referido laboratório.

Para a elaboração desse produto são essenciais 4 (quatro) etapas distintas: i) aquisição da imagem de radar (modelo digital de elevação – MDE), tendo sido utilizado o mesmo MDE analisado pela técnica de extração manual; ii) preparação da imagem (MDE) em *software* de Geoprocessamento; iii) aplicação de filtros para realce de lineamentos através de *softwares* específicos para isso, tais como *Life*, desenvolvido pela *GeoQute*; iv) extração automática dos lineamentos através do *software SID™ 3.158*.

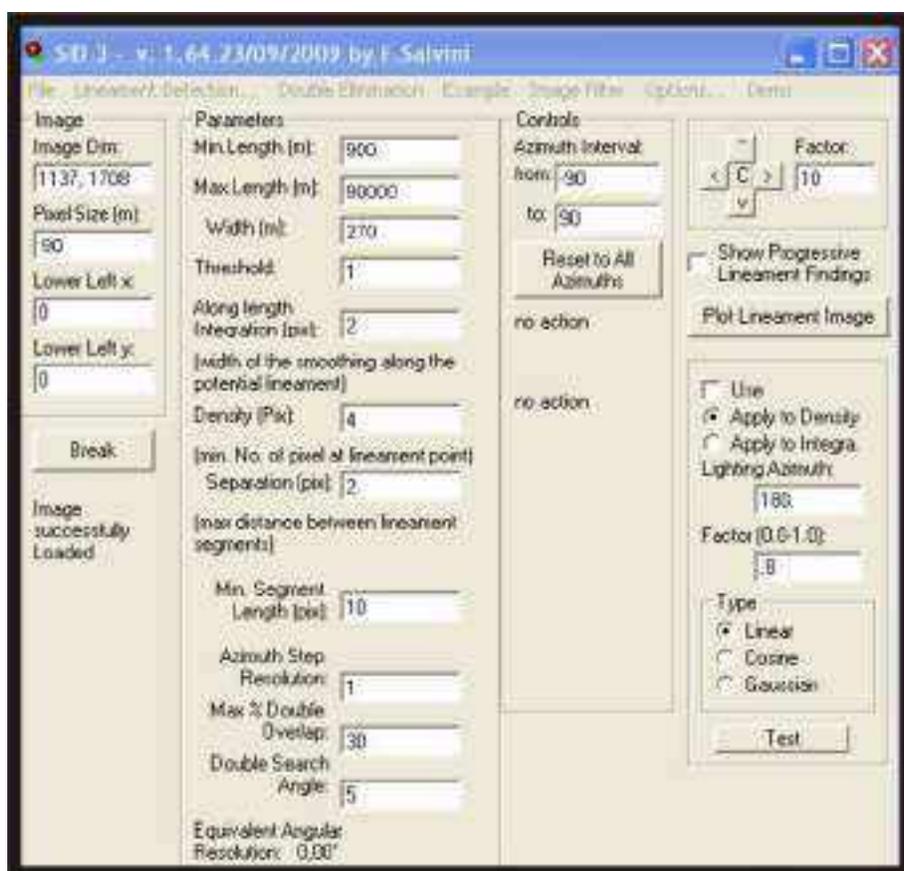


Figura 6 – Parâmetros utilizados para a extração de lineamentos semiautomática, com exemplo para a área do estado do Espírito Santo.

Fonte: Bricalli (2011)

O processamento e a preparação da imagem (MDE) consiste na aplicação das quatro iluminações artificiais adotadas para a extração manual de lineamentos (000°, 045°, 090° e 315°), com elevação solar também de 45° – assim como na extração manual de lineamentos – a partir do cálculo do sombreado do relevo. Em seguida, a imagem é tratada e aplicada filtros especiais.

Após a preparação da imagem, a extração automática de lineamentos é feita utilizando o *software SID™ 3.158*. A extração de lineamentos é feita separadamente para cada orientação de iluminação artificial e, posteriormente, é feita a integração (*merge*) de todas as iluminações utilizadas, para representação em um único mapa.

Para a extração de lineamentos são utilizados alguns parâmetros (Figura 6): i) comprimento mínimo do lineamento; ii) comprimento máximo do lineamento; iii) largura dos lineamentos, densidade de *pixels* (quanto o lineamento é bem definido; quanto mais alto este número, mais o lineamento será bem marcado); e iv) separação entre os lineamentos. Os demais parâmetros contidos no programa não são recomendados terem seus valores alterados [*threshold*; *along length integration (pix)*; *min segment length (pix)*; *azimuth step resolution*; *Max% Double overlap*; e *Double search angle*].

Uma vez decalcados os lineamentos automaticamente, são elaboradas rosetas de direções de lineamentos em *softwares* específicos para esse fim. É interessante que sejam construídas rosetas representativas da direção predominante para cada compartimento geológico, além de uma roseta representativa da direção predominante para a área total. Para o detalhamento da análise dos lineamentos, é recomendável a elaboração de uma quantidade suficiente de rosetas de direções de lineamentos, distribuídas por toda área, a despeito do que foi sugerido para os lineamentos manuais (Figura 5).

Análises Neotectônicas

As análises neotectônicas consistem, primeiramente, na coleta de dados de estruturas rúpteis (pares de falhas/estrias) no campo, afetando os depósitos cenozoicos e as rochas do embasamento alteradas (Figuras 7 e 8) e estão extremamente vinculadas **à teoria da Tectônica de Placas, que estabelece que as Placas tectônicas (litosfera: crosta + manto) movimentam-se horizontalmente de 1 a 10 cm por ano, devido em função da gravidade, ridge push, correntes de convecção da astenosfera e sucção e subducção.**

São realizados também seções geológicas, com o auxílio de fotomosaicos, permitindo a definição das unidades geológicas mais importantes e dos padrões de deformação tectônica.

A cada plano de falha encontrado, são realizadas 4 (quatro) medidas: sentido de mergulho do plano de falha; ângulo de mergulho do plano de falha; azimute de estrias contidas no plano de falha; e ângulo de mergulho das estrias (Figura 9). Como informação imprescindível, busca-se identificar, sempre, o sentido de deslocamento do plano de falha, principalmente e mais seguramente por marcadores estratigráficos ou dobras de arrasto próximas ao plano de falha; na ausência desses indicadores, a movimentação das falhas é definida a partir de indicadores cinemáticos observáveis no próprio plano de falha (Figura 10).

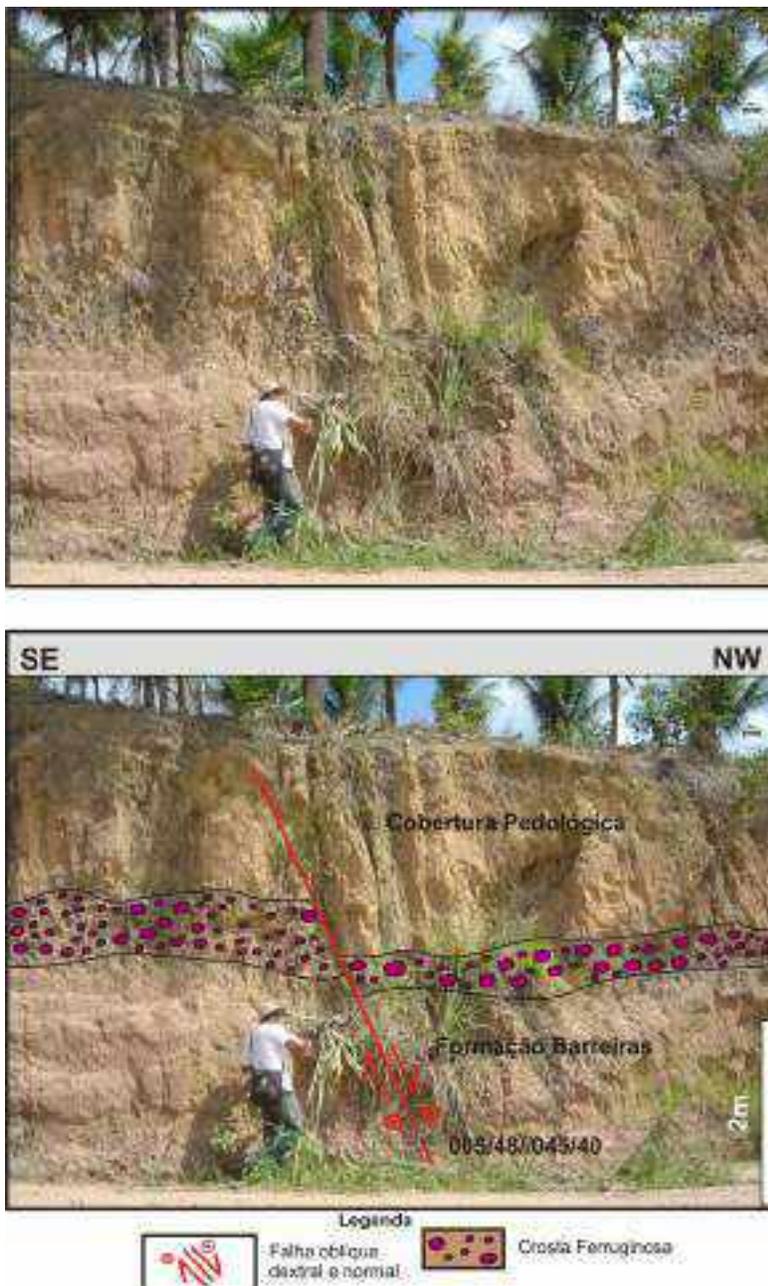


Figura 7 – Falha normal-dextral E-W afetando depósitos da Formação Barreiras.
Fonte: Bricalli (2011).

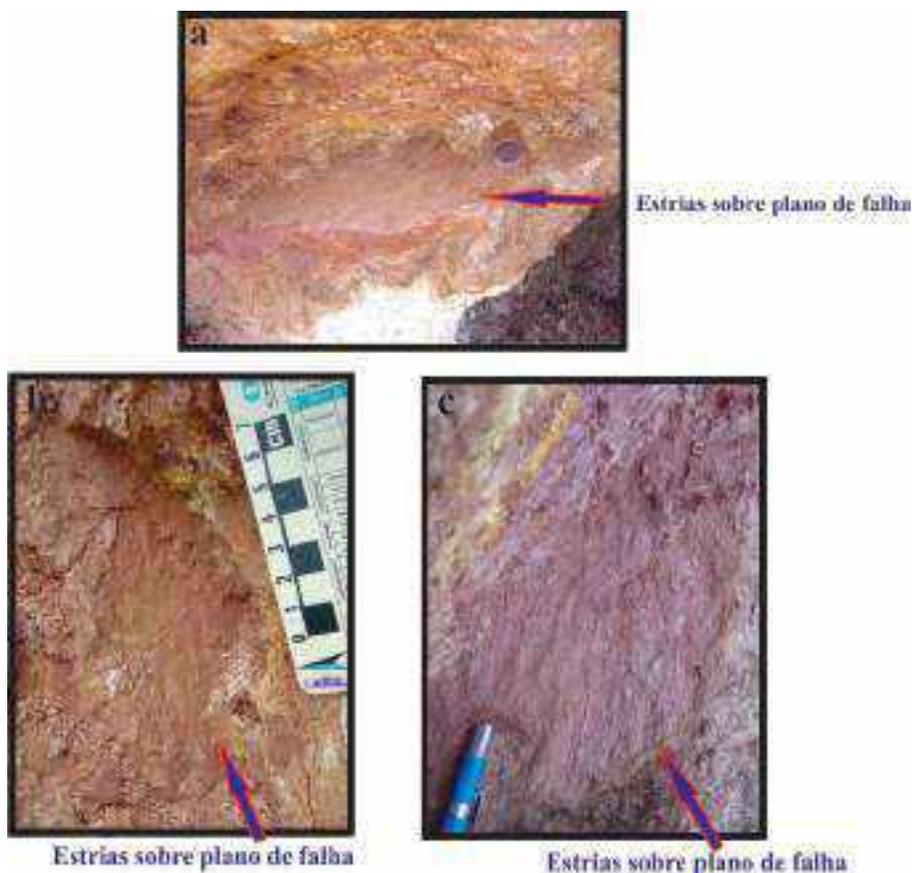


Figura 8 – Estrias sobre plano de falha. (A): plano de falha afetando embasamento alterado (cidade de Colatina-ES). (B) e (C): plano de falha afetando cobertura sedimentar neogênica e embasamento alterado (próximo a Rio Bananal-ES). Fotos: Luiza L Bricalli.

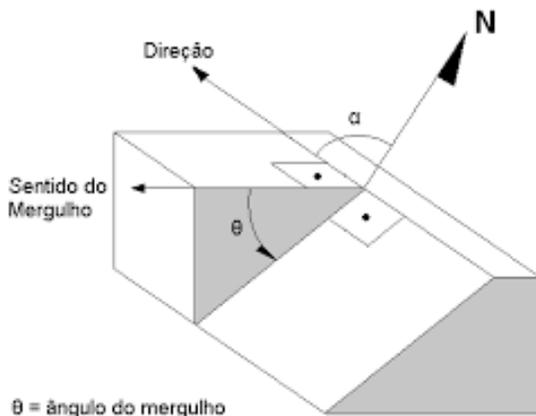


Figura 9 – Definição de orientação espacial em estruturas geológicas planares.
 Fonte: Pinotti e Carneiro (2013), modificado de Magalhães e Cella (1998).

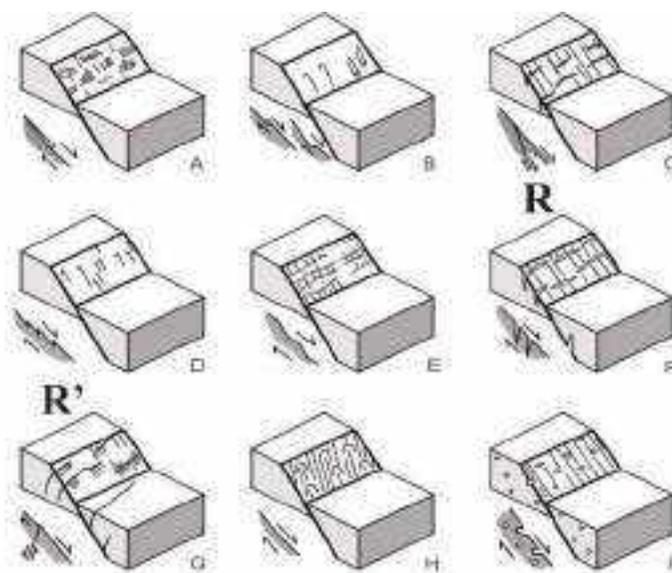


Figura 10 – Critérios para a determinação do sentido do movimento em superfícies de falhas (segundo Angelier, 1994). Os exemplos mostrados são de falhas normais, mas os critérios são válidos independentemente do tipo de movimento ocorrido.
 (A) Degraus de minerais neoformados; (B) marcas de objetos; (C) fraturas de cisalhamento sintéticas (R) ; (D) fraturas de cisalhamento antitéticas (R'); (E) facetas polidas e rugosas alternadas; (F) tension gashes; (G) picos estilólíticos; (H) marcas parabólicas; e (I) vesículas deformadas em lavas. Fonte: Angelier (1994).

As análises neotectônicas em gabinete buscam a determinação dos campos de esforços geradores dos conjuntos de falhas identificados, considerando teorias referentes à análise de dados estruturais (falhas e estrias), tais como inversão dos dados pareados, a aplicação do método dos diedros retos e determinação de paleotensões a partir de dados pareados (ANGELIER, 1994).

As falhas medidas são classificadas quanto ao tipo (normal, reversa, sinistral ou dextral), orientação e unidade estratigráfica afetada, determinando conjuntos de estruturas que podem ter sido criadas ou reativadas por um dado campo de tensão (distensional, compressional ou transcorrente). As estruturas geradas por esforços tectônicos transcorrentes são agrupadas com base no modelo de Riedel (Figura 11).

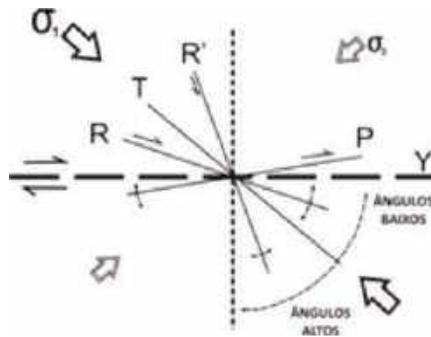


Figura 11 – Terminologia para descrição de elementos de fraturas secundárias elementares em um contexto de cisalhamento simples. σ_1 -eixo de tensão máxima; σ_3 -eixo de tensão mínima; R-falha sintética; R'-falha antitética; T-falha normal; P-falha sintética de baixo ângulo; Y-falha de cisalhamento principal. Fonte: Petit (1987).

Segundo Angelier e Mechler (1977 apud ANGELIER, 1994), para a obtenção das paleotensões responsáveis pela geração ou reativação das falhas, os dados pareados devem ser invertidos, com base no princípio de que as estrias são paralelas ao esforço cisalhante máximo exercido sobre o plano de falha. Com esta finalidade, Angelier e Mechler (1977 apud ANGELIER, 1994) desenvolveram o método dos diedros retos (Figura 12), o qual pressupõe que, para um determinado campo de tensões, as áreas sob distensão correspondem ao diedro em que se situa o eixo de tensões mínimo (σ_3), enquanto as áreas compressivas correspondem ao diedro em que se situa o eixo de tensões máximo (σ_1) – Figura 12. Os diedros são delimitados pelo posicionamento de um plano imaginário, denominado auxiliar, ortogonalmente ao plano de falha e à direção das estrias situadas nesse plano. A superposição das áreas de tensão máxima e mínima, em projeção estereográfica, para diversas falhas irá indicar a posição dos eixos de tensões principais.

Admitindo-se que os eixos σ_1 e σ_3 são os mesmos para todas as falhas de um mesmo conjunto gerado sob um determinado regime de esforços, a porção de maior coincidência a todos os diedros em compressão terá maior probabilidade em conter σ_1 , e a porção de maior coincidência a todos os diedros em distensão terá maior probabilidade em conter σ_3 .

Os regimes de esforços são determinados de acordo com o posicionamento dos eixos de tensão no espaço (Figura 13). O regime é distensional quando o eixo de compressão máxima (σ_1) encontra-se na vertical; compressional quando o eixo de compressão mínima (σ_3) encontra-se na vertical; e transcorrente quando o eixo de compressão intermediária (σ_2) está na vertical.

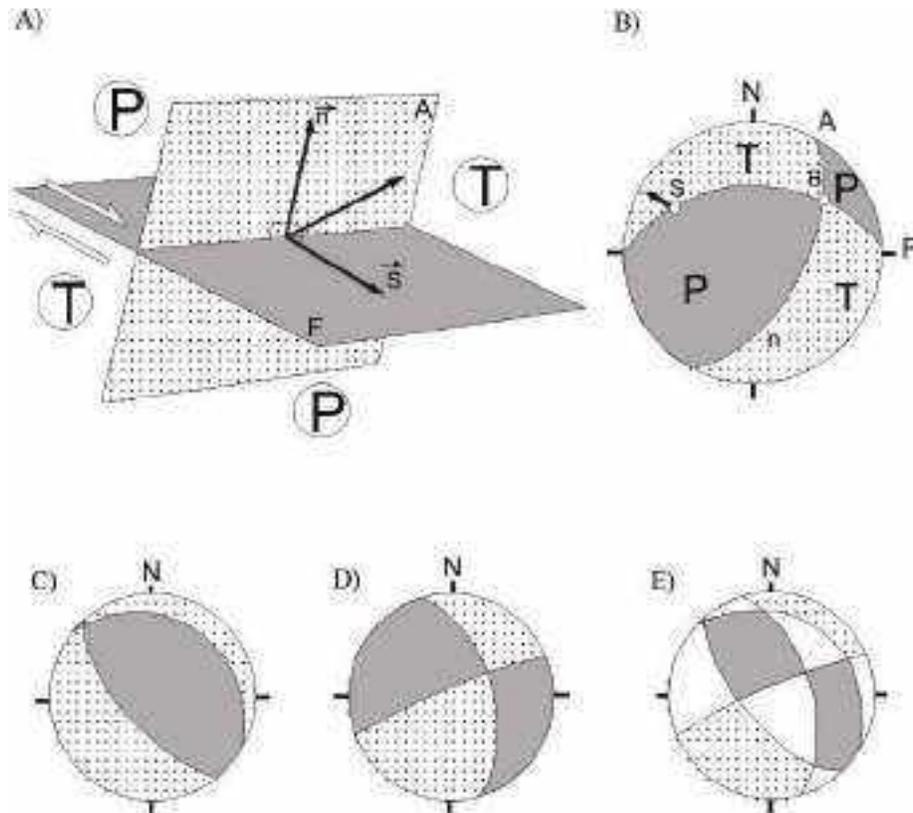


Figura 12 – Método dos diedros retos. (A) Falha (F) e plano auxiliar (A) delimitando diedros compressivos (P) e distensivos (T). A direção e o sentido de movimento da falha estão representados pelo vetor unitário de movimento (s) e (n) representa o vetor unitário ortogonal à falha; (B) Projeções estereográficas dos planos F e A, onde B é a intersecção dos dois, P é o diedro compressivo e T o distensivo. (C) Projeção estereográfica de falha normal e seu plano auxiliar, delimitando os campos compressivo e distensivo; (D) Idem à anterior, para uma falha direcional; (E) Superposição das projeções estereográficas das falhas representadas em C e D, mostrando áreas 100% compressivas, em cinza, 100% distensivas, pontilhadas, resultantes da coerência desses domínios em C e D, e áreas com 50% de cada, em branco, resultantes da superposição de domínios compressivos e distensivos.

Fonte: Salvador (1994).

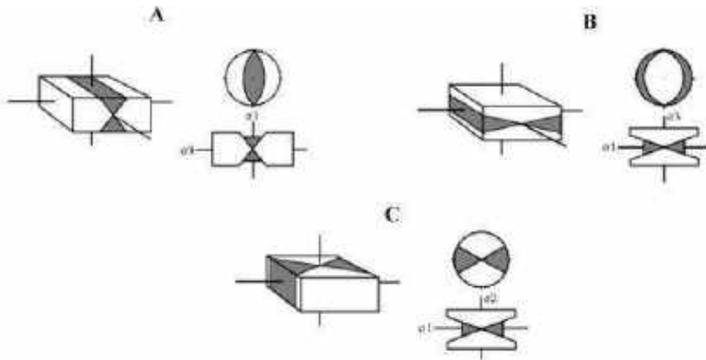


Figura 13 – Regimes de esforços determinados de acordo com o posicionamento dos eixos de tensão no espaço. O regime é distensional quando o eixo de compressão máxima (σ_1) encontra-se na vertical; compressional quando o eixo de compressão mínima (σ_3) encontra-se na vertical; e transcorrente quando o eixo de compressão intermediária (σ_2) está na vertical. (A) regime distensional (falhas normais); (B) compressional (falhas reversas); e (C) direcional (falhas direcionais).

Fonte: Park (1989).

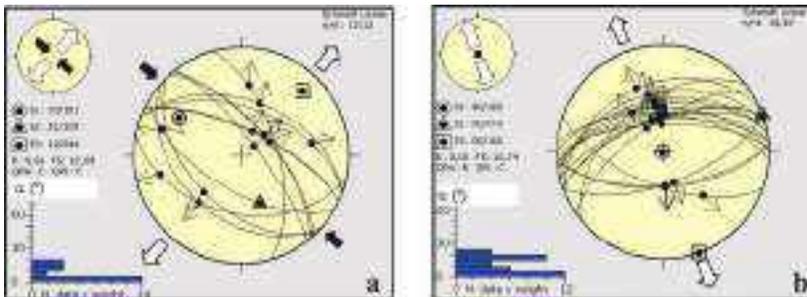


Figura 14 – Pontos ARA-03 e ARA-06 – Projeção estereográfica (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a: (A) falhas normais e dextrais NW-SE e sinistras NNW-SSE, geradas por esforços compressivos NW-SE e distensivos NE-SW; (B) falhas normais NE-SW e ENE-WSW e uma sinistral NW-SE, geradas por esforços de distensão NNW-SSE. Simbologia: \odot σ_1 – eixo de tensão máxima (σ_1); \triangle σ_2 – eixo de tensão intermediária (σ_2); \bullet σ_3 – eixo de tensão mínima (σ_3); α ($^\circ$) – desvio médio entre as estrias medidas e as calculadas teoricamente; R – razão de esforços, definida por $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_2 - \sigma_1)$; n – número de dados representados; nt – número total de dados; F5 – função minimização para fraturas por tensão; setas brancas – orientação dos campos de tensão distensivos; setas pretas – orientação dos campos de tensão compressivos; fatores de qualidade do tensor: QRw – qualidade dos dados em relação ao mapa internacional de dados estruturais quaternários (Word Stress Map) e QRt – qualidade final do tensor, que dependem do número de dados inseridos, do tipo de dados e do desvio de deslocamento – a faixa de qualidade varia de A (melhor) para E (pior), segundo Delvaux *et al.* (2003).

Fonte: Adaptado de Bricalli (2011).

Em gabinete, cada par falha/estria é representado em estereogramas separados, os quais foram analisados com base no método dos diedros retos. A etapa seguinte consiste na superposição das áreas de compressão e distensão dos estereogramas que apresentavam semelhanças nos resultados após a aplicação deste método. Esta etapa leva em consideração a classificação das estruturas de acordo com suas relações com as unidades geológicas reconhecidas, relações de terminação, superposição e/ou deslocamentos, assim como as relações cinemáticas (representadas, como exemplo, na Figura 14). Desta etapa, resulta a definição dos conjuntos de estruturas geradas em um mesmo campo de paleotensões (Figura 14).

Posteriormente, os conjuntos de pares de falhas e estrias são processados e analisados com o uso do programa gratuito *WINTENSOR* versão 5.8.4 (DELVAUX, 2015), como forma de representar de forma gráfica e testar os campos de paleotensões obtidos, manualmente, na etapa anterior.

Análises Morfotectônicas

Análise, identificação e mapeamento de feições morfotectônicas

Existe na literatura uma certa confusão com os conceitos de morfotectônica e morfoestrutura. A Morfotectônica corresponde a elaboração das formas ou paisagens sob o controle tectônico ativo (SUMMERFIELD, 1986). A maior parte das feições são resultado de movimentos crustais ocorridos durante o Cenozoico (sobretudo final). Já a morfoestrutura, são estruturas passivas, correspondente a formas de relevo desenvolvidas pela dinâmica erosiva, encontradas sob o controle da estrutura geológica subjacente, formadas por erosão diferencial (SUMMERFIELD, 1986).

Uma análise morfotectônica deverá ser realizada com a identificação de feições morfotectônicas em campo e em gabinete, utilizando-se imagens orbitais e/ou sub-orbitais (imagens de satélite, imagens de radar e fotografias aéreas) como identificação prévia e validação em campo e retorno em gabinete para mapeamentos de feições morfotectônicas. As feições identificadas em campo e mapeadas em gabinete devem ser atreladas a dados de estruturas rúpteis (falhas/estrias) coletados em campo. Deverá haver uma correlação da orientação e tipo das estruturas identificadas em afloramentos, tão bem como a correlação com os eventos neotectônicos identificados em campo, através do campo de esforços neotectônicos identificados. Uma análise morfotectônica que não tenha relação com dados de estruturas rúpteis (falhas/estrias) e eventos neotectônicos atrelados, não pode ser considerada uma análise morfotectônica.

Summerfield (1986; 1987; 1991) e Gontijo (1999) apontam como feições morfotectônicas: facetas trapezoidais e triangulares, *shutter ridge*, vales alinhados, vales assimétricos, alvéolos de sedimentação, escarpas de falha, *horsts* e *grabens*, estruturas em dominó, vales lineares, cristas lineares (Figura 15).

Em gabinete, essas feições são mapeadas sobre imagens orbitais e/ou sub-orbitais (imagens de satélite, imagens de radar e fotografias aéreas), com uso de *softwares* de Geoprocessamento, utilizando as tipologias supra citadas. As feições são interpretadas também sobre fotografias digitais, demarcando detalhadamente as feições (Figura 16).

Em campo, são identificadas a partir da identificação de retilinearidades da drenagem e do relevo, assimetrias de vales e da bacia e truncamento de vales com deslocamento de cristas (*shutter ridge*), alvéolos de sedimentação (Figura 15). Em seguida, essas feições são registradas com utilização de máquina fotográfica digital e uso do GPS (*Global Position System*).

Perfil em Varredura e Blocos tectônicos

Perfil em varredura corresponde a um gráfico elaborado sobre uma área – e não linear, como um perfil topográfico – gerado a partir das variáveis altitude e distância, presentes em uma base cartográfica.

A utilização de perfis em varredura é uma técnica cartográfica proposta por Meis et al. (1982) muito útil nas pesquisas de Geomorfologia Tectônica, pois permite a interpretação de blocos tectônicos, uma vez que apresentam altos e baixos topográficos de uma área, pois demonstra o comportamento das variações da altitude do relevo e também a identificação das inclinações dos grandes moldes topográficos (MEIS et al., 1982).

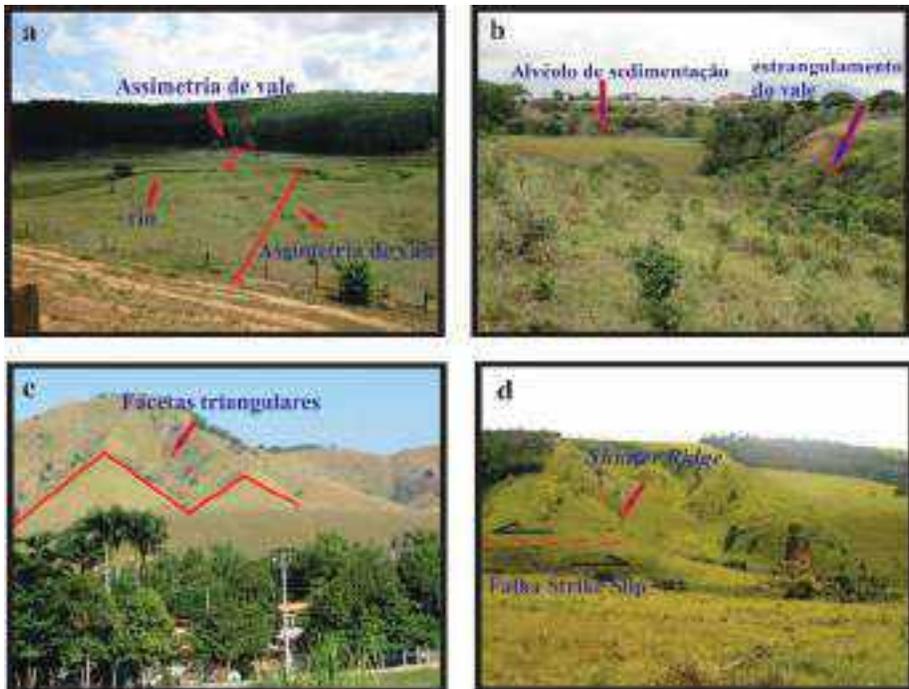


Figura 15 – Feições morfotectônicas identificadas sobre fotografias digitais. (A) vale assimétrico (bacia do rio Barra Seca, norte do Espírito Santo. Foto: Luiza L. Bricalli). (B) Alvéolo de sedimentação e vale estrangulado (bacia do rio Juara, centro do Espírito Santo. Foto: Luiza L. Bricalli). (C) Facetas triangulares (Cidade de Viana, Grande Vitória, centro do Espírito Santo). (D) Shutter Ridge ao longo de uma falha *strike slip* (movimentação sinistral). (norte do Espírito Santo).

Fotos: Luiza L. Bricalli.



Figura 16 – Feições morfotectônicas identificadas sobre Ortofotos Digitais na bacia do rio Piraquêaçu (Espírito Santo, sudeste do Brasil). (A) Vale seco, originado por captura fluvial. (B) Faceta triangular.

Fonte: Adaptado de Busato (2014).

O perfil em varredura demonstra ser uma ferramenta essencial para a interpretação do relevo, especialmente no que se refere a relevos controlados tectonicamente, uma vez que permite identificar blocos tectônicos, tais como *horsts* e *grabens*, feições morfotectônicas importantes para o entendimento de eventos neotectônicos, responsáveis também pelo controle na rede de drenagem e na paisagem de uma determinada área.

O perfil em varredura é elaborado sobre uma base cartográfica que deve possuir pontos cotados e valores das curvas de nível mais altas, na ausência dos pontos cotados. Segundo essa metodologia, o perfil tem que ser elaborado perpendicularmente à estruturação do relevo e da drenagem, na largura de 20 cm para as escalas 1:50.000 e devem ser extraídos todos os pontos cotados e os topos de morros que não possuem pontos cotados em papel vegetal milimetrado (MEIS et al., 1982). Na sequência, os valores de altitudes das áreas altas são analisados no *software* Excel®, onde é elaborado um gráfico em dispersão, apresentando a altitude dos topos e pontos cotados e a distância da carta topográfica, respeitando-se a escala de 1:50.000. Por fim, são interpretados os blocos tectônicos no perfil, utilizando-se *softwares* de edição de imagens (Figura 17).

Análise Hipsométrica

O mapa hipsométrico (Figura 18) é um mapa temático de extrema importância para estudos em geomorfologia tectônica, uma vez que esse tipo de mapa identifica blocos altos e baixos, que podem ter uma gênese morfoestrutural ou morfotectônica. Somente com a correlação dos dados estruturais coletados em campo, consegue-se distinguir se as áreas altas e baixas são de origem tectônica (morfotectônica) ou geradas por erosão diferencial (morfoestrutural), devido às diferenças litológicas das rochas.

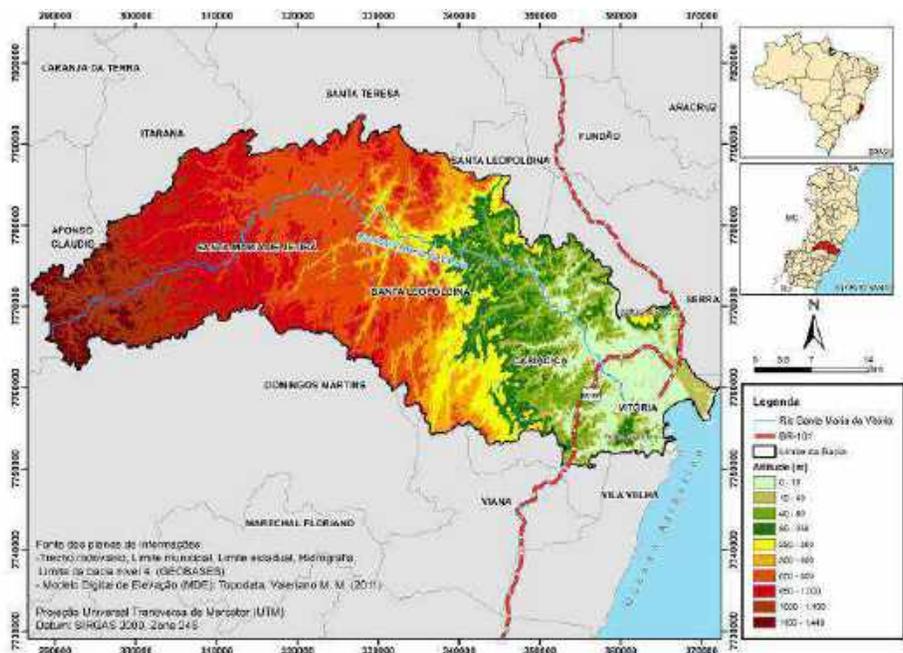


Figura 18 – Exemplo de mapa hipsométrico, mostrando áreas altas e baixas ao longo da bacia do rio Santa Maria da Vitória (Espírito Santo, Sudeste do Brasil).
 Fonte: COSTA e BRICALLI (2015).

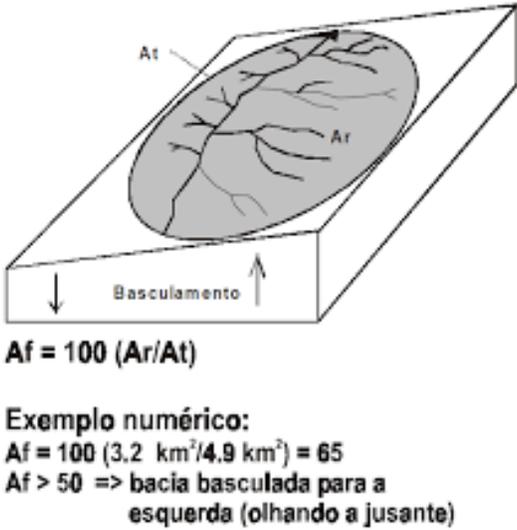


Figura 19 – Bacia assimétrica, mostrando basculamento da bacia.
 Fonte: Modificado de Salamuni et. al (2004). In: Hare e Gardner (1985)

Os cálculos de assimetria de bacia de drenagem são elaborados segundo o cálculo do *Fator de Simetria Topográfica Transversa*, segundo a metodologia de Cox (1994) (Figura 20) que quantifica o deslocamento de canais devido a causas tectônicas. Para isso, calcula-se a *simetria topográfica transversal* (T) de um segmento de uma bacia de drenagem. Esse cálculo é feito segundo a fórmula: $T = Da/Dd$, onde: T = Fator de assimetria; Da = distância entre linha média ideal da bacia e o canal (Da); Dd = distância entre a linha média ideal da bacia e divisor da mesma (Dd). Segundo essa técnica, quanto mais próximo de 1 for o Fator de Simetria Topográfica Transversa (T), maior é a assimetria de uma bacia e maior é a influência tectônica.



Figura 20 – Representação de uma bacia de drenagem com os elementos para mensuração da magnitude da assimetria da bacia de drenagem segundo Cox (1994). Da : distância do canal principal a linha média da bacia;

Dd : distância do divisor a linha média da bacia.

Fonte: adaptado de Cox (1994), in: Ribeiro (2010).

Padrões de Drenagem Controlados Tectonicamente

Howard (1967) explica que os principais controles de padrão de drenagem são feitos por estruturas regionais. De maneira geral, expõe que os padrões de drenagem estão associados a controles estruturais, litológicos ou aleatórios. O autor propõe os tipos de padrões existentes e assinala os que possuem forte controle tectônico, controle estrutural e sem controle tectônico ou estrutural. Os padrões que apresentam forte controle tectônico são: paralelo, subparalelo, retangular, angular, treliça (treliça, treliça direcional, treliça recurvada, treliça em falha, treliça em junta), contorcido, palimpsesto (Figura 21).

Para análise dos padrões de drenagem controlados tectonicamente são realizados mapeamentos de Padrões de Drenagem sobre uma base hidrográfica, com escala adequada ao objetivo do trabalho. Para identificação e classificação dos padrões de drenagem com controle tectônico e estrutural utiliza-se os padrões de drenagem considerados por Howard (1967), Lima (2002), Bezerra (2003) e Schumm et al. (2000). São eles: paralelo, subparalelo, retangular, angular, treliça (treliça, treliça direcional, treliça recurvada, treliça em falha, treliça em junta), contorcido, palimpsesto, radial e anular (Figura 21).

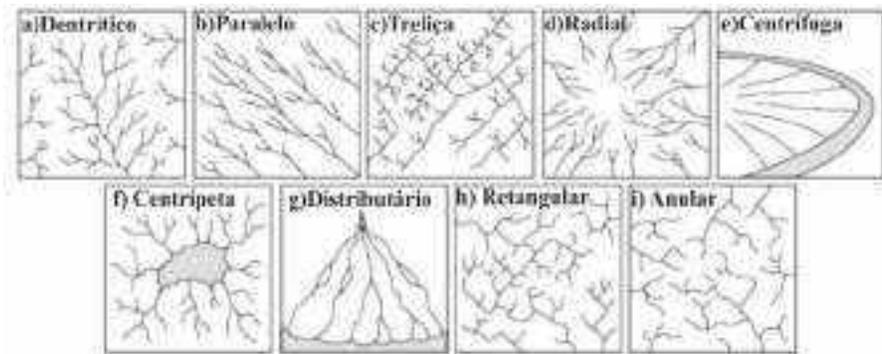


Figura 21 – Padrões de drenagem que apresentam forte controle tectônico: b (paralelo), c (treliça), d (radial), h (retangular), i (anular).

Fonte: Adaptado de Huggett (2007).

Anomalias de Drenagem Relacionadas a Movimentação Tectônica

Howard (1967) define anomalia de drenagem como sendo um desvio local a partir de uma via de drenagem e/ou fluxo regional que pode acontecer sob influência estrutural ou topográfica. As Anomalias de Drenagem, segundo Bezerra (2003) ocorrem quando há uma disposição distintamente estruturada em lados homólogos do curso d'água. A drenagem é disposta de forma irregular estruturada em duas direções, sendo interpretadas como estreitas faixas de faturamento nas rochas expostas, refletindo falhas em profundidade.

Em gabinete as anomalias de drenagem são classificadas segundo os trabalhos de Howard (1967), Summerfield (1991), Bishop (1995), Lima (2002), Bezerra (2003), Schumm et al. (2000) que estabelecem como anomalias de drenagens: cotovelos de drenagem; captura fluvial; curva anômala; mudança brusca do padrão do canal; drenagem colinear; trecho retilínea de drenagem; curvatura contrária; forte paralelismo de drenagem retilínea; migração lateral com vale assimétrico; linha de drenagem colinear com divisor plano em forma de vale; vale assimétrico; provável migração lateral; simetria geométrica; estrangulamento da bacia; drenagem muito retilínea sobre provável fratura e; meandro local (Quadro 1).

Em seguida, são realizados trabalhos de campo para verificação e confirmação das principais anomalias de drenagem. Com pontos de coordenadas geográficas previamente eleitos sobre as anomalias verificadas na base cartográfica digital de rede de drenagem, são registradas as principais anomalias da bacia. E, ao final, é elaborado um mapa de anomalias através de uma classificação realizada sobre a rede hidrográfica com uso de ferramentas de edição de *softwares* de geoprocessamento.

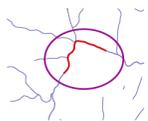
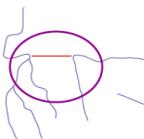
Orientação da Rede de Drenagem e a Relação com as Estruturas Geológicas

A análise da orientação da rede de drenagem é uma ferramenta muito importante, pois demonstra as principais orientações da rede e drenagem que, correlacionado

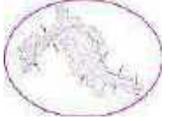
com outras variáveis, tais como lineamentos ou localização das anomalias de drenagem, corroboram uma análise neotectônica e morfotectônica confiável, já que a rede de drenagem é um indicador particularmente sensível de movimentações neotectônicas (HOWARD, 1967; SCHUMM, 1986; SUMMERFIELD, 1987; BISHOP, 1995; COX, 1994; KELLER; PINTER, 1996; HOLBROOK e SCHUMM, 1999).

Quadro 1 – Tipos de anomalias, definição e controle tectônico.

Autoria: Luiza Leonardi Bricalli e Cirila Busato

Tipo de Anomalia	Descrição	Tipo de Controle	Autor	Esquema em Planta
Inflexão abrupta – Cotovelo de drenagem	Inflexões abruptas do canal de drenagem, apresentando inflexões de até 90°.	Controle tectônico	Howard (1967) Schumm et al. (2000)	
Simetria geométrica	Feições de rios diferentes assumem concomitantemente traçado de forma geométrica.	Controle tectônico e estrutural	Proposta: Cirila Busato e Luiza Leonardi Bricalli	
Forte paralelismo com drenagem retilínea	Drenagens com feição retilínea ocorrem paralelamente entre si.	Controle tectônico	Bezerra (2003) (alinhamento da drenagem)	
Captura fluvial	Ocorre quando um canal erode mais agressivamente que o adjacente, capturando sua descarga por interceptação.	Controle tectônico	Schumm et al. (2000) Summerfield (1991) Bishop (1995)	

(continua)

Tipo de Anomalia	Descrição	Tipo de Controle	Autor	Esquema em Planta
Assimetria de bacia	Presença de capturas, anarquia de rios e rios sem proporção. Distinção com relação ao comprimento dos seus afluentes. Rio principal deslocado do eixo central da bacia, ocasionado por basculamento de blocos tectônicos.	Controle tectônico	Howard (1967) Cox (1994) Lima (2002)	
Estrangulamento de vale	Ocorre o estreitamento em determinados pontos da bacia de drenagem em relação à distância predominante entre seus divisores.	Controle tectônico	Autoria Proposta: Ciria Busato e Luiza Leonardi Bricalli	
Alvéolos de sedimentação	Sucessão de estreitamento de vale e alargamento da planície de drenagem.	Controle Tectônico	Bezerra (2003)	

Para elaboração da orientação da rede de drenagem é necessário uma base hidrográfica, onde os lineamentos serão traçados sobre os cursos d'água, segundo a metodologia de Jarvis (1976) e, em seguida, calculados o azimute e orientação da drenagem através de um diagrama de rosetas que poderá ser elaborado em algum programa específico para esse fim (Figura 22).

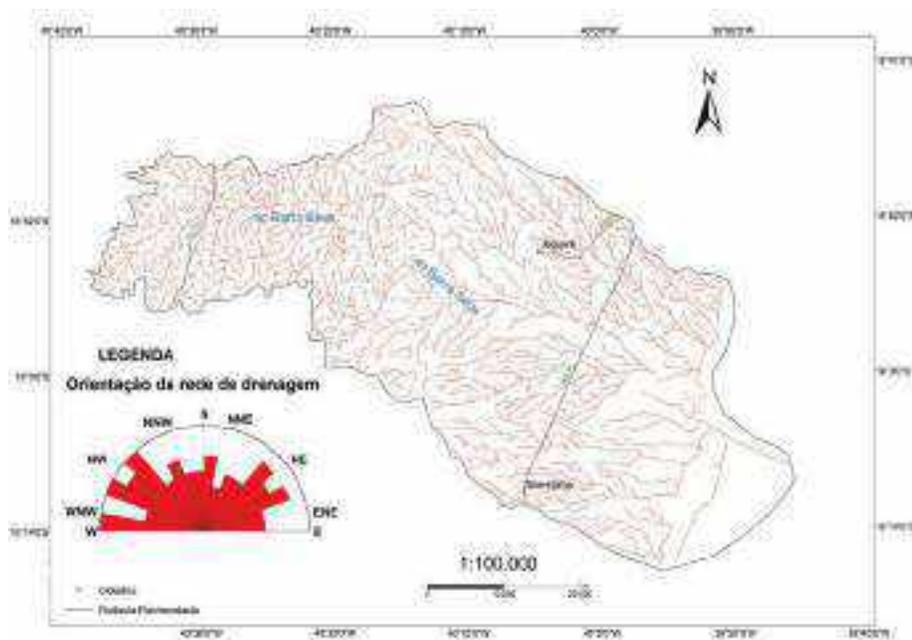


Figura 22 – Orientação da rede de drenagem da bacia do rio Barra Seca (Norte do estado do Espírito Santo, Sudeste do Brasil).

Análise de *Knickpoints*

Knickpoints são secções subitamente íngremes no perfil longitudinal de um curso de água, vulgarmente, também denominado por ruptura de declive (GOUDIE, 2004) (Figura 23). Representa um desnível de base e pode ser causado por processos tectônicos, climáticos e geológicos, entre outros, conforme estudos de Harbor et al. (2005) e Crosby e Whipple (2006) e podem coincidir com uma estrutura tectônica ou neotectônica de uma área. A identificação dos mesmos em gabinete sobre uma base cartográfica é importante previamente aos trabalhos de campo.

Para mapeamentos dos *knickpoints* necessita-se de dados de elevação e da drenagem da área, que podem ser extraídos de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e processados em *softwares* específicos de geoprocessamento. Em seguida, são elaborados perfis longitudinais, os quais são suavizados e quantificado o desvio de um perfil previsto para um dado canal ideal da área. Em seguida é realizada uma plotagem das áreas anômalas (convexas) nos perfis longitudinais dos canais. Com a visualização dessas áreas em mapas é possível a correlação com dados geomorfológicos e estruturais disponíveis.

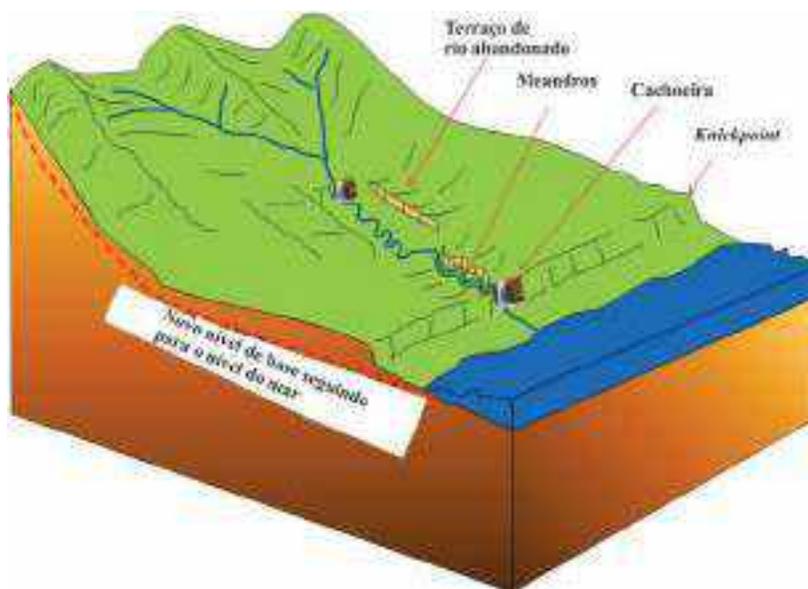


Figura 23 – Bloco diagrama mostrando knickpoint, atrelado a mudança de nível de base. Fonte: http://www.coolgeography.co.uk/A-level/AQA/Year%2012/Rivers_Floods/Rejuvenation/Rejuvenation.htm. Acesso em: 15 jun. 2016.

Considerações Finais

Essa pesquisa demonstrou o uso de diferentes metodologias para pesquisa em Geomorfologia Tectônica. A escolha e/ou aplicação de uma em detrimento de outra ou a integração delas está relacionado ao objetivo do trabalho.

A preocupação central desse artigo é demonstrar que não se realizou pesquisa em Geomorfologia Tectônica dissociada da Neotectônica, uma vez que a Geomorfologia Tectônica preocupa-se em estudar as feições morfotectônicas, as quais se atêm apenas a feições geomorfológicas resultantes da neotectônica, pois as feições derivadas de ação tectônica antiga apresentam variação de suas características devido à erosão sofrida no decorrer do tempo geológico (BLOOM, 1991), não sendo mais possível identificar com clareza a influência tectônica em sua gênese. As análises neotectônicas para entendimento da origem do relevo necessitam de uma análise sistemática das estruturas geológicas rúpteis (pares falha/estria) para demonstrar a relação entre as estruturas e eventos tectônicos com as feições morfotectônicas. Além disso, há um forte condicionamento exercido por estruturas neotectônicas no relevo e na rede de drenagem comprovados em diversos estudos sobre o tema (SUMMERFIELD, 1986; SUMMERFIELD, 1987; SCHUMM et. al, 2000; MELLO, 19997; HATUSHIKA et. al, 2005; BRICALLI e MELLO, 2009; BRICALLI, 2011; BUSATO, 2014; SOUZA, 2015).

Muitas pesquisas de diferentes autores integrando as metodologias mencionadas nesse artigo foram imprescindíveis para a confirmação da importância dos mecanismos

neotectônicos na estruturação da margem continental brasileira (HASUI, 1990; SAADI, 1993; MELLO, 1997; BEZERRA et al., 2001; FERRARI, 2001; RICCOMINI et al., 2004; BRICALLI, 2011).

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A. P. B. *Tectônica deformadora cenozoica na bacia sedimentar de Resende (Rift continental do Sudeste do Brasil)*. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

ANGELIER, J. From Orientation to Magnitudes in Paleostress Determinations Using Fault Slip Data. *J. Struct. Geol.*, n. 11, p. 37-50, 1989.

_____. Fault Slip Analysis and Paleostress Reconstruction. In: HANCOCK, P. L. (E d.). *Continental Deformation*. 1st ed., Oxford: Pergamon Press, p. 53-100, 1994.

ASSUMPTÃO, M. The Regional Stress Field in South America. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, p. 11889-11903, 1992.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 14, p. 61-75, 2001.

_____; BRITO NEVES, B. B.; CORRÊA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene Tectonic-Geomorphological Development Within a Passive Margin — the Cariatá Trough, Northeastern Brazil. *Geomorphology*, p. 1-28, 2007.

_____; ROSSETTI, D. F.; OLIVEIRA, R. G.; MEDEIROS, W. E.; NEVES, B. B.; BALSAMO, F.; NOGUEIRA, F. C. C.; DANTAS, E. L.; ANDRADES FILHO, C.; GÓES, A. M. Neotectonic Reactivation of Shear Zones and Implications for Faulting Style and Geometry in the Continental Margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, v. 614, p. 78-90, 2014.

BEZERRA, P. E. L. *Análise estrutural da drenagem*. IBGE: Belém, 2003.

BISHOP, P. Drainage Rearrangement by River Capture, Beheadind and Diversion. *Progress in Physical Geography*, v. 19, n. 4, p. 449-473, 1995.

BLENKNSOP, T. G. *Fractals and Dynamic Systems in Geoscience*. Basel, Suíça: Birkhauser. 1986.

BLOOM, A. L. *Geomorphology: a systematic analysis of late Cenozoic landforms*. New Jersey: Prentice Hall, 1991.

BRICALLI, L. L.; MELLO, C. L.; CIANFARRA, P.; SALVINI, F. Tectonic Implications from Manual and Semi-Automatic Analyses of Lineament Patterns in the Espírito Santo State

(Southeastern Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47, 2014, Salvador. *Anais*. Salvador, 2014.

BRICALLI, L. L. *Padrões de lineamentos e fraturamento neotectônico no estado do Espírito Santo (sudeste do Brasil)*. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

BURBANK, D. W., ANDERSON, R. A. *Tectonic Geomorphology*. Oxford: Blackwell Science, 2001.

BUSATO, C. *Landforms tectônicos e controle neotectônico na rede de drenagem da bacia do rio Piraquê-Açu (Espírito Santo-Sudeste do Brasil)*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

CIANFARRA, P.; SALVINI, F. Ice Cap Surface Lineaments in the Vostok-Dome C Area, East Antarctica. What Are They Telling Us on the East Antarctica Craton Tectonics? *Terra Antarctica Reports*, n. 14, p. 203-208, 2008.

COBLENTZ, D. D.; RICHARDSON, R. M. Analysis of the South American Intraplate Stress Field. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, p. 8643-8657, 1996.

COX, R. T. Analysis of Drainage-Basin Symmetry as a Rapid Technique to Identify Areas of Possible Quaternary Tilt Block Tectonics: as Example from the Mississippi Embayment. *Geological Society of América Bulletin*, n. 106, p. 571-581, 1994.

CROSBY, T. B.; WHIPPLE, K. X. 2006. Knickpoint Initiation and Distribution within Fluvial Networks: 236 Waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand, 2006. *Geomorphology*, v. 82, n. 1-2, p. 16-38, 2006.

DAVIS, W. The Geographical Cycle. *Geogr. Journ*, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DELVAUX, D. Win-Tensor. Version 5.8.4. 2015. Disponível em: <<http://users.skynet.be/damien.delvaux/tensor/tensor-index.html>>. Acesso em: 14 maio 2016.

DOORNKAMP, P. J. C. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. *Journal of the Geological Society*, v. 143, p. 335-342, 1986.

FERRARI, A. L. *Evolução tectônica do Graben da Guanabara*. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, 2001.

FUNICIELLO, R.; PAROTTO, M.; SALVINI, F.; LOCARDI, E.; WISE, D. U. Correlazioni tra lineazioni rilevate con il metodo "Shadow" e assetto tettonico nell'area vulcanica del Lazio. *Bollettino di Geodesia e Scienze*, p. 451-470, 1977.

GONTIJO, A. H. F. *Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro*. (Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp/Rio Claro, 1999.

GOUDIE, A. S. *Encyclopedia of Geomorphology*. v. 1. Londres e Nova York: Routledge, 2004, p. 595.

HANCOCK, P. L.; WILLIAMS, G. D. Neotectonics. *Journal of the Geological Society*, v. 143, p. 325-326, 1986.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: SBG/MG, WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO. *Anais*. 1, Belo Horizonte, Boletim SBG/MG, 11:11-31, 1990.

HATUSHIKA, R. S.; MELLO, C.L.; SILVA, C. G Evidências de atuação neotectônica na formação do lago Juparanã-Linhares (ES). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 10, Guarapari, 2005. *Anais*. Guarapari: X ABEQUA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO), 2005. *Resumos expandidos*.

HARBOR D.; BACASTOW A.; HEATH A.; ROGERS J. Capturing variable knickpoint retreat in the Central Appalachians, USA. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, v. 28, p. 23-36, 2005.

HARE, P. W; GARDNER, I. W. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism Along Converging Plate Margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J. T. (Eds.) *Tectonic Geomorphology*. Proceedings 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp., 1984.

HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. Análise Morfométrica em Neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 20, n. 1/2, p. 5-19, 1999.

_____; _____. MODENESI-GAUTTIERI, M. C. Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 3, p. 375-384, 2001.

HIRUMA, S.T. *Significado morfotectônico dos planaltos isolados da Bocaina*. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2007.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S.A. Geomorphic and Sedimentary Response of Rivers to Tectonic Deformation: a Brief Review and Critique of a Tool for Recognizing Subtle Epeirogenic Deformation in Modern and Ancient Settings. *Tectonophysics*, n. 305, p. 287-306, 1999.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *American Association of Petroleum Geologie Bulletin*, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

HUGGETT, R. J. *Fundamentals of Geomorphology*. 2 ed. Londres e Nova York: Routledge, 2007

_____. *Fundamentals of Geomorphology*. 3 ed. Londres e Nova York: Routledge. 2011.

JARVIS, R. S. Stream orientation structures in drainage networks. *The Journal of Geology*, v. 84, n. 5, p. 563-582, 1976.

KELLER, E. A.; PINTER, N. *Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

LIMA, M. I. C. *Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico*. Belém, 2002. CD-ROM.

LOPES, A. P. G; BRICALLI, L. L. Aplicação da técnica de perfil em varredura para análise neotectônica da Bacia do Rio Juara (Serra-ES-Sudeste do Brasil). In: XI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO). *Anais*. Maringá, Paraná.

MAGALHÃES F. S.; CELLA, P. R.C. Estrutura dos maciços rochosos. In: Oliveira, A. M. S; Brito S. N. A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 39-55, 1998.

MEIS, M. R. M.; MIRANDA, L. H. G.; FERNANDES, N. F. Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982. Salvador. *Anais*. Salvador: SBG. 4:1489-1509.

MELLO, C. L. *Sedimentação e tectônica cenozoica no Médio Vale do Rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas aplicações na evolução de um sistema de lagos*. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

MIRANDA, D. J. *Tensões e fraturamento neotectônico na área emersa da bacia do Espírito Santo*. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MODENESI-GAUTTIERI, M. C; HIRUMA, S. T; RICCOMINI, C. Morphotectonics of a High Plateau on the Northwestern Flank of the Continental Rift of Southeastern Brazil. *Geomorphology*, n. 43, p. 257-271, 2002.

MÖRNER, N. A. (Ed.) Paleoseismicity and neotectonics. *Bull. INQUA Neotectonics Commission*, n. 12, 104p, 1989.

NOGUEIRA, F. C. C; BEZERRA, F. H. R; CASTRO, D. L. deformação rúptil em depósitos da formação barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. *Revista do Instituto de Geociências-USP*, v. 6, n. 2, p. 51-61, 2006.

PARK, R. G. *Foundations of Structural Geology*. 2 ed. Nova York: Chapman & Hall, 1989.

PAVLIDES, S. B. Looking for a Definition of Neotectonics. *Terra Nova*, v. 1, n. 3, p. 233-235, 1989.

PENCK, W. *Morphological Analysis of Landforms*. Londres: McMillan, 1953.

PETIT, J. P. Criteria for the Sense of Movement on Fault Surfaces in Brittle Rocks. *Journal of Structural Geology*, v. 9, n. 5/6, p. 597-608, 1987.

PINOTTI, A. M.; CARNEIRO, DAL RÉ, C. Geologia estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP. *Terra e Didática*, n. 9-2, p. 132-168, 2013.

RIBEIRO, C. S. *Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da formação barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e o rio Doce (ES)*. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

RICCOMINI, C. *O rift continental do sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, 1989.

_____; ASSUMPCÃO, M. Quaternary tectonics in Brazil. *Episodes*, v. 22, n. 3), p. 221-225, 1999.

_____; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Orgs.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004, p. 383-405.

SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1993.

SALAMUNI, E; EBERT, H. D; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 4, p. 469-478, 2004.

SALVADOR, E. D. *Análise neotectônica da região do vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, São Paulo, 1994.

_____; RICCOMINI, C. Neotectônica da região do alto estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *R. Bras. Geoc.*, v. 25, n. 3, p. 151-164, 1995.

SANSON, M. S. R. *Sistemas deposicionais aluviais e tectônica rúptil cenozoica na região de Volta Redonda (RJ) — rift continental do Sudeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio de Janeiro, 2006.

Luiza Leonardi Bricalli

SARGES, R. R. *Morfologia de Lagos da Região do Médio Vale do Rio Doce, Minas Gerais, e a sua Relação com a tectônica quaternária*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

SCHUMM, S. A. Alluvial river response to active tectonics. In: WALLACE, R. E. (Ed.) *Active Tectonics*. National Academy Press, 1986, p. 80-94.

SCHUMM, S.A; DUMONT, F.J; HOLDBROOK, J.M. *Active Tectonics and Alluvial Rivers*. New York: Cambridge University Press. 2000.

[SID™ versão 3.158]. SID. Disponível em: no *Laboratorio di Geodinamica Quantitativa e Telerilevamento (GeoQute) do Dipartimento di Scienze Geologiche da Università Degli Studi Di Roma Tre (UNIROMA-TRE)*. 2009.

SILVA, T. P. *Neotectônica na região da Zona de Cisalhamento do rio Paraíba do Sul e areas adjacentes*. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, B. S. *Caracterização geológica e geomorfológica da bacia do Juara (Espírito Santo-Sudeste do Brasil)*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. Neotectonics. In: HANCOCK, P. L. (Ed.). *Continental Deformation*. Oxford: Pergamon Press, p. 370-409, 1994.

SUMMERFIELD, M. A. Tectonic Geomorphology: macroscale perspectives. *Prog. in Phys. Geog.*, v. 10, n. 2, p. 227-238, 1986.

_____. Neotectonics and Landform Genesis. *Prog. in Phys. Geog.*, v. 11, p. 384-397, 1987.

_____. *Global Geomorphology*. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

TRIFONOV, V. G. An Overview of Neotectonics Studies. *International Geology Review*, v. 31, p. 111-160, 1989.

WISE D. U.; FUNICIELLO, R.; PAROTTO, M.; SALVINI F. Topographic Lineament Swarms: Clues to their Origin from Domain Analysis of Italy. *Geological Society of America Bull*, n. 96, p. 952-967, 1985.

Recebido em: 15/6/2016

Aceito em: 19/06/2016

Interceptação da Precipitação no Manguezal no Litoral Sudeste do Brasil

Rainfall Interception in Mangrove in the Southeastern Coast of Brazil

Emerson Galvaniⁱ

Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil

Nádia Gilma Beserra de Limaⁱⁱ

Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil

Resumo: Os manguezais estão entre os ecossistemas biologicamente mais produtivos e importantes do mundo, fornecendo bens e serviços exclusivos para as sociedades e os sistemas costeiros. Essas áreas, no entanto, são cada vez mais fragmentadas, contribuindo para a perda de seus serviços e benefícios. As chuvas exercem uma influência importante neste ecossistema, sendo fundamental para a dissolução dos sais marinhos. Este trabalho investigou o total precipitado no manguezal localizado no Sistema Costeiro de Cananeia-Iguape (SP), em diferentes escalas temporais (diária, mensal, sazonal e anual), bem como sua interceptação pelo dossel do manguezal. Constatou-se uma interceptação de 8,8 %, oscilando entre 13% e 4% na escala anual, evidenciando que a variação anual da precipitação, que reflete tanto em sua quantidade quanto em sua intensidade contribui para a porcentagem dessa interceptação pelo dossel. Verificou-se ainda que, conforme a intensidade da precipitação aumenta, a interceptação pelo dossel do manguezal reduz.

Palavras-chave: Chuva; Mangue; Microclima.

Abstract: Mangroves are among the ecosystems biologically more productive and important in the world, providing unique goods and services to societies and coastal systems. These areas, however, are increasingly fragmented, contributing to the loss of their services and benefits. The rains have an important influence in this ecosystem is central to the dissolution of sea salts. This study investigated the total rainfall in the mangroves located in the Coastal System Cananeia-Iguape (SP) at different time scales (daily, monthly, sea-

ⁱ Professor do Departamento de Geografia – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo. egalvani@usp.br.

ⁱⁱ Especialista Ambiental II – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Doutora em Geografia Física – Universidade de São Paulo. nadia.lima@usp.br.

sonal and annual) and its interception by the mangrove canopy. It found an intercept of 8.8%, ranging from 13% to 4% in the annual scale, showing that the annual variation of rainfall, which reflects both its quantity and its intensity contributes to the percentage of that interception by the canopy. It was also found that as the intensity of precipitation increases, trapping the mangrove canopy reduces.

Keywords: Rain; Mangrove; Microclima.

Introdução

Os manguezais são distribuídos na zona intertidal, entre o mar e a terra nas regiões tropicais e subtropicais no intervalo de, aproximadamente, 30° N e 30° S de latitude. Sua distribuição global é delimitada pelas grandes correntes oceânicas e a isoterma de 20 °C da água do mar no inverno (ALONGI, 2009). Estão entre os ecossistemas, biologicamente, mais produtivos e importantes do mundo, fornecendo bens e serviços exclusivos para as sociedades e os sistemas costeiros (DUKE et al., 2007; GIRI et al., 2010).

O Brasil apresenta destaque quanto à área de manguezal. De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2007), o país apresenta a terceira maior área de manguezal do mundo. Esse ambiente propicia a estabilização da linha de costa e reduzir o impacto de fenômenos extremos, como em casos de tempestade, furacão e tsunami (ZHANG et al., 2012; McLVOR et al., 2012a; KLAUSS et al., 2009; ALONGI, 2008; LACAMBRA et al., 2008).

Para Duke et al. (1998), os fatores que influenciam a estrutura e a função dos manguezais variam em relação às escalas global, regional e local sobre diferentes escalas de tempo. Na escala global, os manguezais são limitados pela temperatura do ar, enquanto em escala regional, a área e a biomassa desse ecossistema podem variar em relação à chuva, marés, ondas e rios.

Estudos apontam o ecossistema manguezal como indicador biológico das variações climáticas globais e do aumento previsto do nível relativo do mar (SNEDAKER et al., 1981; ALONGI, 2002; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2002; CAVANAUGH et al., 2014).

No entanto, apesar da importância desse ecossistema para a zona costeira, os manguezais têm apresentado alterações significativas oriundas da influência da ação antrópica no ambiente (VALIELA et al., 2001; ALONGI, 2002). Essas modificações alteram a cobertura vegetal, que por sua vez, influenciam todo o ecossistema ali instalado, inclusive as interações microclimáticas (GALVANI; LIMA, 2010; MEDELLU et al., 2012, LIMA et al., 2013). Diante disso, o microclima pode ser um indicador de que alterações estão ocorrendo na estrutura do manguezal, em sua borda e no interior de seu ecossistema e o monitoramento das variações dos atributos climáticos (temperatura do ar, umidade absoluta do ar, radiação solar global, vento e pluviosidade) em bosques de mangue pode fornecer informações sobre as respostas do ecossistema manguezal às ações antrópicas e naturais.

Os fatores físicos são fundamentais para a instalação dos manguezais, entre eles o fluxo das marés, com sua importância na troca de material entre o manguezal e o mar aberto, a influência de eventos como tsunamis e tempestades, a topografia local,

o fluxo de água subterrânea e os processos atmosféricos. Esses dois últimos muitas vezes negligenciados em estudos de áreas de manguezais (MAZDA; WOLANSKI; RIDD, 2007).

Os manguezais são influenciados por elementos atmosféricos, como a radiação solar, o vento, a chuva, a evaporação, a evapotranspiração, a temperatura do ar e a umidade (BLASCO, 1994; KJERFVE, 1990; WOLANSKI, 2006).

De acordo com Chapman (1976), a temperatura e a precipitação têm papel de destaque na biogeografia do manguezal, com influência marcante na distribuição do manguezal.

Para Duke et al. (1998), a temperatura do ar e a precipitação são dois grandes fatores ambientais, que, em partes, explicam a distribuição regional dos manguezais. Para esses autores, as baixas temperaturas restringem a extensão latitudinal de diferentes espécies e áreas de maior precipitação geralmente têm um maior número de espécies. Essa influência se dá não apenas como resultado da precipitação que incide diretamente no mangue, mas também como resultado do escoamento das bacias fluviais.

Segundo Herz (1998), as chuvas exercem uma influência importante na dissolução dos sais marinhos, diminuindo seu conteúdo acumulado no substrato, que, caso contrário importaria um processo de concentração do sal durante secas prolongadas, afetando a estabilidade das soluções no lençol freático. Porém, na maioria dos estudos, as chuvas em manguezais geralmente são negligenciadas, pois é uma fonte menor de água em comparação com a enorme quantidade de água que inunda o bosque na maioria das marés. No entanto, em áreas tropicais, a variação na precipitação ao longo do ano é um parâmetro importante, visto que a diferença entre as condições ambientais nas estações secas e úmidas podem ser extremas (RIDD; STIEGLITZ, 2002).

Diante disso, o presente trabalho investiga o papel da estrutura da vegetação na interceptação da precipitação e no total precipitado acima e abaixo do dossel do manguezal, nas escalas diária, mensal, sazonal e anual. Assim realiza uma comparação entre os dados obtidos no manguezal e aqueles referentes a estação meteorológica oficial (Normal Climatológica) nos anos de 2011 e 2012, além de quantificar a interceptação do dossel nos anos de 2011 e 2012 e avaliar a interceptação da precipitação em função de diferentes intervalos de classes de precipitação.

Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Sistema Costeiro de Cananeia-Iguape, considerado uma das áreas mais conservadas do Estado de São Paulo, devido à sua extensão e estágio de conservação (ROSS, 2002; DIEGUES, 2002; CUNHA-LIGNON et al., 2009). De acordo com Cetesb (1998), o Litoral Sul do estado de São Paulo apresenta extensas áreas de manguezal em função da grande extensão da planície costeira nessa região (CETESB, 1998).

Cunha-Lignon et al. (2009), analisando a dinâmica natural e os impactos antrópicos ocorridos em áreas de manguezal no Estado de São Paulo, concluíram que os manguezais do estado sofreram distintas alterações ao longo do tempo, em função de cada trecho de segmento de costa. No Litoral Sul encontram-se os manguezais mais conservados

do Estado de São Paulo; nessa região, os bosques de mangue respondem positivamente à deposição sedimentar nas faces convexas dos canais lagunares (CUNHA-LIGNON et al., 2009).

Apesar de os manguezais do Sistema Costeiro Cananeia-Iguape serem considerados os mais conservados do Estado de São Paulo (ROSS, 2002; CUNHA-LIGNON et al., 2009), estudos apontam para ocorrência de clareiras em áreas de mangue na região de Iguape, devido do aumento de macrófitas aquáticas invasoras nesse setor do sistema costeiro, resultado da abertura do canal do Valo Grande (CUNHA-LIGNON et al., 2009; CUNHA-LIGNON et al., 2011). A abertura desse canal artificial ocorreu entre 1827 e 1852 e causou mudanças significativas tanto na salinidade e nos padrões de sedimentação quanto no aporte de metais pesados para o Sistema Costeiro Cananeia-Iguape (MAHIQUES et al., 2009). A Figura 1 apresenta a distribuição dos manguezais e macrófitas no Sistema Costeiro Cananeia-Iguape e a Figura 2 essa distribuição na Ilha dos Papagaios e na foz do Rio Ribeira de Iguape – SP, trecho norte do Sistema Costeiro Cananeia-Iguape, conforme Cunha-Lignon et al. (2011).

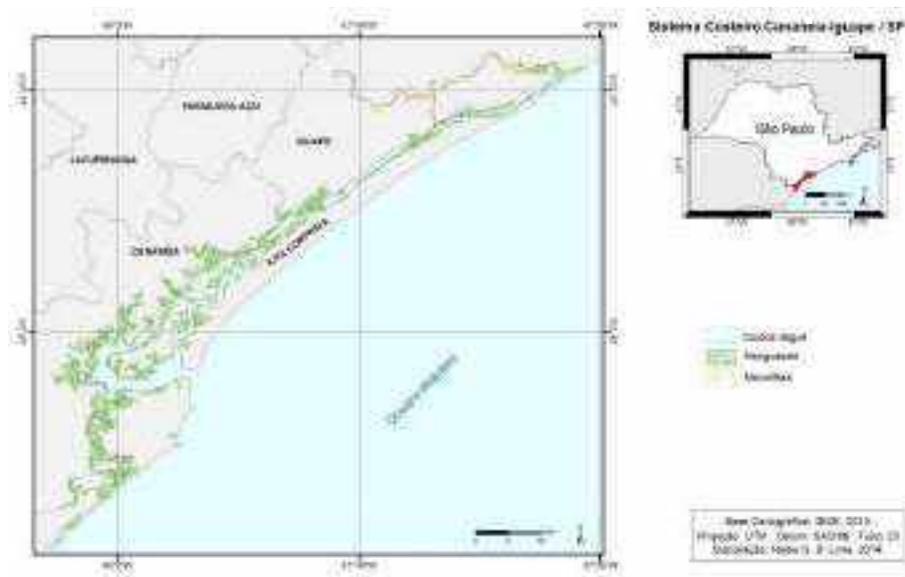


Figura 1 – Distribuição dos manguezais no Sistema Costeiro Cananeia-Iguape.
Fonte: Cunha-Lignon et al. (2011).



Figura 2 – Distribuição dos manguezais e macrófitas na Ilha dos Papagaios e na foz do Rio Ribeira de Iguape – SP, trecho norte do Sistema Costeiro Cananeia-Iguape.

Fonte: Cunha-Lignon et al. (2011).

Procedimentos Metodológicos

Os atributos climáticos foram obtidos em uma torre microclimática (coordenadas 23 k, UTM 254471.90 m E; 7273441.60 m S), que contém duas estações meteorológicas nos manguezais localizados na Ilha dos Papagaios, na Barra do Ribeira – Iguape/SP, instalada no local desde 06/01/08.

A torre microclimática apresenta uma estação meteorológica instalada acima do dossel da vegetação, com o intuito de registrar os atributos climáticos antes da interferência da vegetação, com 12 m de altura em relação à superfície, com registro da temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, precipitação, radiação solar global, radiação solar global refletida, radiação de onda longa atmosférica, radiação de onda longa terrestre e outra estação localizada abaixo do dossel. Outro conjunto instalado a 2 m de altura da superfície, contendo sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, precipitação e radiação solar global, visando obter os dados com a influência do dossel. Além disso, na base da torre foi instalado um termômetro de solo, sob o substrato do manguezal.

Para quantificação da precipitação acima e abaixo do dossel de mangue, foram instalados dois pluviômetros, tipo TE525MM-L15, fabricados pela Texas Instruments, com

registros a cada 10 min. A precipitação total foi medida pelo sensor instalado acima do dossel (P12) e a precipitação interna, que é a chuva que atinge o solo, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas entre as copas e gotas que respigam do dossel, pelo sensor instalado abaixo do dossel (P2). O período de análise da precipitação foi de 06/02/2011 a 31/12/2012. Nesta análise foram desconsideradas outras variáveis como: evaporação e escoamento pelo tronco. Considerando a climatologia regional da área de estudo, para análise da interceptação, optou-se por dividir em seis classes, conforme consta na Tabela 1.

Os dados da Normal climatológica foram obtidos na estação meteorológica oficial da cidade de Iguape, localizada a aproximadamente 12 km do manguezal.

Tabela 1 – Precipitação dividida por classes no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

Classe	Intervalo (mm)
1	<1,0
2	≥1,0 < 10
3	≥10 < 20
4	≥20 <40
5	≥40 <60
6	≥60

Resultados e Discussão

Comparação com os Dados Normais de Precipitação

Considerando o primeiro ano de análise, de 06/02/2011 a 31/12/11, o sensor instalado no manguezal acima do dossel registrou 1.691,4 mm, enquanto no período de 01/01/12 a 30/11/2012 totalizou-se 1.542,7 mm.

Ao analisar os dados mensais de precipitação, em 2011 (Figura 3) o mês de fevereiro destacou-se como o mais chuvoso (em janeiro de 2011 não houve medições), com um total de 313,3 mm, o que representa um percentual de 51,7% acima do esperado. Considerando a Normal Climatológica, o valor máximo mensal na região deveria ser observado em março, no entanto, em 2011, esse mês registrou apenas 18,2% do total esperado.

Os meses de abril, maio e junho apresentaram registros abaixo da Normal Climatológica, com 47,8%, 35% e 32,3%, respectivamente. Enquanto julho e agosto se destacaram com valores superiores à Normal Climatológica. O mês de julho registrou 125,8 mm, o equivalente a 20% acima do valor esperado. O mês de agosto, que de acordo com a Normal Climatológica deveria ser o período menos chuvoso do ano, se destacou por registrar 178 mm, equivalente a 88,6% acima do valor esperado para o mês. Por outro lado, o mês de setembro registrou o menor valor de 2011, com 34,4 mm, que

representa 71,6% abaixo do valor esperado. Os demais meses (outubro, novembro e dezembro) apresentaram valores superiores à Normal Climatológica, com 6,3%, 14,1% e 15,6% respectivamente.

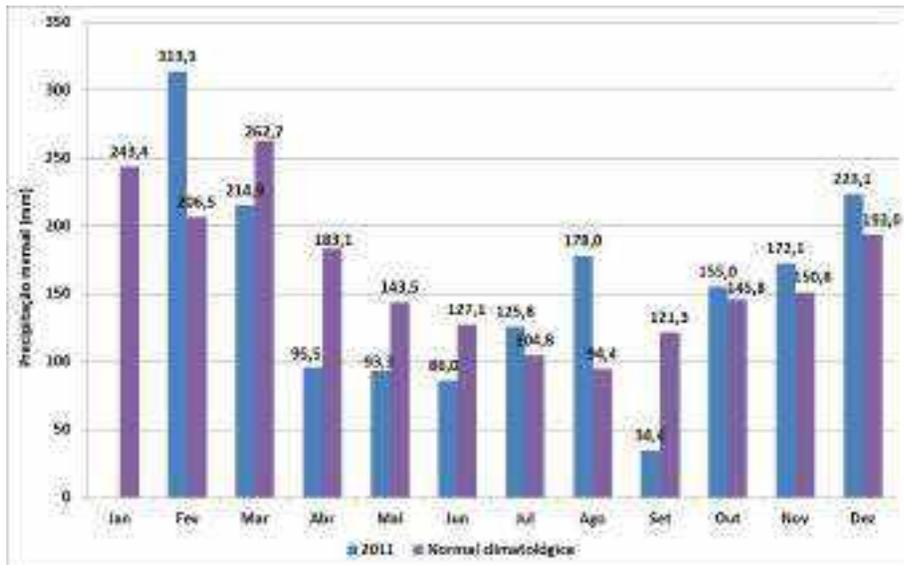


Figura 3 – Precipitação total registrada em 2011 no manguezal da Barra do Ribeira e a Normal Climatológica (1960-1991) para o município de Iguape – SP.

Em 2012, no mês de dezembro houve falha no sensor instalado no manguezal, assim, no período de 01/01/12 a 30/11/12 foram registrados 1.542,7 mm.

Conforme a Figura 4, os meses com os maiores totais pluviométricos foram junho e julho, que evidencia um ano atípico, considerando a Normal Climatológica de 1961 a 1990, em que esses meses apresentam valores inferiores aos registrados. O mês de junho registrou 308,5 mm, que corresponde a 142,7% acima do valor esperado para esse mês, sendo o mês mais chuvoso de 2012. O mês de julho registrou 243 mm, quando na realidade era esperado 104,8 mm, o que equivale a um aumento de 131,9%. Tanto junho quanto julho ultrapassaram inclusive o mês de janeiro, correspondendo ao mais chuvoso pela Normal Climatológica. O ano de 2012 foi também considerado como atípico, devido ao fato de, com exceção dos meses de junho e julho, apresentar todos os meses com dados inferiores a Normal climatológica, com destaque para março, agosto, setembro e novembro, com 67,3%, 82,1%, 62,8% e 56,7%, respectivamente, abaixo da Normal (Tabela 2).

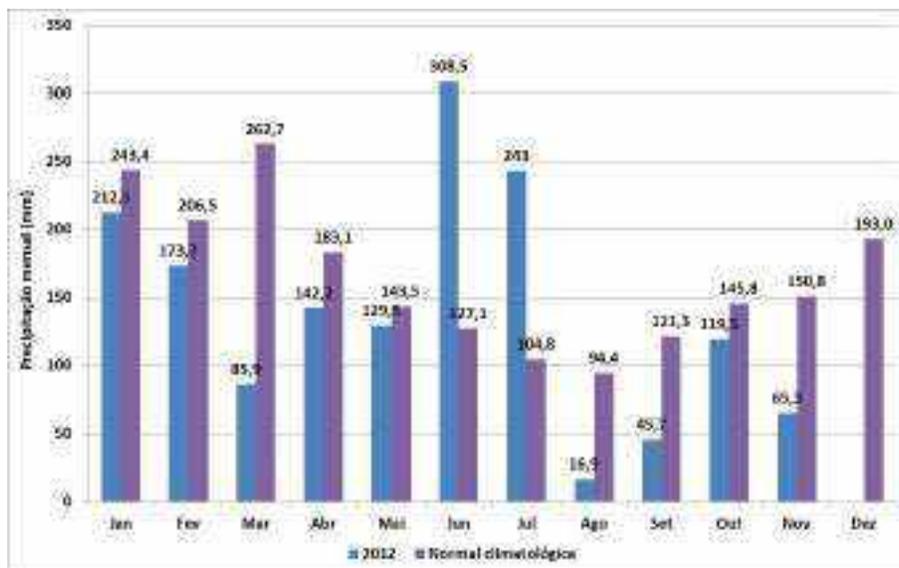


Figura 4 – Pluviosidade total registrada em 2012 no manguezal da Barra do Ribeira e a Normal Climatológica (1960 – 1991) para o município de Iguape – SP.

Tabela 2 – Precipitação mensal obtida no manguezal da Barra do Ribeira em 2011 e 2012, Normal Climatológica (1961-1990) para o município de Iguape, desvio absoluto e relativo para os anos de 2011 e 2012 em relação à Normal.

Meses	p ¹² (mm)	p ¹² (mm)	Normal Climatológica (mm)	Desvio Absoluto [□] (mm)	Desvio Relativo [□] (%)	Desvio Absoluto ¹ (mm)	Desvio Relativo ² (%)
	2011	2012	1961 – 1990	2011	2011	2012	2012
Jan	-	212,5	243,4	-	-	30,9	12,7
Fev	313,3	173,7	206,5	-106,8	51,7	32,8	15,9
Mar	214,9	85,9	262,7	47,8	18,2	176,8	67,3
Abr	95,5	142,2	183,1	87,6	47,8	40,9	22,3
Mai	93,3	129,5	143,5	50,2	35,0	14,0	9,8
Jun	86	308,5	127,1	41,1	32,3	-181,4	142,7
Jul	125,8	243	104,8	-21,0	20,0	-138,2	131,9
Ago	178	16,9	94,4	-83,6	88,6	77,5	82,1
Set	34,4	45,7	121,3	86,9	71,6	75,6	62,3
Out	155	119,5	145,8	-9,2	6,3	26,3	18,0

(continua)

Meses	P ¹² (mm)	P ¹² (mm)	Normal Climatológica (mm)	Desvio Absoluto [□] (mm)	Desvio Relativo [□] (%)	Desvio Absoluto ¹ (mm)	Desvio Relativo ² (%)
	2011	2012	1961 – 1990	2011	2011	2012	2012
Nov	172,1	65,3	150,8	-21,3	14,1	85,5	56,7
Dez	223,1	-	193,0	-30,1	15,6	-	-
Total	1.691,4	1.542,7	1.976,4	-	-	-	-

¹ Desvio absoluto: Normal Climatológica menos precipitação no manguezal em 2011 e em 2012.

² Desvio relativo: Porcentagem em que a precipitação no manguezal em 2011 e 2012 foi superior ou inferior à Normal Climatológica.

Análise da Interceptação do Dossel

Para o manguezal, ao longo do período de 06/02/2011 a 31/12/11, os sensores instalados no manguezal registraram 1.691,4 mm acima do dossel (P12) e 1.469,5 mm abaixo do dossel (P2), resultando em uma interceptação de 13%. Por outro lado, no período de 01/01/12 a 30/11/2012 registrou-se 1.542,7 mm e 1.481,6 mm, respectivamente, acima e abaixo do dossel, o que equivale a uma interceptação de 4,0%.

Considerando todo o período de análise (06/02/2011 a 30/11/2012) foram registrados 3.261,9 mm acima do dossel e 2.979,9 mm como precipitação interna abaixo do dossel, equivalente a 282 mm de interceptação, ou seja, 8,8 % do total precipitado acima do dossel foi interceptado pelo próprio dossel. Lima e Galvani (2010), na mesma área de estudo, mas analisando a precipitação em 2008, encontraram uma interceptação de 19,6%. Portanto, constatou-se uma diminuição na interceptação da vegetação perante a precipitação total.

Cicco (2009) ressalta a variedade de ambientes em que foram quantificadas a interceptação florestal, com destaque para uma elevada amplitude, com valores de 8,9% na floresta amazônica e na mata atlântica a um máximo de 30% em floresta paludosa. Dos trabalhos analisados por Cicco (2009), 54% (12) quantificaram uma interceptação entre 10% e 20% em relação à precipitação total. Arcova et al. (2003), estudando mata atlântica, encontraram uma interceptação de 18,6%; Thomaz (2005) chegou a uma interceptação de 23% em mata secundária. Oliveira e Dias (2005), também estudando mata secundária, encontraram 18,3% de interceptação. Silva e Costa (2006), analisando o manguezal do Pará, quantificaram uma interceptação de 28%.

Ao analisar os dados mensais de precipitação, em 2011, o mês de fevereiro destacou-se como o mais chuvoso (em janeiro de 2011 não houve medições), com um total de 313,3 mm e 318,1 mm, acima e abaixo do dossel, respectivamente. Enquanto setembro apresentou o menor registro de precipitação nos dois sensores, 34,4 mm acima do dossel e 25,2 mm, abaixo do dossel, conforme Figura 5.

O mês de fevereiro se destacou juntamente com novembro como os únicos meses em que o total abaixo do dossel foi superior ao registrado acima do ambiente, no entanto com uma diferença de apenas 4,8 mm e de 0,8 mm (0,6%), respectivamente. Por outro

lado, a maior diferença em termos absolutos ocorreu em agosto com 39 mm (21,9%) (Tabela 3). A interceptação média da pluviosidade para o manguezal em 2011 foi de 12,8%.

Em 2012 foram registrados 1.542,7 mm acima do dossel e 1.482,6 mm abaixo da copa das árvores, resultando em uma interceptação de 60,1 mm (4%). Como pode ser visualizado na Figura 6, os meses com maiores totais pluviométricos foram junho e julho, que caracteriza um ano atípico, considerando a Normal Climatológica de 1961 a 1990, em que esses meses apresentam valores bem inferiores aos registrados. Destaca-se ainda que, com exceção dos meses de junho e julho, todos os demais apresentaram dados inferiores a Normal Climatológica.

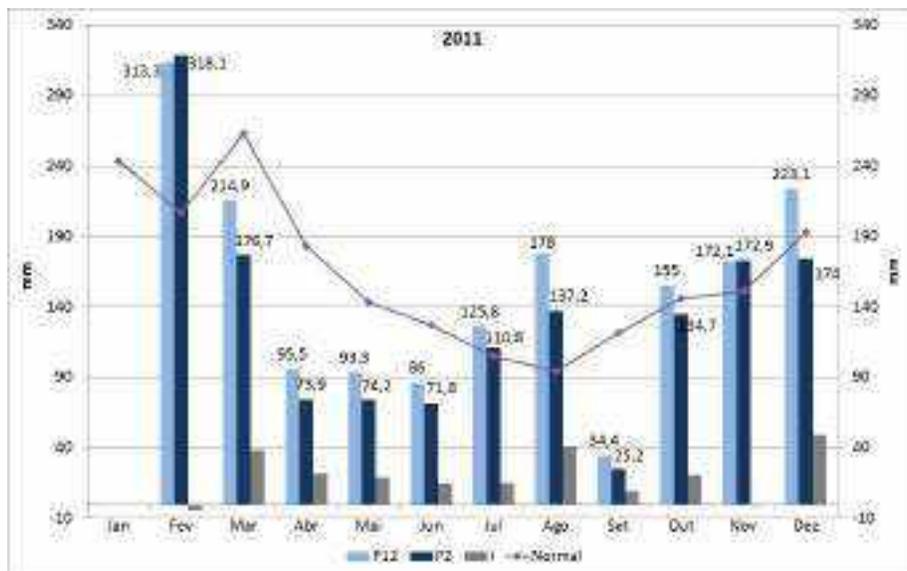


Figura 5 – Totais mensais de precipitação registrada em 2011 acima (P¹²) e abaixo (P²) do dossel, interceptação (I) para o manguezal da Barra do Ribeira e Normal Climatológica (1961-1990) – Iguape/SP.

Quanto ao valor registrado abaixo do dossel, o mês de junho também se destacou por apresentar 15,7% a mais do que o registrado acima do dossel. A maior interceptação em 2012 ocorreu em agosto, com 30,8% de interceptação. Enquanto a maior interceptação, em termos absolutos, ocorreu em outubro, com 20,5 mm (17,2%) (Tabela 3).

Em 2011, o dia com precipitação mais elevada ocorreu em 14/02/2011, com 142,7 mm acima do dossel e 162,6 mm abaixo da vegetação. Em 2012, o maior total diário registrado também aconteceu em fevereiro, no dia 10, com 81,2 mm e 80,7 mm, respectivamente, acima e abaixo da copa das árvores.

A Figura 7 apresenta a relação entre a precipitação acima e abaixo do dossel, evidenciando um coeficiente de determinação de (R²) de 0,939, ou seja, 93,9% dos dados estão associados.



Figura 6 – Totais mensais de precipitação registrada em 2012 acima (P¹²) e abaixo (P²), intercepção (I) para o manguezal da Barra do Ribeira e Normal Climatológica (1961 a 1990) – Iguape/SP.

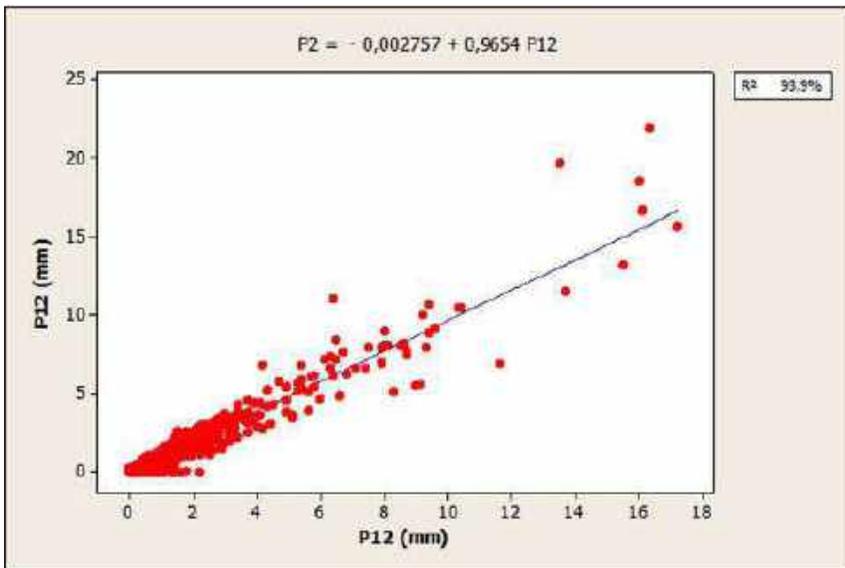


Figura 7 – Regressão Linear Simples para precipitação a 12 m e a 2 m, no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

Tabela 3 – Precipitação (mm) para 2011 e 2012, obtida no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP

Mês	2011				2012				Normal Climatológica (mm)
	P ¹² (mm)	P ² (mm)	I (mm)	I (%)	P ¹² (mm)	P ² (mm)	I (mm)	I (%)	
Jan	Dados não coletados				212,5	192,7	19,8	9,3	243,4
Fev	313,3	318,1	-4,8	-1,5	173,7	168,3	5,5	3,2	206,5
Mar	214,9	176,7	38,2	17,8	85,9	82,5	3,4	4,0	262,7
Abr	95,5	73,9	21,6	22,6	142,2	129,7	12,5	8,8	183,1
Mai	93,3	74,2	19,1	20,5	129,5	122,8	6,7	5,2	143,5
Jun	86	71,8	14,2	16,5	308,5	356,8	-48,3	-15,7	127,1
Jul	125,8	110,8	15	11,9	243,0	231,6	11,4	4,7	104,8
Ago	178	137,2	40,8	22,9	16,9	11,7	5,2	30,8	94,4
Set	34,4	25,2	9,2	26,7	45,7	36,8	9,3	20,4	121,3
Out	155	134,7	20,3	13,1	119,5	99,0	20,5	17,2	145,8
Nov	172,1	172,9	-0,8	-0,5	65,3	50,2	15,1	23,1	150,8
Dez	223,1	174	49,1	22,0	Dados não coletados				193,0
Total	1691,4	1469,5	221,9	13%	1542,7	1482,6	60,1	4%	1976,4

A Figura 8 apresenta os dados por estações do ano. Observa-se que o outono de 2012 apresentou uma intensa precipitação sendo superior até mesmo às precipitações do verão, com registro de 573,4 mm e 552,1 mm, valores bem superiores ao registrado em 2011. Por outro lado, o outono de 2011 registrou os menores valores de precipitação, com 321,5 mm e 253,7mm, a 12 e a 2 m, respectivamente. Em 2012 devido a falhas nos equipamentos não foi registrada a precipitação completa para a primavera e verão.

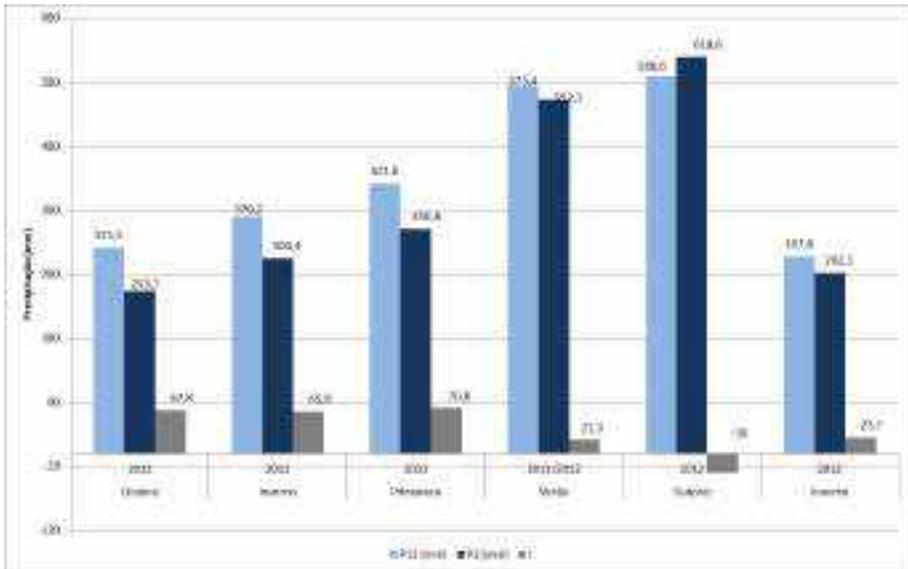


Figura 8 – Precipitação total sazonal para 2011 e 2012 no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

A maior intercepção em 2011 ocorreu no outono, com precipitação abaixo do dossel reduzida em 21,1%. O inverno se destacou como a segunda maior intercepção, com o sensor abaixo do dossel registrando 17,4% a menos do que acima do dossel. Por fim, o verão se destacou com a menor redução, apenas 3,7 % de diferença em relação ao dado obtido acima do dossel. Na primavera essa redução foi de 16,8%.

Em 2012, a análise ficou prejudicada visto que houve falha nos sensores tanto em parte da primavera quanto no verão. Porém, destaca-se que o outono não apresentou intercepção, mas registrou valores superiores abaixo do dossel enquanto no inverno interceptou 8,3%.

Os resultados aqui apresentados corroboram com os estudos de Silva e Costa (2006), Arcova et al. (2003), Thomaz (2005) e Cicco (2009), que destacam que o tipo de precipitação influencia na quantidade interceptada pela vegetação.

Silva e Costa (2006) obtiveram uma intercepção de 28% nos manguezais de Bragança/PA, verificando ainda que no período de “fraca incidência” de El Niño ocorreu

maior precipitação e menor interceptação, enquanto no período de “forte incidência” de El Niño ocorreu menor precipitação e maior interceptação.

Lima (1983) também ressalta a importância das condições meteorológicas sobre a interceptação, observando que fatores como a velocidade do vento, a umidade relativa do ar, a duração e intensidade de chuva, dentre outros, podem contribuir na interceptação da cobertura vegetal. Nos meses em que prevalecem chuvas convectivas como em fevereiro, outubro, novembro e dezembro, na área de estudo, com intensidade de chuva elevada, constatou-se uma menor interceptação da precipitação em termos percentuais, enquanto meses em que prevalecem chuvas com intensidades moderada a fraca, como em agosto e setembro houve uma maior interceptação.

Avaliação da Intensidade dos Eventos Pluviométricos

Diante do total precipitado, optou-se por analisar a interceptação da precipitação por classes. A precipitação foi dividida em seis classes, estabelecidas, considerando a climatologia regional da área de estudo (Tabela 4).

Tabela 4 – Precipitação dividida por classes no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

Classe	Intervalo (mm)	Total de dias	P¹² (mm)	P² (mm)	I (mm)	I (%)
1	<1,0	196	51,3	18,4	32,9	64,1
2	≥1,0 < 10	149	612,9	475,7	137,2	22,4
3	≥10 < 20	40	559,3	510,9	48,4	8,7
4	≥20 <40	35	917,8	868	49,8	5,4
5	≥40 <60	12	535,1	553,1	-18,0	-3,4
6	≥60	6	515,4	524,7	-9,3	-1,8

Com essa divisão por classes, foi possível constatar que conforme a intensidade da precipitação aumenta, a interceptação pelo dossel do manguezal reduz. A Classe 1 (<1,0 mm) foi a que apresentou a maior interceptação com 64,1%. Em seguida, destaca-se a Classe 2, com 22,4% e as Classes 3 e 4, com 8,7% e 5,4%, respectivamente (Figura 9). Observa-se que a partir da Classe 5 (≥40 <60 mm) a interceptação passou a ser negativa, ou seja, o sensor abaixo do dossel registrou total superior ao localizado acima do dossel.

A Tabela 5 apresenta as classes de precipitação para as estações outono/inverno e primavera/verão.

Tabela 5 – Classes de precipitação para as estações outono/inverno e primavera/verão.

Classe	Intervalo (mm)	Total de dias	P ¹² (mm)	P ² (mm)	I (mm)	I (%)
Outono/Inverno						
1	<1,0	77	16,7	5,7	11	65,9
2	≥1,0 < 10	58	237,4	183	54,1	22,8
3	≥10 < 20	14	212,1	200	11,7	5,5
4	≥20 <40	14	378,6	382	-2,9	-0,8
5	≥40 <60	5	239,3	255	-16	-6,7
6	≥60	1	69,6	52	17,6	25,3
Primavera/Verão						
1	<1,0	68	20,8	7,5	13,3	63,9
2	≥1,0 < 10	62	254	138	116	45,7
3	≥10 < 20	23	308,4	275	33,7	10,9
4	≥20 <40	15	396,9	355	41,5	10,5
5	≥40 <60	6	241,9	246	-4,5	-1,9
6	≥60	4	381,4	410	-29	-7,6

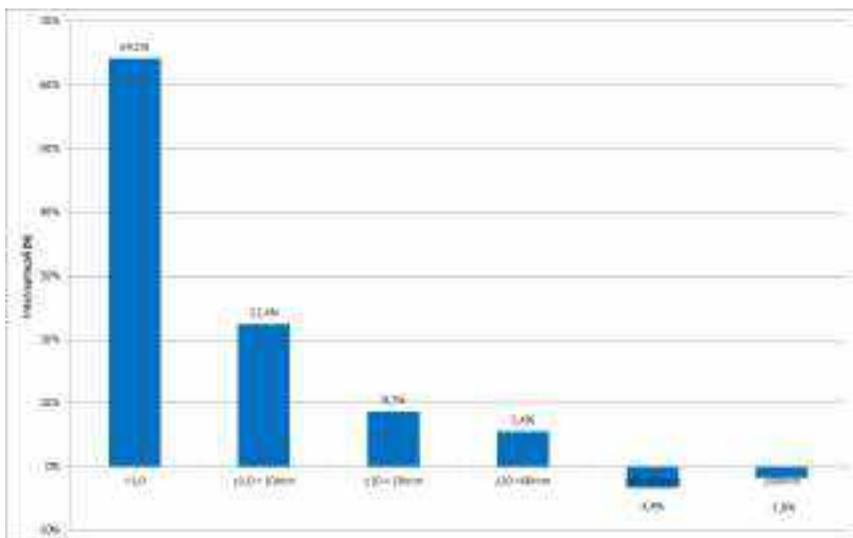


Figura 9 – Interceptação da precipitação pelo dossel do manguezal em diferentes classes de precipitação – no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

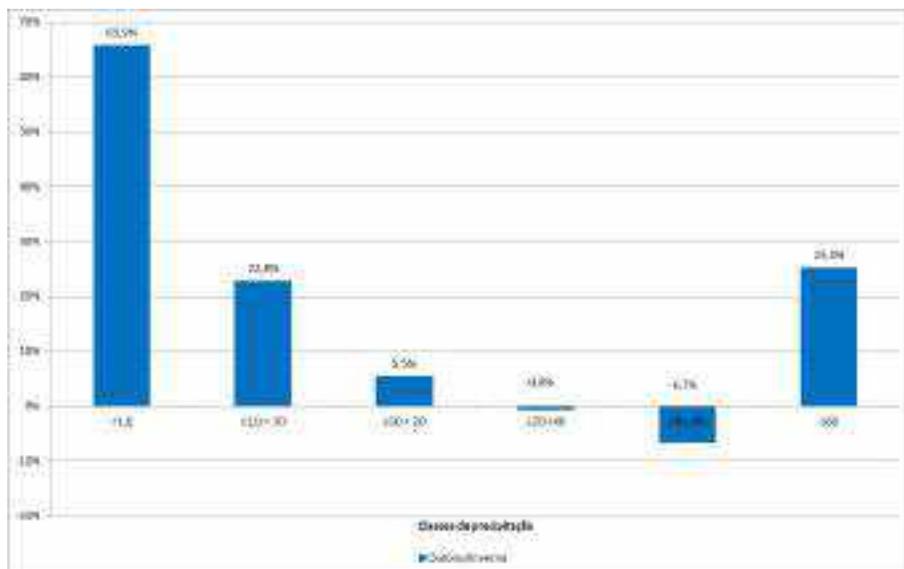


Figura 10 – Interceptação da precipitação por classes para o outono/inverno no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

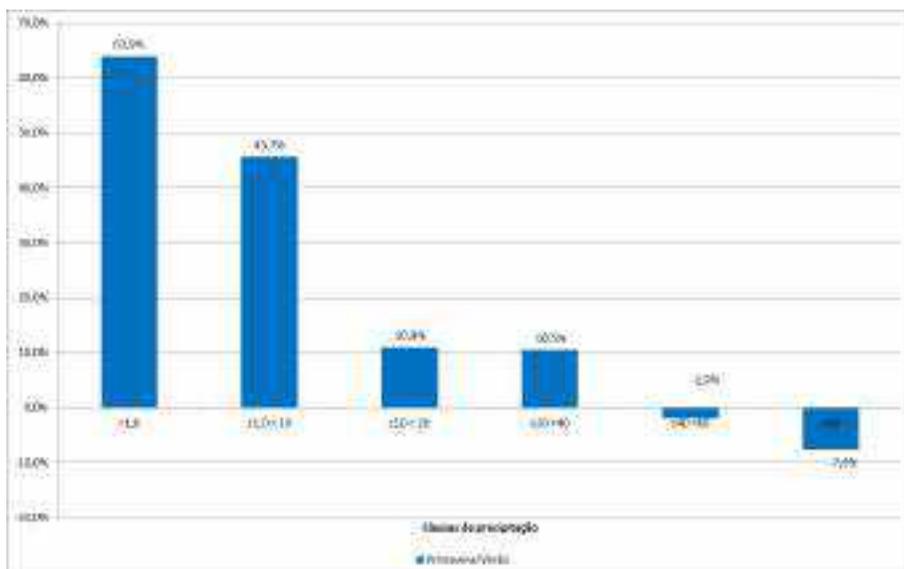


Figura 11 – Interceptação da precipitação por classes para a primavera/verão no manguezal da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

A Figura 10 apresenta a precipitação por classes para o outono/inverno. Destaca-se que há uma tendência de redução da interceptação conforme ocorre a diminuição na intensidade da chuva, que ocorre até a classe > 60 mm. No entanto, esse comportamento se inverte ao considerar a classe ≥ 60 mm. Vale destacar que essa classe é representada no inverno apenas por um único dia, justamente o dia 01/08/2011, quando choveu 69,6 mm acima do dossel e 52 mm abaixo. Por outro lado, na primavera/verão destaca-se que conforme ocorre diminuição na intensidade da precipitação há uma maior interceptação (Figura 11).

Conclusão

Na análise da precipitação constatou-se uma interceptação pelo dossel de 8,8%, oscilando entre 13% em 2011 e 4%, em 2012. Considerando os valores mensais, a interceptação variou entre um máximo de 26% e um mínimo de 3,2%, evidenciando que a variação anual da precipitação, que reflete tanto em sua quantidade quanto em sua intensidade contribui para a porcentagem dessa interceptação pelo dossel.

Os meses em que prevalecem chuvas convectivas como de outubro a março, na área de estudo, com intensidade de chuva elevada, constatou-se uma menor interceptação da precipitação em termos percentuais, enquanto meses em que prevalecem chuvas com intensidades moderada a fraca, como em agosto e setembro houve uma maior interceptação.

Com a análise dos intervalos de precipitação, foi possível constatar que conforme a intensidade da precipitação aumenta, a interceptação pelo dossel do manguezal reduz. Destaca-se que há uma tendência de redução da interceptação conforme ocorre a diminuição na intensidade da chuva, que ocorre até a classe > 60 mm. No entanto, esse comportamento se inverte ao considerar a classe ≥ 60 mm.

Os resultados apontam para a importância da gênese dos eventos pluviométricos, ou seja, em eventos convectivos – intensidade elevada – a interceptação reduz percentualmente e, nos meses em que ocorrem precipitações de origem frontal – intensidade moderada a fraca – a interceptação aumenta percentualmente.

Referências Bibliográficas

ALONGI, D. M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 76, p. 1-13, 2008.

_____. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 3, p. 331-349, 2002. Foundation for Environmental Conservation.

_____. *The energetics of mangrove forests*. Queensland: Springer Science, 2009. 216p.

ARCOVA, F. C. S.; CICCO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha — São Paulo. *Revista Árvore*, Viçosa/MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

BLASCO, F. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In: SNEDAKER, S. C.; SNEDAKER, J. G. (Orgs.) *The mangrove ecosystem: research methods*. Paris: Unesco, p. 18-35, 1984.

CAVANAUGH, K. C.; KELLNER, J. R.; FORDE A. J.; GRUNER, D. S.; PARKER, J. D.; RODRIGUEZ, W.; FELLER, I. C. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. *PNAS*, v. 111, n. 2, p. 723-727, 2014.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Mapeamento dos ecossistemas costeiros do estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1998. 108p.

CHAPMAN, V. J. *Mangrove vegetation*. Vaduz: J. Cramer, 1976. 447p.

CICCO, V. *Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP*. Tese (Doutorado em Geografia Física) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CUNHA-LIGNON, M.; MENGHINI, R. P.; SANTOS, L. C. M.; NIEMEYER-DINÓLA, C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Estudos de caso nos manguezais do estado de São Paulo (Brasil): aplicação de ferramentas com diferentes escalas espaço-temporais. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 1, p. 79-91, 2009.

_____; KAMPEL, M. Análise multitemporal de imagens Landsat para monitoramento de áreas de manguezal: subsídio à gestão costeira do litoral sul do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE SENSOREAMENTO REMOTO. 2011, Curitiba, PR. *Anais...* 2011.

_____; _____. MENGHINI, R.P.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; DAHDOUH-GUEBAS, F. Mangrove Forests Submitted to Depositional Processes and Salinity Variation Investigated using satellite images and vegetation structure surveys. *Journal of Coastal Research*, SI 64, v. 1, p. 344-348, 2011.

DIEGUES, A. C. (Org.). *Povos e águas — inventário de áreas úmidas brasileiras*. 2. ed. São Paulo. Nupaub/USP, p. 15-18, 2002.

DUKE, N. N.; BALL, C. M.; ELLISON, J. C. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, v.7, p. 27-47, 1998.

DUKE, N. C.; MEYNECKE, J. O.; DITTMANN, S.; ELLISON, A. M.; ANGER, K.; BERGER, U.; CANNICCI, S.; DIELE, K.; EWEL, K. C.; FIELD, C. D.; KOEDAM, N.; LEE, S. Y.; MARCHAND, C.; NORDHAUS, I.; DAHDOUH-GUEBAS, F. A world without mangroves? *Science*, v. 317, p. 41-42, 2007.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The world's mangroves 1980-2005*. Rome: FAO, 2007. 77p.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. Estudos climáticos nas escalas inferiores do clima: manguezais da Barra do Rio Ribeira, Iguape, SP. *Revista Mercator*, v. 9, n. 1, p. 25-38, 2010.

GIRI, C.; E. Ochieng, E., Tieszen, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, p. 154-159, 2011.

HERZ, R. *Manguezais do Brasil*. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 1998. 716p.

KJERFVE, B. *Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems*. Estados Unidos: Unesco. 1990. 80p.

KRAUSS, K. W.; DOYLE, T. W.; DOYLE, T.J.; SWARZENSKI, C. M.; FROM, A. S.; DAY, R. H.; CONNER, W. Water level observations in mangrove swamps during two hurricanes in florida. *Wetlands*, v. 29, n. 1, p. 142-149, 2009.

LACAMBRA, C.; SPENCER, T.; MOELLER, I. Tropical coastal ecosystems as coastal defences. *ProAct Network*. Reino Unido, p. 1-22, 2008.

LIMA, W. P. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. *IPEF*, v. 24, p. 43-46, 1983.

LIMA, N. G. B.; GALVANI, E. Influência da precipitação nos manguezais da Barra do Ribeira – Iguape/SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, n. 7, 2010.

_____; _____. FALCÃO, R. M.; CUNHA-LIGNON, M. Air temperature and canopy cover of impacted and conserved mangrove ecosystems: a study of a subtropical estuary in Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 65 — International Coastal Symposium, v. 2, p. 1152-1157, 2013.

MAHIQUES, M. M.; BURONE, L.; FIGUEIRA, R. C. L.; LAVENÉRE-WANDERLEY, A. A. O.; CAPELLARI, B.; ROGACHESCKI, C. E.; BARROSO, C. P.; SANTOS, L. A. S.; CORDERO, L. M.; CUSSIOLI, M. C. Anthropogenic influences in a lagoonal environment: a multiproxy approach at the valo grande mouth, Cananeia-Iguape System (SE Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 57, n. 4, p. 325-337, 2009.

MAZDA, Y.; WOLANSKI, E; RIDD, P.V. *The Role of Physical Processes in Mangrove Environments. Manual for the Preservation and Utilization of Mangrove Ecosystems*. TERRA-PUB, Tóquio, 2007.

MCIVOR, A.; MÖLLER, I.; SPENCER, T.; SPALDING, M. Reduction of wind and swell waves by mangroves. *NCP Report*, 2012-01, 2012.

MEDELLU, C. S.; SOEMARNO, M.; BERHIMPON, S. The Influence of Opening on the Gradient and Air Temperature Edge Effects in Mangrove Forests. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, v. 12, n. 2, p. 53-57, 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

RIDD, P. V.; STIEGLITZ, T. Dry season salinity changes in tropical mangrove and salt flat fringed estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 54, p. 1039-1049, 2002.

ROSS, J. L. S. A morfogênese da bacia do rio Ribeira do Iguape e os sistemas ambientais. *Revista GEOUSP — Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 12, p. 21-26, 2002.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; SOARES, M.L.G. Mangroves as indicators of sea-level change in the muddy coasts of the world. In: HEALY, T.; WANG, Y.; HEALY, J. A. (Eds.). *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Function*. Amsterdam: Elsevier Science, 2002, p. 245-262.

SILVA, R. B. C.; COSTA, A. C. L. Estudo da interceptação pluviométrica em área de manguezal no Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA – 1996 a 2006. *Anais...* Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-061ce9e9a719c-55dc318f1f10b5081b1.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

SNEDAKER, S. C.; JIMENEZ, J. A.; BROWNS, M. S. Anomalous aerial roots in *Avicennia germinans* (L). *Bulletin of Marine Science*, Flórida, v. 31, n. 2, p. 467-470, 1981.

THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava-PR. *GEOGRAFIA Revista do Departamento de Geociências*, v. 14, n. 1), p. 47-60, 2005.

VALIELA, I.; BOWEN, J. L.; YORK, J. K. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *BioScience*, v. 51, n. 10, p. 807-815, 2001.

WOLANSKI, E. The application of ecohydrology for sustainable development and management of mangrovedominated estuaries. *The ICEMAN 2006 Mangrove Conference in Kuala Lumpur*. 2006.

ZHANG, K.; HUIQING, L.; YUEPENG, Li; HONGZHOU, Xu; SHEN, J.; RHOME, J.; SMITH, T. J. The role of mangroves in attenuating storm surges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 102-103, p. 11-23, 2012.

Recebido em: 9/6/2016

Aceito em: 16/06/2016

Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio concedido ao longo da pesquisa (Processos 472473/2011-5 e 482819/2013-8).

As Múltiplas Abordagens para o Estudo da Paisagem

The Multiples Approaches For The Landscape Study

Roberto Verdumⁱ

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Brasil

Lucimar de Fátima dos Santos Vieiraⁱⁱ

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Brasil

Maurício Ragagnin Pimentelⁱⁱⁱ

Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Santa Vitória do Palmar, Brasil

Resumo: O *Pagus – Laboratório da Paisagem*, do Departamento de Geografia/Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tem como objetivo desenvolver estudos no âmbito da paisagem em suas diversas perspectivas. As pesquisas de seus integrantes propõem, em sua maioria, métodos e metodologias de leitura da paisagem, discussões de conceitos e intervenções no espaço geográfico. A partir do entrelaçamento de olhares interdisciplinares, principalmente da arquitetura, artes, biologia, educação, geografia, turismo e urbanismo, este artigo busca desenhar uma espécie de mosaico das relações entre as diversas abordagens do conceito *paisagem* dentro do *Pagus*, tanto no que se refere à pesquisa quanto à atuação profissional de seus pesquisadores. Nesse cruzamento, percebe-se que cada investigação busca relacionar a ideia de paisagem concreta e paisagem fenomenológica, ora trazendo a dimensão cultural para uma pesquisa centrada na paisagem material, ora buscando resultados operativos e estratégicos de planejamento territorial em uma pesquisa dedicada às subjetividades da paisagem imaginada, ora projetando ações nos espaços geográficos urbanos e rurais.

Palavras-chave: Paisagem; Laboratório da Paisagem; *Pagus*; Leituras; Métodos; Ações.

Abstract: The *Pagus – Landscape Laboratory*, Department of Geography / Geosciences Institute of the Federal University of Rio Grande do Sul, aims to develop studies within the landscape in its various perspectives. The surveys of its members propose methodolo-

ⁱ Professor do Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia – IGEO/UFRGS. verdum@ufrgs.br.

ⁱⁱ Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia – IGEO/UFRGS. lucymarvieira@gmail.com.

ⁱⁱⁱ Professor do Instituto de Ciências Humanas e da Informação/FURG; Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia. mauricioragagnin@gmail.com.

gies, discussions of concepts and interventions in geographic space. From the interlacing of interdisciplinary looks, especially the architecture, arts, biology, education, geography, tourism and urban development, this article seeks to show the mosaic of relations between different landscape concept approaches within the *Pagus*, both in terms of research and the professional performance of its researchers. Each research seeks to relate the idea of concrete and phenomenological landscape, sometimes bringing a cultural dimension to a survey focused on landscape in material terms, now seeking operational and strategic results of territorial planning in a research devoted to subjunctives of imagined landscape, now projecting actions in urban and rural geographic areas.

Keywords: Landscape; Landscape Laboratory; *Pagus*; Readings; Methods; Actions.

Introdução

O *Pagus*¹ – *Laboratório da Paisagem*, do Departamento de Geografia/Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nasceu com o objetivo de desenvolver estudos nas diversas perspectivas que a *paisagem* proporciona para a construção de leituras, conceitos, metodologias de análise e intervenções no espaço geográfico.

Com o objetivo principal de gerar estudos e trabalhos técnicos que busquem conceber a paisagem numa perspectiva de entrelaçamento de olhares interdisciplinares, o grupo é constituído por profissionais das áreas da arquitetura, artes, biologia, educação, geografia, turismo e urbanismo. Deste modo, este artigo se apresenta como um mosaico das diversas abordagens de *paisagem* dentro do *Pagus*, tanto no que se refere à pesquisa quanto à atuação profissional de seus integrantes, dentro dos estudos de percepção, planejamento e gestão, avaliação de impactos, projetos de intervenção, sensibilização paisagística, entre outros.

A perspectiva do *Pagus* é a do entendimento da paisagem como um sistema aberto, como um conceito complexo ao qual estão relacionados aspectos do meio, econômicos e culturais em constante interação e transformação. Essa pluralidade de conceitos é sistematizada na primeira parte do artigo. Em seguida partimos para a apresentação de algumas pesquisas desenvolvidas no âmbito do laboratório, trazendo autores de referência, propondo alguns questionamentos e ações.

Pagus e a Dupla Perspectiva da Paisagem

Os pesquisadores do *Pagus* têm desenvolvido suas investigações levando em consideração duas perspectivas da paisagem: a paisagem enquanto algo **concreto** e a paisagem enquanto um **fenômeno**, refletido em representações sociais. Raras são as pesquisas que optam por apenas um desses entendimentos, por isso não os separamos com intuito classificatório, mas sim com o objetivo de abrir os conceitos para melhor compreendê-los.

A **paisagem concreta** é entendida como o resultado das marcas que a(s) sociedade(s) humana(s) imprime na superfície terrestre ao longo do tempo. Essas marcas se traduzem em formas, linhas, cores e texturas, condicionadas por fatores geológicos, geomorfológi-

cos, ecológicos e climáticos em constante transformação por dinâmicas físicas, sociais, econômicas e culturais.

Essa abordagem destaca duas importantes variáveis que influenciam na constituição da paisagem: o tempo e a materialidade. As formas, funções e estruturas da paisagem são constantemente modificadas. Ao estudá-la num determinado momento, consideramos a paisagem como a expressão das heranças da ação dos seres humanos sobre a natureza, até aquele período, uma sucessão de relações, um resultado histórico acumulado, mas levando em consideração sua dinâmica constante e suas infinitas possibilidades de transformação.

A materialidade da paisagem aparece nos embasamentos das pesquisas do *Pagus*, nas ideias de paisagem enquanto adição, resultado, síntese, totalidade, composição e acumulação. Essa perspectiva é importante para a compreensão e a localização dos diferentes elementos do meio que compõem a paisagem, tais como: vegetação, fauna, solos, relevo e litologia, assim como a ocupação e o uso da terra, nas suas inter-relações. O entendimento de que a paisagem possui limites definidos, ou que é composta por unidades identificáveis, é um caminho metodológico admissível, dada a grandeza do conceito de paisagem, a complexa tarefa de lê-la, e a necessidade de torná-la operativa em estratégias de diagnóstico, planejamento e gestão do território.

A segunda abordagem de nossos estudos considera a **paisagem enquanto fenômeno**. Cada pessoa, de acordo com a sua trajetória, consciência e experiência, vê as paisagens de forma diferente e única, sendo que nela se insere de determinada forma. Cada um constrói seus conceitos que vão refletir em suas ações e seus olhares. Por sua vez, esses olhares e ações são concebidos a partir de uma matriz cultural que é do coletivo de uma determinada sociedade humana. O aspecto fenomenológico da paisagem reside, então, nos diferentes – e infinitos – modos do sujeito olhar, interpretar e transformar o espaço geográfico. Dito de outra forma se compreende que essa leitura da paisagem é uma construção contínua social e ao mesmo tempo particular, onde se sobrepõem a identidade, os conhecimentos, a memória e os sentimentos de cada pessoa, associados ao processo cultural que remete à organização coletiva em que estamos inseridos, com toda sua carga simbólica.

A abordagem fenomenológica significa constantes desafios para os estudos da paisagem: compreendê-la enquanto imaginação e enquanto representação social. Enquanto imaginação, a paisagem se constrói visualmente, mas não necessariamente se atende a um processo ótico. A transformação da paisagem em imagem se dá em processos de representação social, que podem ser expressos em narrativas, na literatura, na música, na fotografia, na pintura, no cinema e em tantas outras formas. As ações de perceber e representar a paisagem passam por valores estéticos, plásticos e emocionais em relação ao meio. E interpretar essas imagens e representações pressupõe a compreensão de uma determinada matriz cultural.

A abordagem fenomenológica, também, está intrinsecamente relacionada com o conceito de tempo, de modo que não há nada fixo, estático ou imutável. O caráter dinâmico e mutante da paisagem em relação à imprevisibilidade da própria natureza, e principalmente das concepções de uma sociedade, a caracterizam como um meio vo-

látil, difícil de manipular e em constante transformação. A partir desta noção de tempo condensado chegamos novamente ao tema da memória.

A memória é um dos agentes que determina a crescente complexidade da paisagem, uma vez que se acumula em estratos ao longo do tempo. Nas pedras, nas dobras e no simples caminhar do viajante se depositam uma infinidade de histórias, que por um lado compõe a paisagem tal como se apresenta fisicamente, e por outro, geram uma diversidade causada por esta multiplicidade de leituras. Esta superposição ocorre em diferentes medidas, e pode crescer em lugares onde a paisagem se construa a partir de dicotomias ou dualidades, tais como: o urbano-rural, o passado-presente, a natureza-sociedade, o individual-coletivo, o teórico-prático, o subjetivo-objetivo.

Importante salientar que as pesquisas que adotam a abordagem fenomenológica iluminam o constante movimento de uma sociedade moldar a paisagem, ao mesmo tempo em que é moldada por ela. É na relação complexa retroalimentar de modificação do objeto pelo sujeito e do objeto modificando o sujeito, que a paisagem como um todo, nos é dada a conhecer.

Apresentadas as duas abordagens, arriscamo-nos a constatar que a distância e a separação entre o entendimento da paisagem enquanto matéria e enquanto fenômeno já não encontra espaço na atualidade, por ser justamente na relação entre a forma e seu valor imaterial que reside o avanço desta aproximação conceitual.

O *Pagus*, por ser constituído por pesquisadores de formações em campos de conhecimento que valorizam igualmente a forma e o conteúdo, tende a trabalhar com métodos que cruzam ambas as abordagens, o que potencializa a perspectiva pragmática (ação), conforme será apresentada no item a seguir – Figura 1.

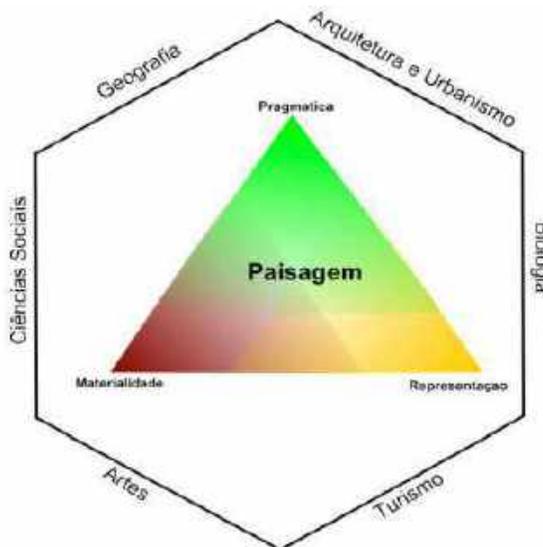


Figura 1 – O *Pagus* e os campos de conhecimento que valorizam os métodos da paisagem, enquanto materialidade e fenômeno, o que potencializa suas ações pragmáticas. Fonte: Pimentel, 2016.

O Mosaico Interdisciplinar na Aplicação das Metodologias de Pesquisa em Paisagem do *Pagus*

Selecionamos algumas pesquisas desenvolvidas ou em desenvolvimento no âmbito do *Pagus* (dissertações, teses e trabalhos técnicos) para colocar em pauta possíveis metodologias de análise e discussão de paisagem. É importante destacar este trabalho como passos de maturação do *Pagus* em identificar as sobreposições, conexões e tensões entre as metodologias utilizadas nas investigações, a fim de aproximar-se deste mosaico de relações intencionado pelo grupo de pesquisa.

Nas pesquisas para elaborar os trabalhos técnicos sobre os *Diagnósticos Socioeconômicos e Ambientais e Planos de Manejo em Unidades de Conservação no Estado do Rio Grande do Sul*, (VERDUM et al., 2012), a partir de uma solicitação de “caracterização da paisagem”, são utilizados os critérios de forma, função, estrutura e dinâmica, como também, um conjunto de técnicas e bases de informações, como os estudos realizados sobre determinados elementos que caracterizam as paisagens (vegetação, solos, litologia e ocupação/uso da terra), os produtos do sensoriamento remoto, as observações e os registros de campo; assim como questionários aplicados à população situada na área de estudo. Nestes estudos adotamos a sistemática de definição de Unidades de Paisagem (UPs) a partir de dois níveis hierárquicos: o *primeiro nível hierárquico* leva em consideração as características que são atribuídas às UPs como de interesse para a sua conservação, sendo que essas são apresentadas, essencialmente, em função dos fatores do meio (geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e cobertura vegetal); o *segundo nível hierárquico* de diferenciação das UPs leva em consideração as diferentes estruturas e funções que caracterizam as intervenções e transformações na paisagem produzidas socialmente (sistemas de produção agrícola nos espaços rurais).

Na pesquisa intitulada: *Estudo da Paisagem: Implantação de Aeroogeradores em Tapes/RS* analisamos a transformação da paisagem por meio de empreendimentos eólicos, pois estes são um fenômeno relativamente novo no Rio Grande do Sul e no Brasil. Contudo, a matriz energética brasileira está em expansão, principalmente a geração eólica. Embora esse tipo de energia seja considerado de baixo impacto ambiental, constata-se que cresce a preocupação de alguns segmentos da sociedade em relação aos impactos que podem ocorrer ao meio ambiente. Entre eles está a intrusão visual decorrida da inserção dos aeroogeradores, ou o impacto sobre a paisagem. O objetivo da pesquisa é mostrar o levantamento sobre a percepção da paisagem em relação à possibilidade da implantação de empreendimentos de energia eólica no município de Tapes/RS. Na tentativa de contemplar o objetivo proposto, no estudo utiliza-se a categoria de análise da paisagem por meio do método da percepção, considerando, principalmente, a perspectiva de Berque (1998) da paisagem marca (expressão de uma civilização) e paisagem matriz (através dos mecanismos de percepção, concepção e de ação). Em busca dos aspectos objetivos e subjetivos que norteiam a opinião da população perante um empreendimento hipotético, observa-se que há uma série de elementos envolvidos nesse processo que ultrapassa a simples aceitação do empreendimento. Os resultados refletem o grande apelo econômico que os aeroogeradores representam para a popula-

ção local (BIER, 2013). A partir disso, com a intenção de compararmos os resultados de pesquisas à época da inauguração dos parques há mais de 10 anos no município de Osório/RS, com os novos dados coletados, por meio de pesquisa social (FLICK, 2013), agrega-se outros autores à essa linha de pesquisa em andamento, como Dardel (2011) e Tuan (2012), que através dos conceitos de geograficidade e topofilia, respectivamente, tratam das relações afetivas dos seres humanos com o lugar. Acrescenta-se a estratégia de levantamento em diferentes mídias sobre a paisagem neste município com os aerogeradores, a fim de investigar a influência do discurso dos meios de comunicação nas falas locais, tendo como parâmetro Bachelard (1996) e Bourdieu (2007) no sentido da diferenciação entre o saber científico do senso comum. Igualmente, contextualizamos as lógicas territoriais de implantação desse complexo eólico, assim como a interface paisagem – processo de produção mental – e território – produto do processo de produção em escala 1/1 (RAFFESTIN, 2010) enquanto fatores incidentes na percepção desse estudo de caso (BIER, 2013).

Na pesquisa sobre a *Valoração da Beleza Cênica da Paisagem do Bioma Pampa do Rio Grande do Sul: Proposição Conceitual e Metodológica* analisamos os significados e a importância da beleza cênica, identificamos e analisamos os critérios da qualidade cênica das paisagens, investigamos a origem da proteção das paisagens nas legislações nacional e internacionais e construímos um instrumento metodológico, além de um mapa para identificar as belezas cênicas do bioma Pampa, no estado do Rio Grande do Sul (Brasil). Sobre os significados da beleza cênica fez-se uma reflexão do significado de belo, de sublime e de pitoresco até a formação da disciplina da estética, a partir das teorias do pensamento filosófico ocidental. Baseou-se nos filósofos e teólogos Platão, Aristóteles, Portino, Santo Agostinho, São Tomás de Aquino, John Locke, David Hume, Alexander Baumgarten, Uvedale Price, William Gilpin, Richard Knight, Edmund Burke, Immanuel Kant, Georg Hegel e Edgar Kirchof. Na construção do referencial teórico para a estética da paisagem foi elaborada com base em autores que possuem um entendimento estético e científico da estética da paisagem, quanto da estética da natureza, tais como Georg Simmel, Joachim Ritter, José María Sánchez de Muniaín, Ronald Hepburn, Rosário Assunto, Nicolas Grimaldi, Alain Roger, Augustin Berque, Eugênio Turri, Allen Carlson, Yuriko Saito, Malcom Budd, Arnold Berleant, Martin Sell, Paolo D'Angelo, Luisa Bonesio e Gonçalo Ribeiro Telles. Seguindo, explanou-se por que, quando e como as paisagens começaram a despertar na sociedade a necessidade de proteção, principalmente das belezas cênicas. Elucidou-se a proteção dos patrimônios histórico e natural, quais foram os primórdios da constituição das áreas protegidas e sua internacionalização, da proteção da beleza artística e da beleza cênica da paisagem, como ocorreu o reconhecimento histórico da paisagem brasileira e quais são os sinônimos de beleza cênica e paisagem na legislação. A qualidade cênica da paisagem foi elaborada a partir da identificação das metodologias que existem para identificar as belezas cênicas das paisagens e quais são os critérios, os elementos básicos e quais são os fatores que alteram a percepção da paisagem, principalmente de Pierre Donadieu, Michel Perigord, Maria del M. B. Escribano et al. e Andres Muñoz-Pedros. A partir do levantamento bibliográfico para a fundamentação teórica, realizou-se a elaboração do instrumento de pesquisa com o intuito de identificar os critérios da definição das belezas cênicas das paisagens do bioma Pampa

do estado do Rio Grande do Sul, para ser aplicado aos entrevistados. Constitui-se uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório, com orientação analítico-descritiva e perceptiva, realizada mediante entrevistas semiestruturadas. Os resultados evidenciam que a qualidade cênica da paisagem pode ser analisada tanto de maneira objetiva quanto subjetiva. Foram identificadas cerca de 200 paisagens portadoras de beleza cênica e, portanto, se faz necessário a sua proteção pela sua estética e pelo seu significado ecológico, contribuindo assim para o patrimônio natural e cultural do Estado e o bem-estar social (VIEIRA, 2014).

Na pesquisa intitulada *Percepção Sobre a Água na Paisagem Urbana: Bacia Hidrográfica da Barragem Mãe D'água – Região Metropolitana de Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul*, o principal objetivo é saber qual a percepção que os moradores, trabalhadores locais, usuários e gestores públicos têm da água inserida na paisagem em uma bacia hidrográfica urbana (COSTA, 2002). A área de estudo é a bacia de captação da Barragem Mãe d'Água, localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), na divisa dos municípios de Porto Alegre e Viamão, no estado do Rio Grande do Sul. O estudo, também, tenta determinar se essas pessoas, através de sua percepção, têm consciência de que a água que chega às torneiras de suas casas, que é utilizada para seus diversos usos, deriva daquelas águas que passam pelos cursos d'água onde moram. Para atingir esse objetivo, partimos da hipótese de que o grau de percepção da população relacionado às questões ambientais, a paisagem e a água inserida na paisagem, o ciclo hidrológico, são influenciadas pela cultura (CORRÊA e ROSENDHAL, 1995), pelas condições socioeconômicas e pelo grau de instrução destas pessoas. A pesquisa baseia-se em dados do Índice de Qualidade das Águas (IQA) obtidos em três épocas distintas (1990/91, 2002 e 2007), onde foram feitas coletas para a determinação da qualidade de água em três pontos dessa bacia hidrográfica (TUTTI, 1995). Para o entendimento e a determinação do grau da percepção da paisagem urbana e, principalmente, da água na paisagem pelas pessoas que vivem nesta bacia hidrográfica, é aplicado um questionário elaborado a partir de entrevistas semiestruturadas (MINAYO, 2004). Os resultados estão espacializados em mapas temáticos, onde são incluídas as paisagens preferidas e aquelas que desagradam (Berque, 1998). Também são propostas intervenções, a partir da percepção dos entrevistados, que tenham o objetivo de qualificar o espaço urbano e a paisagem, principalmente aquelas em que a água está presente (RANGEL, 2008).

A pesquisa intitulada *Revelação da Paisagem Através da Fotografia: Construção e Aplicação de um Método: Porto Alegre vista do Guaíba* surge do anseio de compreender o fenômeno urbano na contemporaneidade, a partir de um prisma voltado para as dimensões culturais e simbólicas. Buscando lançar um olhar que atravesse e alcance as variadas construções e manifestações da cultura e do cotidiano, ao pensar que múltiplas camadas espaço-temporais se superpõem na paisagem, nas quais estão acomodadas de forma híbrida as diversas expressões relativas à interação sociedade-natureza, acredita-se ser possível perseguir os rastros que conduzirão ao entendimento da cidade como fenômeno em constante transformação. Para acessar os vestígios do passado e realizar um percurso no tempo, adotamos a imagem fotográfica como fonte para a investigação. Nesse encontro da paisagem e da fotografia, enquanto fenômenos visíveis, sob a inspi-

ração e referência filosófica o princípio da montagem de Walter Benjamin articulado aos fundamentos de conceituação e interpretação da paisagem trabalhados, principalmente, no campo da Geografia e da História em suas abordagens culturais, estabelecendo-se, assim, um diálogo com autores como Georg Simmel, Augustin Berque, Denis Cosgrove, Paul Claval, Michael Jakob, Alain Corbain, David Lowenthal, Paul Ricouer, Gaston Bachelard, entre outros. Como estudo de caso, utilizam-se fotografias de Porto Alegre vista do Guaíba em diferentes períodos, considerados emblemáticos em relação às transformações urbanas. Ao acessar as fotografias enquanto vestígios deixados como uma experiência sensível do mundo, a paisagem se revela, permitindo a apreensão de seus significados. Como estudo de caso, utilizamos as fotografias de Porto Alegre vista do Guaíba, em diferentes períodos, considerados emblemáticos em relação às transformações urbanas. Ao acessar as fotografias enquanto vestígios deixados como uma experiência sensível do mundo, a paisagem se revela, permitindo a apreensão de seus significados (COELHO, 2011).

A pesquisa intitulada *Evocar a Paisagem, Traduzir a Narrativa: Analogias entre Sistemas de Significação*, considera a inter-relação entre sujeito e território em um processo de percepção/representação, no qual se interseccionam esfera física, concreta e visual de um território com as memórias e referenciais culturais individuais e coletivas, situando-se dentro de uma abordagem fenomenológica. A inquietação científica parte do campo do urbanismo, no que se refere à utilização do conceito de paisagem na interpretação, ordenamento, planificação e gestão urbana e territorial. Entretanto, a fim de produzir uma interpretação da paisagem que se aproxime da percepção dos sujeitos, se investiga o campo filosófico, linguístico e literário do conceito de narrativa. A narrativa é um sistema aberto à memória coletiva, que se materializa na paisagem a través do tempo, toda vez que um grupo determinado inscreve cotidianamente suas trajetórias sobre um suporte físico e material, deixando suas marcas e contribuindo para a manutenção das relações identitárias com o lugar. A lógica com a qual se comporta a paisagem, como nasce e como evolui, está relacionada à estas narrativas porque para existir necessita estes olhares e interpretações dos indivíduos que interagem com o território. Neste sentido a pesquisa se desenvolve a través da analogia entre os conceitos de paisagem e narrativa, já que ambos estão apoiados sobre a experiência vivida e podem ser considerados como sistemas culturais de significação. A semântica dos discursos sobre a paisagem pode aportar aspectos operativos para a leitura e interpretação das paisagens contemporâneas, finalmente contribuindo com a inserção da população no processo de planificação e cidades e territórios. Alguns autores têm sido fundamentais para a construção desta abordagem fenomenológica da paisagem envolvendo a narrativa: Berque, Raffestin, Turri, Potteiger, Purinton, Ricoeur, Barthes, Bajtín, Benjamin, Halbwachs, Kundera, entre outros. A metodologia de pesquisa busca interpretar as narrativas de paisagens em processo de transformação, acolhendo a diversidade presente nos territórios de intersecção urbano-rural, decodificando os elementos e processos-chave que condicionam e ativam o projeto de cidade e território. Neste sentido são realizadas duas experiências metodológicas, utilizando-se um “percurso” que atravessa uma sequência de lugares diferentes entre si em termos sociais, culturais, urbanos e muitas vezes econômicos, compondo uma paisagem de diferentes territorialidades. A

primeira experiência se desenvolve em território catalão, através do percurso da antiga linha férrea da região que atravessa a interface entre a zona urbana e rural da cidade de Olot, capital da zona vulcânica de maior expoente da península ibérica. Nesta ocasião, utilizamos o discurso literário local sobre a paisagem, como modo de nos aproximarmos dessas peculiaridades do fenômeno neste território ao longo do tempo. A segunda experiência é realizada em território brasileiro, na cidade de Paraty, Rio de Janeiro. Neste caso o percurso de um dos rios mais importantes do município, o Perequê-Açú, é utilizado por ilustrar as tensões territoriais que compõe uma paisagem protegida pelos seus valores históricos, culturais e ambientais. Aqui, a principal ferramenta metodológica são os discursos orais de alguns personagens locais sobre a paisagem, nos quais é possível identificar uma complexa rede de subjetividades em relação a este “rio” de histórias que compõe o imaginário da cidade, um eixo que condiciona e ao mesmo tempo cria vida neste território em crescente transformação (CARON, 2016).

Na pesquisa intitulada *Dinâmica Espacial entre Paisagem Rural e Urbana no Entorno da Rodovia do Parque – RMPA/Canoas-RS*, buscamos apontar os diferentes aspectos possíveis da dinâmica espacial que se estabelece na paisagem entre o rural e o urbano, em regiões metropolitanas, identificando os elementos geográficos que tencionam as interfaces urbano-rural (SOUZA, 2013). O trabalho tem como objeto de estudo a BR-448 (Rodovia do Parque), que faz a ligação entre as cidades de Sapucaia do Sul e Porto Alegre, cortando os municípios de Canoas e Esteio. Com uma extensão de 28,88 km, a rodovia, que está associada à ampliação da infraestrutura viária da RMPA (Região Metropolitana de Porto Alegre), foi inaugurada em dezembro de 2013, tendo como objetivo desafogar o tráfego da BR 116. O plano de mobilidade estimula a expansão das áreas urbanas geradas pela facilidade de deslocamento em espaços rurais (MONTE-MÓR, 2011). Temos como objetivo observar e analisar como se processam as dinâmicas entre rural e urbano na transformação da paisagem da Rodovia do Parque, configurada como mosaico, colagem e recorte, considerando a paisagem como tecido ou pele em transformação contínua dentro do tempo e das dinâmicas socioculturais em atuação com o espaço geográfico, considerando as relações possíveis desde a concepção teórica, passando pelo indivíduo até o grupo social na relação, compreensão e inserção na paisagem. Os diferentes aspectos que envolvem a relação entre rural e urbano e sua complexidade ganham uma perspectiva escalar específica quando analisados pela leitura da paisagem. O método de leitura da paisagem é o da paisagem perceptiva, que está associada aos esquemas simbólicos, da imaginação e da abstração relacionados aos aspectos topofílicos da paisagem (TUAN, 1980). O trabalho de campo com as entrevistas e os registros descritivos, gráficos e fotográficos, associados à análise cartográfica, são comparados à documentação administrativa (Plano Diretor de Canoas), informação jornalística e bibliográfica sobre a área estudada. Após o levantamento e a análise dos dados será feito o diagnóstico, em que serão determinados os principais pontos de tensão entre paisagem urbana e rural, suas possíveis implicações, aspectos morfológicos e as tipologias das diferentes UP's, considerando as dinâmicas estabelecidas após a implantação da Rodovia do Parque, como elemento de tensão entre campo e cidade (LINCK, 2016).

Na pesquisa sobre *A Paisagem em Circulação: o Imaginário e o Patrimônio Paisagístico de São Francisco do Sul em Cartões-postais (1900 – 1930)* tratamos duas temáticas

principais: a paisagem e o imaginário. Esta investigação buscou identificar valores patrimoniais na paisagem, reconhecendo-a como um bem cultural – que envolve os conceitos de patrimônio material, imaterial e natural – e buscou os traços e registros do passado que identificassem as atribuições de valor à paisagem da cidade de São Francisco do Sul, no estado de Santa Catarina, do início do século XX, bem como seus elementos mais representativos, suas identidades e seus lugares de memória. O estudo deu-se a partir da análise da representação da paisagem de São Francisco do Sul em cartões-postais produzidos e circulados no período de 1900-1930, entendendo o estudo das representações como um meio de aproximação à paisagem (ROGER, 1997) e ao imaginário da época (PESAVENTO, 2002). Adotamos uma visão integradora da paisagem, considerando tanto suas características subjetivas/simbólicas como suas características objetivas/morfológicas. Sendo assim, montamos uma grade interpretativa que possibilitou a análise de descritores icônicos, baseados principalmente nos critérios de análise de paisagem de Martínez de Pisón (2006), e descritores sociais e de circulação. A interpretação dos dados revelou que a paisagem estudada é possuidora de valores patrimoniais que foram entendidos como valores estéticos, valores naturais e ecológicos, valores produtivos, valores de uso social, e valores simbólicos e identitários (MARTINS, 2008).

Na pesquisa intitulada: *Por uma Geografia da Música: o Espaço Geográfico da Música Popular Platina*, consideramos a fronteira e sua paisagem como um mote para a criação. A pesquisa abarcou um estudo de representações sociais de um grupo de compositores do espaço platino, seus discursos em shows, entrevistas e no texto das canções. O espaço platino é tido como um espaço sul-americano situado na confluência de três países: Argentina, Brasil e Uruguai. Desenvolvendo uma aplicação e adaptação da etnografia multilocalizada de Marcus (1995), realizou-se trabalhos de campo em cidades como Buenos Aires, Porto Alegre, Montevideú, Pelotas, entre outras, buscando compreender as paisagens representadas nas canções e nas falas dos artistas (PANITZ, 2010, 2013). Com isso, pode-se chegar em dois eixos básicos de interpretação. Inicialmente os elementos da paisagem (a topografia, o clima, a vegetação, os rios, as toponímias, os tipos culturais) são evocados para construir uma identidade de base geográfica para a música – a isso chamamos de representações *geografizantes*. Logo após, percebe-se a elaboração dessas representações encadeadas com outras, de cunho *territorializante*. Nestas, os artistas não só evocam a paisagem como afirmam um território no qual possa circular sua música – um território transfronteiriço, possibilitado pelo jogo de semelhanças e diferenças contidas na construção das identidades territoriais do sul do Brasil, do Uruguai e da Argentina, originadas pela cultura do gaúcho/*gaucho* desenvolvida a partir do século XVII na região pampiana. Advogando para si uma paisagem e seu respectivo território, os artistas desenvolvem uma música popular ligada à música *pop* global, porém repleta de representações sobre a geografia do espaço platino e de nuances estético-musicais originadas no cancionário platino (a milonga, o tango, o chamamé, a chimarrita, entre outros). A paisagem pampiana, portanto, torna-se contemporânea, afirmativa em seu valor estético e artístico, ponto de partida para uma elaboração cultural que integra distintos países que, nas disputas historiográficas que delimitaram seus contornos identitários e geográficos ao final do século XIX, excluiu a diversidade das fronteiras. Por certo, estamos atentos aqui ao imenso valor dos produtos culturais – a música, a literatura, o cinema, a

fotografia – para o estudo das paisagens (PANITZ, 2012), como bem defendem geógrafos como Berque (1998) e Cosgrove (1998).

Na pesquisa intitulada *A Imagem da Paisagem: a Territorialização Platina no Cinema*, partimos da ideia de paisagem enquanto imagem de um território e buscamos entender que paisagem do sul da América do Sul é configurada através de imagens de produções cinematográficas argentinas, brasileiras e uruguaias. Entendemos que a paisagem é uma construção social formada a partir de vivências diretas, dos cinco sentidos em contato com determinado espaço geográfico, mas que também pode ser construída através da experiência indireta, por meio do contato do indivíduo com essa paisagem através de diferentes meios, seja a literatura, a música, a fotografia, a pintura ou o cinema (BESSE, 2006; COSGROVE, 1989; RAFFESTIN, 2005). Sendo assim, entendemos a paisagem não como matéria, mas sim como uma imagem dessa matéria, seja no plano artístico ou no científico. Compreendendo que a paisagem encontra sua afirmação como imagem, investigamos a constituição da paisagem através da análise do discurso da imagem, mais especificamente, no caso desta pesquisa, através do discurso audiovisual. Para a seleção dos filmes analisados, são seguidos alguns critérios, como o reconhecimento da obra em instâncias culturais e/ou econômicas (BOURDIEU, 1996), e o uso da paisagem no filme para além de mero cenário (LEFEBVRE, 2006). Após a seleção, segundo Martínez de Pisón, (2006) é feita uma análise das paisagens de cada obra, dentro das categorias propostas: estrutura, forma, função/relação externa, elementos, evolução/dinâmica, unidades e conteúdo (MARTINS, 2014).

Na pesquisa intitulada *Lugar do Turista na Leitura da Paisagem Geográfica e sua Relação com o Ensino da Geografia* residui na investigação das relações entre o ensino de geografia e o turismo, com o foco da pesquisa direcionado para os conceitos geográficos e as representações sociais contidas na leitura da paisagem e na construção do lugar. A reflexão teórica foi sustentada pelos conceitos da geografia cultural, do saber-fazer do turismo, do ensino de geografia, da teoria das representações sociais, da paisagem e de lugar. O enfoque da paisagem tem como principais guias os conceitos de Augustin Berque (1998), J. M. Besse (2006), Antonio C. Castrogiovanni (2004), Denis Cosgrove (1998), Ulpiano T. B. de Meneses (2002) e Roberto Verдум (2012). Com o método do paradigma da complexidade, pesquisamos as dinâmicas do espaço estudado, ambientado no município litorâneo de Garopaba, estado de Santa Catarina. A metodologia utilizada foi composta de pesquisa qualitativa, na qual trabalha-se, sobretudo, a partir de narrativas das entrevistas episódicas que revelam as leituras da paisagem pelos sujeitos entrevistados e as possibilidades para os sujeitos se *lugarizarem*. A noção de construção do lugar é tecida à paisagem, com base em que podemos ler e compreender os processos da paisagem, podemos tecer laços com o lugar, e se nos *“lugarizamos”* passamos a cuidar do ambiente. A importância do ensino de Geografia proporciona a contestação no sentido de uma transgressão das formas já agendadas, possibilitando lermos o mundo com reflexão, criatividade e autonomia, fomentando a (auto) descoberta, as compreensões mútuas e a valorização das identidades que se encontram no turismo. Em trilhas turísticas interpretativas o trabalho se dá em sentido inverso, partimos do que nosso olhar descobre no ambiente, para levarmos aos visitantes, com recursos didáticos que visam aproximar as pessoas do ambiente, buscando

que as nossas relações sejam repensadas e mais integradas ao desenvolvimento pleno da vida (DA SOOLER, 2012).

A pesquisa intitulada *Cataratas do Iguaçu: Experiências e Registros de uma Paisagem Turística* possui como pontos de partilha o Paradigma da Complexidade e a Geografia Cultural. Com o objetivo de analisar os significados que os sujeitos atribuem à experiência geográfica das Cataratas do Iguaçu (Brasil/Argentina) desde sua intencionalidade turística, recorreu-se aos princípios da Complexidade de Morin (2003a, 2003b, 2008a, 2008b): dialógica, recursividade e hologramática. Os procedimentos investigativos basearam-se no instrumental da pesquisa qualitativa e a revisão bibliográfica nas categorias: Espaço Geográfico, Turismo, Paisagem e Geograficidade. Para a categoria de paisagem utilizamos Berque (1995, 1998), Besse (2006) e Meneses (2002). Há o predomínio de narrativas visuais, em especial a fotografia. Os espaços visitados são um palco, onde se desenvolve uma trama ou uma sequência de ações que irá compor a narrativa de viagem. Em um movimento em que, o estar imbricado naquele conjunto, atribui aos próprios sujeitos determinadas significações associadas à paisagem visitada. As representações paisagísticas feitas pelos visitantes permitem prolongar e recordar sua experiência turística, mas também inscrevem significados no espaço visitado e na identidade pessoal do sujeito turista (PIMENTEL, 2010).

Na pesquisa intitulada *Onde o Turismo Encontra as Paisagens de Água: Significados e Práticas na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil*, os objetivos desta investigação buscam analisar as relações entre sujeitos, turismo e paisagens de água da laguna dos Patos/RS, através das percepções, sensações e significações elaboradas pelos sujeitos, direta ou indiretamente envolvidos com o turismo, tratando de identificar os valores e representações atribuídos às paisagens de água (MUÑOZ e AZÓCAR, 2014). Com isso, pretendemos compreender a força de atração que a água exerce nos sujeitos, suas preferências e práticas, e suas leituras diante das possibilidades de encontros e/ou conflitos entre o turismo e as paisagens de água. A partir da entrevista episódica (FLICK, 2009) buscamos revelar os componentes de dimensão sensível, afetiva e simbólica da paisagem (BERQUE, 1990), expressos nas narrativas dos diferentes sujeitos investigados, e, com isso, aproximar-se dos sentidos dos encontros contemporâneos entre turismo e águas. Sob o enfoque do Paradigma da Complexidade, buscamos integrar os conhecimentos especialmente da Geografia e do Turismo, refletindo a complexidade das relações dos sujeitos com as paisagens de água, e, também, problematizando o potencial paisagístico e turístico das águas interiores no Rio Grande do Sul (RUDZEWICZ, 2016).

A pesquisa intitulada *As Narrativas das Percepções e Conectividades de Caminhantes nas Paisagens dos Areais Pampeanos: Perspectivas Ambientais para a Geração de Ambiências* se desenvolve nas paisagens pampeanas com areais, sudoeste sul-rio-grandens, onde professores, alunos e pesquisadores são convidados a expressarem e decompor o indivisível caleidoscópio paisagístico (COSGROVE, 1998); olhares, esses, repletos da trajetória de vida, impregnados pelas histórias pessoais, pela cultura estabelecida e perspectivas que o observador-interativo tem do conjunto: observável que observa. Fruto de uma abordagem do pensar complexo (MORIN, 2000), referenciado segundo os princípios dialógico, o recursivo e o hologramático, configura-se a ambiência em campo. Essa última envolve diferentes atores sociais vinculando-os a paisagem dos areais, proporcio-

nando uma leitura transversal dos significados por trás de um manifesto primeiro (REGO, 2000), das representações ambientais da paisagem. O grupo participativo, protagonistas nesse *Tao* (caminho), revelou instantes de “*coinspiração*” (MATURANA, 2001), no sentido de conspiração às ideias estabelecidas e de co-inspiração na criação de novas possibilidades de ação dos cidadãos (REIGOTA, 2002) junto a essas singulares paisagens sulistas (SILVA, 2008).

A pesquisa *Paisagem Cultural: o Patrimônio Cultural Brasileiro sob Novas Perspectivas* visa problematizar o entendimento da paisagem a partir de um viés patrimonial, com a introdução da categoria de Paisagem Cultural na Lista do Patrimônio Mundial da Unesco, em 1992, e no rol de instrumentos de preservação patrimonial no Brasil, com a adoção da Paisagem Cultural Brasileira pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), em 2009. Ao possuir seu cerne conceitual na relação entre seres humanos e meio ambiente, e nas manifestações físicas e simbólicas decorrentes desta relação, a figura da Paisagem Cultural parece questionar as dicotomias correntes entre as interfaces material e imaterial dos bens patrimoniais, bem como a tradicional divisão entre natural e cultural. Neste sentido, busca-se analisar quais os efeitos do processo de patrimonialização de Paisagens Culturais no que se refere à preservação do aspecto formal da paisagem (sua manifestação material), e no que se refere aos usos que dela fazem as populações que a produzem e reproduzem, uma vez que, segundo Meneses (2002), é nos usos que se concentram os significados mais profundos da paisagem. Para tanto, discute-se o surgimento da noção de paisagem na pintura, sua consolidação enquanto conceito científico (principalmente na Geografia), sua presença em cartas e convenções patrimoniais, e a experiência da Unesco e, principalmente do IPHAN, na gestão de Paisagens Culturais Brasileiras. Utiliza-se como metodologia estudo de caso dos núcleos rurais de Testo Alto (em Pomerode) e Rio da Luz (em Jaraguá do Sul), no Estado de Santa Catarina (a única Paisagem Cultural certificada até o momento), e da Foz do Rio São Francisco (COSTA, 2016). Entre os autores que subsidiam a discussão estão: Cauquelin (2007); Cosgrove (1998); Berque (1998); Ribeiro (2007); Poulot (2009); Prats (1998); Chuva (2009); e Fonseca (2009).

Na pesquisa intitulada *Patrimônio e Planejamento: Aproximações a Partir da Paisagem*, busca-se entender como a paisagem participa na criação de identidades. Ela se desenvolve a partir de uma leitura do espaço a partir da paisagem, assumida como conceito que trata de forma indissociável cultura e natureza, e por isso capaz de explorar aspectos não considerados comumente na interpretação, e por consequência, no planejamento do território (MATA OLMO, 2006). A investigação distingue duas perspectivas essenciais de interpretação da paisagem a contar por sua base teórica – a científica e a social – (POMAR, 2010) enfatizando esta última para discutir valores e subsidiar uma aproximação técnica mais ampla (JACKSON, 1970; NOGUÉ, 2007; LUNGIBÜHL, 2008; LUNGIBÜHL, 2009). Com base em investigações anteriores (SCHWERZ, 2009, 2010, 2013), desenvolve-se um estudo de caso que utiliza o município de Agudo (no estado do Rio Grande do Sul) adotando uma abordagem complementar que busca vincular a estrutura reconhecida jurídica e institucionalmente para o tratamento da paisagem com a experiência da população local, integrando as dimensões histórica e estética que conformam tais paisagens. Os questionários e as entrevistas demonstram diferentes olha-

res, usos e valores que contém o território, denunciando aparentes contradições entre patrimônio tradicionalmente reconhecido e a importância que a paisagem assume no contexto local (SCHWERZ, 2012).

Na pesquisa que trata das *Paisagens em Transformação: da Percepção à Técnica. Estudo sobre Avanços de Áreas de Soja nos Municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana/RS*, buscamos como objetivo analisar e discutir sobre as transformações da paisagem dos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana, no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. A área empírica para a análise foi delimitada através de um polígono localizado na rodovia RSC-377, que conecta os municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis. A rodovia foi selecionada devido a uma notável alteração da paisagem: a crescente presença de lavoura em comparação ao campo destinado à pecuária. Isto revela elementos marcadores da paisagem (BERQUE, 1998) que justificam as transformações no espaço geográfico do Pampa. Nessa perspectiva, adotamos como metodologia a busca de indicadores de percepção da paisagem (BESSE, 2006). A análise parte da percepção dos produtores locais que possuem ação direta na transformação de suas propriedades. Com isso, realizamos o levantamento de elementos que evidenciam as alterações geo-históricas na paisagem e, conseqüentemente, no processo produtivo das propriedades. A investigação segue a partir da leitura da paisagem dos produtores, na busca de dados primários. Para isso, construiu-se um questionário que auxiliasse na definição dos indicadores de percepção da paisagem. A partir dos diálogos e do questionário identificamos as percepções dadas aos elementos que compõem as paisagens de referência dos produtores entrevistados. Neste sentido, a análise da percepção serve para investigar como as suas transformações podem alterar na leitura dos produtores, sobretudo, com relação a sua propriedade e a sua paisagem de referência. Com isso, obtém-se a escala temporal sobre o processo geo-histórico de transformações da paisagem (OKIDO, 2016).

Finalizando, visualizamos prospectivamente que a paisagem, enquanto categoria de análise científica multidisciplinar, tem se mostrado um caminho possível para concatenar diferentes meios e atores do espaço, distinguindo valores econômicos, estéticos, históricos, simbólicos, ambientais, etc., evidenciando com mais clareza os reflexos que estes podem – ou deveriam – ter para o planejamento e a gestão do território.

Conclusão

O uso de paisagem enquanto categoria de análise do espaço pode ser considerado recente, despertando grande interesse a partir do início do século XX, nas discussões de geógrafos alemães e franceses distinguidos como *naturalistas*. Duas abordagens foram recorrentes, uma que prioriza a *morfologia* da paisagem (paisagem concreta), estabelecida no início do século XX, e aquela voltada para a *simbologia* da paisagem (paisagem fenômeno), que começa a ganhar destaque no final dos anos 1960.

Atualmente, a distância existente entre o entendimento da paisagem como estudo material e o entendimento da paisagem como estudo simbólico, não encontra espaço na atual noção de paisagem, por ser justamente na relação entre a forma e seu valor como símbolo que reside o avanço desta aproximação conceitual.

Com algumas dissonâncias típicas de um conceito e de uma categoria de análise, ainda em fase de afirmação, a paisagem acaba por ser adotada em diversos campos do conhecimento, tal qual território: arquitetura, artes, ecologia, economia, história, geografia, planejamento, sociologia, turismo, entre outras.

Ao cruzar as diversas metodologias de pesquisa do *Pagus* percebemos que, de diferentes modos e medidas, cada investigação busca relacionar a ideia de paisagem concreta e paisagem fenomenológica, ora trazendo a dimensão cultural para uma pesquisa centrada na paisagem material, ora buscando resultados operativos e estratégicos de planejamento territorial, em uma pesquisa dedicada às subjetividades da paisagem imaginada.

Fica evidente, a partir da análise das diversas correntes, que as diferentes perspectivas sobre a *paisagem* dependem da posição filosófica adotada pelo pesquisador e o grupo com quem ele dialoga. Ao mesmo tempo, é importante ter em mente que os conceitos e as metodologias, muitas vezes, crescem em complexidade com o passar do tempo, e estão sujeitos à dinâmica que é própria da evolução do pensamento científico e artístico.

Referências Bibliográficas

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARTHES, R. Introducción al análisis estructural del relato. In: NICCOLINI, S. (Comp.) *El análisis estructural*. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina, 1977.

BAJTÍN, M. Las formas del tiempo y del cronotopo en la novela. In: *Teoría y estética de la novela*. Madri: Taurus, 1989, p. 237-409.

BENJAMIN, W. O narrador. In: *Magia e técnica, arte e política. Ensaio sobre literatura e história da cultura*. Obras Escolhidas, volume 1. São Paulo: Brasiliense, 1994, p. 197-221.

BERQUE, A. *Les raison du paysage: de la Chine antique aux environnements de synthèse*. Paris: Házan, 1995.

_____. Paisagem-marca, paisagem-matriz: elementos da problemática para uma geografia cultural. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Orgs.). *Paisagem, tempo e cultura*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998, p. 84-91.

_____. *El pensamiento paisajero*. Madri: Biblioteca Nueva, 2009.

BESSE, J. M. Las cinco puertas del paisaje. Un ensayo de una cartografía de las problemáticas paisajeras contemporáneas. In: MADERUELO, J. (Org.). *Paisaje y pensamiento*. Madri: Abada Editores, 2006.

BERQUE, J. M. *Ver a terra: seis ensaios sobre a paisagem e a geografia*. São Paulo: Perspectiva, 2006 (1. ed. em francês 2000).

BIER, L. *Estudo da paisagem: implantação de aerogeradores em Tapes/RS*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BOURDIEU, P. *Razões práticas: sobre a teoria da ação*. São Paulo: Papirus, 1996.

CARON, D. *Interpretación del paisaje a través de la lógica narrativa la Garrotxa como caso de estudio*. Tesina de Master de Investigación em Urbanismo. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori, Univerisitat Politècnica de Catalunya, 2010.

COELHO, L. C. *Revelando a paisagem através da fotografia: construção e aplicação de um método — Porto Alegre vista do Guaíba*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

CORRÊA, R. L.; ROSENDHAL, Z. *Espaço e Cultura*. Rio de Janeiro: EdUERJ/Nepec, 1995.

COSGROVE, D.; DANIELS, S. *The iconography of landscape: essays on the symbolic representation, design and use of past environments*. Cambridge: Cambridge USA, 1989.

COSTA, L. C. N. *Turismo e paisagem cultural: para pensar o transfronteiriço*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Turismo, Universidade de Caxias do Sul, 2011.

COSTA, L. M. Rios urbanos e valores ambientais. In: *Projeto do lugar*. Rio de Janeiro: Contra Capa/Proarq, 2002.

DA SOLLER, J. M. *O lugar do turista na leitura da paisagem geográfica e sua relação com o ensino de geografia?* Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

DONADIEU, P.; PERIGORD, M. *Clés pour le Paysage*. Paris: Geophrys, 2005. Disponível em: <<http://rge.revues.org/353>>. Acesso em: 1 jun.2016.

ESCRIBANO, M. del M.B.; DE FRUTOS, M; IGLESIAS, E.; MATAIX, C.; TORRECILLA, I. *El Paisaje*. Madri: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Centro de publicaciones, 1991.

HALBWACHS, M. *Los marcos sociales de la memoria*. Barcelona: Anthropos, 2004.

KUNDERA, M. *El arte de la novela*. Barcelona: Tusquets, 2006.

LEFEBVRE, M. *Landscape and film*. Nova York: Routledge, 2006.

LINCK, J. L. *Dinâmica espacial entre paisagem rural e urbana no entorno da Rodovia do Parque — RMPA/Canoas-RS*. Projeto de Qualificação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

LUGINBÜHL, Y. Las representaciones sociales del paisaje y sus evoluciones. In: MADRUELO, J. (Dir.). *Paisaje y territorio*. Madri: Abada Editores, 2008.

LUNGIBÜHL, Y. Indicadors socials del paisatge. In: NOGUÉ, J.; PUIGBERT, L.; BRETCHA, G. (Eds.). *Indicadors de paisatge. Reptes i perspectives*. Olot: Observatori del Paisatge de Catalunya, 2009.

MATURANA, H. *A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana*. São Paulo: Palas Athenas, 2001.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E. Los componentes geográficos del paisaje. In: MADRUELO, Javier (Org.). *Paisaje y pensamiento*. Madri: Abada Editores, 2006.

MARTINS, M. C. *A imagem da paisagem: a territorialização platina no cinema*. Projeto de Qualificação de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

_____. *Paisagem em circulação: o imaginário e o patrimônio paisagístico de São Francisco do Sul em cartões-postais (1900-1930)*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

MARCUS, G. E. *Ethnography in/of the world system: The emergence of multi-sited ethnography*. Annual review of anthropology, 1995.

MENESES, U. A paisagem como fato cultural. In: YÁZIGI, E. (Org.). *Turismo e paisagem*. São Paulo: Contexto, 2002.

MINAYO, M. C. S. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2004.

MONTE-MÓR, R. L. de M. A relação urbano-rural no Brasil contemporâneo. In: RANDOLPH, R.; SOUTHERN, B. (Orgs.). *Expansão metropolitana e transformação das interfaces entre cidade, campo e região na América Latina*. São Paulo: Max Limonad, 2011.

MORIN, E. A noção de sujeito. In: MORIN, E. *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003a, p. 117-128.

_____. Da necessidade de um pensamento complexo. In: MENEZES, F.; MACHADO, J. (Orgs.). *Para navegar no século XXI*. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2003b, p. 19-42.

_____. *O método 3: conhecimento do conhecimento*. 4. ed. Porto Alegre: Sulina, 2008a.

_____. *Introdução ao pensamento complexo*. 5. ed. Lisboa: Piaget, 2008b.

_____. *A inteligência da complexidade*. São Paulo: Peirópolis, 2000.

MUÑOZ-PEDREROS, A. Avaliação da paisagem: uma ferramenta para a gestão ambiental. *Revista Chilena História Natural*, Santiago, v. 77, n. 1. Março de 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>>. Acesso em: jan. 2014.

NOGUÉ, J. *La construcción social del paisaje*. Madri: Biblioteca Nueva, Colección Paisaje y Teoría, 2007.

OKIDO, R. H. *Paisagens em transformação: da percepção à técnica. Estudo sobre avanços de áreas de soja nos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana/RS*. Projeto de Qualificação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

PANITZ, L. M. *Por uma geografia da música: o espaço geográfico da música popular platina*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

_____. O estudo da paisagem e suas representações a partir de produtos culturais. In: VERDUM, R.; VIEIRA, L. F. S.; PINTO, B. F.; SILVA, L. A. P. (Orgs.). *Paisagem: leituras, significados e transformações*. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

_____. Pratiques musicales, représentations et transterritorialités en réseau entre l'Argentine, le Brésil et l'Uruguay. *Géographie et cultures*, n. 88, p. 149-168, 2013.

PESAVENTO, S. *O imaginário da cidade — visões literárias do urbano: Paris, Rio de Janeiro, Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

PIMENTEL, M. R. *Cataratas do Iguaçu: experiências e registros de uma paisagem turística*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

PRATS, L. El concepto de patrimonio cultural. *Política y Sociedad*, Madri, n. 27, p. 63-76, 1988. Disponível em: <<http://www.antropologiasocial.org/contenidos/publicaciones/otautores/prats%20el%20concepto%20de%20patrimonio%20cultural.pdf>>. Acesso: 14 set.2014.

POULOT, D. *Uma história do patrimônio no ocidente, séculos XVIII-XXI: do monumento aos valores*. Tradução de Guilherme João de Freitas Teixeira. São Paulo: Estação Liberdade, 2009.

POMAR, L. C. Reflexiones sobre la valoración del paisaje. In: MADERUELO, Javier (Org.). *Paisaje y Patrimonio*. Madri: Abada Editores, 2010.

POTTEIGER, M., PURINTON, J. *Landscape narratives. Design practices for telling stories*. Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

RAFFESTIN, C. *Dalla nostalgia del territorio al Desiderio di paesaggio — elementi per una teoria del paesaggio*. Florença: Alinea Editrice, 2005.

RANGEL, M. L. *A percepção sobre a água na paisagem urbana: bacia hidrográfica da barragem Mãe d'água — Região Metropolitana de Porto Alegre/RS*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

REGO, N. (Org.) Geografia e educação: geração de ambiências. In: REGO, N. *Apresentando um pouco do que sejam ambiências e suas relações com a geografia e a educação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS, 2000.

REIGOTA, M. *Meio ambiente e representação social*. São Paulo: Cortez, 2002.

RICOEUR, P. Arquitectura y narratividad. In: MUNTAÑOLA, J. *Arquitectonics: Arquitectura y hermenéutica*. Barcelona: Edicions UPC, 2003

ROGER, A. *Court traité du paysage*. Bibliothèque des Sciences Humaines. Paris: Éditions Gallimard, 1997.

RUDZEWICZ, L. *Onde o turismo encontra as paisagens de água: significados e práticas na laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil*. Projeto de Qualificação de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SCHWERZ, J. P. *Patrimônio e planejamento: aproximações a partir da paisagem*. Projeto de Qualificação de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

_____. *Valores e conflitos na preservação do patrimônio cultural: o olhar técnico e o olhar comum na identificação do patrimônio arquitetônico de Agudo — RS*. Dissertação (Mestrado) — PGAU-Cidade, UFSC, Florianópolis, 2009.

_____. *Apreensão da paisagem como patrimônio a partir do olhar comum: estudo de caso em Agudo-RS*. Anais do I Colóquio Iberoamericano Paisagem cultural, patrimônio e projeto — Desafios e perspectivas: Belo Horizonte-MG, 2010.

_____. Valores e conflitos na identificação do patrimônio arquitetônico de Agudo-RS. In: CASTELLS, A.; NARDI, L. (Orgs.). *Patrimônio cultural e cidade contemporânea*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013, p. 213-234.

Roberto Verdum, Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e Maurício Ragagnin Pimentel

_____. *Patrimônio e planejamento: aproximações a partir da paisagem*. Projeto de Qualificação de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

SILVA, L. A. P. *Narrativas das percepções e conectividade de caminhantes nas paisagens dos areais pampeanos: perspectivas ambientais para geração de ambiências*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SOUZA, M. L. *Os conceitos fundamentais da pesquisa socioespacial*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil LTDA, 2013.

TUAN, Y. *Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente*. São Paulo: Difel, 1980.

TURRI, E. *Il paesaggio come teatro*. Venezia: Marsilio, 1998.

TUTTI, E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Orgs.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995.

VIEIRA, L. F. S. *A valoração da beleza cênica da paisagem no bioma Pampa do Rio Grande do Sul: proposição conceitual e metodológica*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

VERDUM, R.; VIEIRA, L. F. S.; PINTO, B. F.; SILVA, L. A. P. (Orgs.). *Paisagem: leituras, significados e transformações*. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

ZUBE, E. H. *Landscapes: Selected writings of J. B. Jackson*. Massachusetts University of Massachusetts Press, 1970.

Recebido em: 15/06/2016

Aceito em: 19/06/2016

¹ Mais informações: <https://pagusufrgs.wordpress.com>.

Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos

Geodiversity, Geotourism and Geoconservation: Concepts, Theories and Methods

Maria do Carmo Oliveira Jorgeⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Antônio José Teixeira Guerraⁱⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar os conceitos, as relações e a importância da geodiversidade, do patrimônio geológico, do patrimônio geomorfológico, do geoturismo e da geoconservação. A metodologia foi baseada em consulta bibliográfica de artigos, livros, teses e dissertações pertinentes ao tema. Esses conceitos têm sido cada vez mais adotados no campo das Geociências, já que geoconservação dos elementos naturais, compostos por elementos abióticos, constitui uma necessidade para a manutenção da qualidade de vida das espécies no planeta, assim como podem levar à compreensão da origem e evolução deste planeta. A geodiversidade, representada pelos elementos abióticos (substrato geológico, formas da paisagem), também é dotada de valores e o conjunto dessas geofomas representa o patrimônio de uma determinada área. Como forma de disseminar esses valores, o geoturismo surge como uma ferramenta e também um grande desafio, como visto por alguns autores, na divulgação e popularização das Ciências da Terra.

Palavras-chave: Geoconservação; Geodiversidade; Patrimônio Geológico e Geomorfológico; Geoturismo.

Abstract: This paper aims to present concepts, relations and the role of geodiversity, geologic heritage, geomorphological heritage, geotourism and geoconservation. The methodology is based on literature review from articles, books, PhD thesis and MSc dissertations, related to this issue. These concepts have been adopted within the geosciences, since geoconservation of the natural elements, composed by abiotic elements, constitutes a necessity to maintain life quality of the planet species, such as they may lead to the understanding of the planet origin and evolution. Geodiversity, represented by the abiotic elements (rock outcrop and landforms) has a group of geofoms, or geosi-

ⁱ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFRJ). orofila@gmail.com.

ⁱⁱ Professor Titular do Departamento de Geografia. antoniotguerra@gmail.com.

tes, which represent the heritage of a certain area. As a way of spreading these concepts, geotourism constitutes a tool, and also a challenge, seen by some authors, in publicizing the Earth Sciences.

Keywords: Geoconservation; Geodiversity; Geologic and Geomorphological Heritage; Geotourism.

Introdução

Embora registros apontem ações direcionadas à valorização e divulgação da geodiversidade, a partir de práticas conservacionistas dos elementos abióticos, há mais de 100 anos, é somente a partir das últimas décadas que pesquisas de cunho geoconservacionista vêm ganhando destaque no mundo científico. A geodiversidade, antes preterida em detrimento da biodiversidade, nas últimas décadas vem sendo trabalhada por diferentes especialistas, assim como têm sido reconhecidas as relações entre a biodiversidade e geodiversidade (SANTUCCI, 2005).

Assim como geoconservação e geodiversidade, conceitos como patrimônio geológico, patrimônio geomorfológico e geoturismo têm sido abordados nos últimos anos, e mostram que a ciência pode auxiliar na educação, na conservação e no desenvolvimento econômico de uma determinada área (HOSE, 1995, 2000, 2012; BRILHA, 2005; MOREIRA e BIGARELLA, 2008; MOREIRA, 2008; MORA FILHO e RUAS, 2008; MANSUR, 2009; DOWLING, 2010; GODINHO et al., 2011; MOREIRA, 2014; FARSANI et al., 2012, 2014; OLLIER, 2012, NASCIMENTO et al, 2015).

Dessa forma, as bases conceituais têm como ponto de partida a discussão a respeito da geodiversidade, patrimônio geológico-geomorfológico e o papel do geoturismo como um novo segmento do turismo sustentável e, por fim, a importância da geoconservação seja na escala global ou local, como um novo paradigma voltado à sustentabilidade. Trabalhos de cunho acadêmico, no campo das Geociências, têm se tornado a contrapartida para a divulgação da geodiversidade e sua geoconservação, bem como o geoturismo a atividade aliada à conservação dos ambientes naturais.

Geodiversidade

A geodiversidade sempre teve um papel fundamental nas atividades dos seres vivos. As complexas relações entre geologia, processos naturais, formas de relevo, solos e clima sempre foram condição *sine qua non* para a distribuição dos habitats e das espécies. Os recursos naturais também sempre foram essenciais para a sociedade e o crescimento econômico.

A origem do termo geodiversidade surgiu na década de 1990, na Austrália, com Sharples e foi definida como a diversidade das feições e dos sistemas da Terra sendo expandida mais tarde para diversidade geológica, geomorfológica, feições pedológicas, sistemas e processos (KUBALIKOVÁ, 2013).

A respeito do seu conceito, várias definições tratam a geodiversidade como sendo uma variedade, ou diversidade natural de rochas, minerais, fósseis, acidentes geográficos,

sedimentos e solos, juntamente com os processos naturais que os formam (KIERNAN, 2001; SHARPLES, 2002; GRAY, 2004; AZEVEDO, 2007). A geodiversidade também pode ser interpretada desde a escala microscópica, como minerais, à grande escala, como montanhas, formações rochosas, feições geomorfológicas e processos ativos (BROCX e SEMENIUK, 2007, LICARDO et al. 2008, MANOSSO e ONDICOL, 2012 (Figura 1). Para Licardo et al. (2008), cada parte do planeta apresenta uma geodiversidade própria, o que dá a ela a sua singularidade.



Figura 1 – A geodiversidade sob duas perspectivas: a microscópica, como os minerais presentes na rocha e numa outra escala, a feição geomorfológica representada pela praia da Lagoa (Ubatuba, SP).

Foto: Maria Jorge (2014).

Outros autores têm discutido o conceito e ampliado seu alcance ao incluir os processos antrópicos, como o trabalho de Nieto (2001), que conceitua geodiversidade como o número e variedade de estruturas, formas e processos geológicos que constituem o substrato de uma região, sobre as quais está inserida a atividade biótica, incluindo a antrópica. Kiernan (2012) corrobora com essa perspectiva de análise ao avaliar a condição física de algumas cavernas do Laos e verificar uma série de impactos decorrentes da guerra, que deixaram marcas, como compactação do piso da caverna pelo pisoteio, e

danos nos espeleotemas, assim como Franco (2014), que analisa o processo de construção etnocartográfica e os valores da geodiversidade, em comunidades tradicionais que têm a base da economia, a pedra-sabão.

Ainda sobre conceito, Kozłowski (2004) insere os locais classificados como paisagem cultural e depósitos tecnogênicos, onde a geodiversidade seria a junção dos fatores naturais e de outros sistemas advindos de processos naturais e humanos. Kozłowski (2004), através da quantificação da geodiversidade, elabora uma matriz simples incluindo elementos como rochas, solos, relevo e a estrutura da paisagem.

Para Araújo (2005), a geodiversidade seria o resultado dos processos interativos entre a paisagem, a fauna, a flora e a forma como o homem se organiza. Serrano e Ruiz-Flaño (2007) conceituam geodiversidade como a variabilidade da natureza abiótica, os processos físicos da superfície terrestre, os processos naturais e antrópicos que compreendem a diversidade de partículas, elementos e lugares.

Exemplos de como essa integração pode ser benéfica são descritos por Brilha (2005) e Oliveira et al. (2013), para os quais tanto a geodiversidade quanto a biodiversidade são importantes ferramentas para ações conservacionistas, e quando abordadas em conjunto, tornam-se ainda mais efetivas. Para Brilha (2005), a biodiversidade, mais conhecida que a geodiversidade, é ela própria consequência e parte importante da evolução geológica do nosso planeta. Segundo Stanley (2000), a biodiversidade faz parte da geodiversidade, o solo seria um exemplo perfeito da relação entre a biodiversidade e a geodiversidade. Conway (2010) destaca o papel do solo como importante característica estética da paisagem, e também vital para sustentar a biodiversidade, e muitas funções ambientais, incluindo diminuição da poluição, mudanças climáticas e produção de alimentos.

Thomas (2012) enfatiza a importância da ligação da geodiversidade e da biodiversidade serem fundamentais em diferentes escalas, e isso foi demonstrado por trabalhos realizados em ilhas situadas no Mediterrâneo e *Rhode Island*, Estados Unidos, onde foram encontradas ligações entre a heterogeneidade geomorfológica e a diversidade biótica. O Serviço Geológico do Brasil – (CPRM, 2006) definiu geodiversidade como “o estudo da natureza abiótica constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos e outros depósitos superficiais, que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico”.

Porém, mesmo com inúmeros trabalhos crescentes sobre geodiversidade, Ollier (2012) defende que a geodiversidade seria uma cópia, uma adaptação da biodiversidade, e considera o termo um modismo no mundo acadêmico. Para o referido autor, o valor de sítios geológicos e geomorfológicos não depende da diversidade, bem como a geodiversidade não deve ser tratada como um juízo de valor sobre o significado de locais individuais.

Contrário a essa afirmação, Gray (2008) considera que o conceito ganhou aceitação e uso internacional nos últimos anos e agora garante o status de um paradigma geológico, a geodiversidade seria uma abreviação de “diversidade geológica e geomorfológica”.

Com relação a sua valorização, segundo Pereira (2010), esse processo tardio em valorizar a geodiversidade, quando comparado com o desenvolvimento da conservação biológica, deve-se, em parte, pelo fato de a maioria dos trabalhos feitos por geólogos estarem voltados para o uso dos recursos naturais. Para Brilha (2005), a abordagem tra-

dicional à temática da conservação da natureza contemplava as questões relacionadas à biodiversidade, deixando em segundo plano a geodiversidade.

Gray (2004) é considerado padrão de referência sobre o tema, sendo responsável pelo primeiro livro intitulado *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*, e cuja segunda edição foi editada em 2013, no qual descreve as inter-relações entre geodiversidade e biodiversidade, o valor da geodiversidade para a sociedade, bem como as atuais ameaças à sua existência.

A respeito dos valores que a geodiversidade representa na natureza, autores precursores dessa abordagem como Sharples (2002), atribuem três categorias: ecológico, intrínseco e humano, enquanto Gray (2004) estabeleceu seis categorias: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educacional.

Brilha (2005) também suscita questões pertinentes a respeito da geodiversidade: *“Como identificar e conservar essa geodiversidade”? “Existem locais e objetos geológicos realmente importantes que justifiquem estratégias de conservação”?* Segundo o autor, esses locais existem e assim faz-se uma urgência na conscientização do indivíduo que ocupa a bio e a geodiversidade para melhor articulação entre elas. Cabe aos cientistas e estudiosos na área, o papel de divulgadores e defensores do patrimônio natural, cujas potencialidades turísticas, e, portanto, também econômicas, se tornem reconhecidas (Figura 2). Para Gray (2005), diferentes elementos da geodiversidade precisam ser protegidos e gerenciados por duas razões, pelo seu valor e pela enorme ameaça presente, frente às inúmeras atividades humanas a que está submetida.



Figura 2 – Cachoeira Água Branca, situada na região sul de Ubatuba. Considerada como o maior patrimônio para a população local.

Foto: Roberto Oliveira (2013).

Algumas abordagens a respeito da geodiversidade, segundo Borba (2011), também merecem atenção, como as realizadas pela CPRM (2006), que tem utilizado o termo para designar a diversidade de materiais geológicos existentes numa determinada área, com foco em suas aplicações e limitações ao uso. Dessa forma, para o autor, esta seria uma abordagem da geodiversidade voltada em sua vertente econômica, e a geodiversidade possui valores que vão além dessa visão, como os valores intrínsecos, culturais, estéticos, funcionais, entre outros. Outro aspecto para Borba (2011) é sobre a avaliação e quantificação da geodiversidade e sua complexidade, cujas metodologias podem empregar desde o estabelecimento de arcabouços geológicos, uso de algoritmos matemáticos, confecção de mapas a avaliações comparativas, como demonstrados nos trabalhos de Kozłowski (2004), Serrano e Ruiz Flaño (2007), Carcavilla et al. (2008), Zwolinski (2010), Hjort e Luoto (2010).

Com relação a promoção e a conservação da geodiversidade, Lopes e Araújo (2011) complementam à essa dificuldade, a de existir ainda uma tendência em se pensar que elementos da biodiversidade são mais frágeis e vulneráveis às ameaças, enquanto a geodiversidade é vista como estável e livre de qualquer perturbação antrópica. Para Mansur (2010), essa ameaça antrópica surge pela falta de conhecimento da população e de planos e programas de manejo voltados à valorização dos geossítios.

Para Crofts (2014), progressos realizados na promoção da geodiversidade, nos últimos anos, mostram que ela é agora considerada um componente estabelecido das Ciências da Terra, porém, ainda falta o status e posição de biodiversidade em fóruns governamentais, políticos e públicos.

Brilha (2016) propõe uma nova abordagem aos conceitos de geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação e o que merece destaque nessa evolução conceitual é que apenas uma parte da geodiversidade possui valores que justifiquem sua geoconservação.

Patrimônio Geológico e Geomorfológico

Patrimônio geológico é definido por Brilha (2005) como o conjunto de geossítios de uma determinada região, ou seja, um conjunto de locais delimitados geograficamente, onde ocorre um ou mais elementos da geodiversidade, com singular valor do ponto de vista científico, pedagógico, cultural e turístico. Outras definições mostram que um conjunto de geossítios também pode ser denominado de patrimônio geomorfológico ou geomorfossítio (VIEIRA e CUNHA, 2006, PEREIRA, 2006, PANIZZA e PIACENTE, 2008, BENTO e RODRIGUES, 2010, CLAUDINO-SALES, 2010, MEDEIROS e OLIVEIRA, 2011). Mansur (2010) corrobora com essa afirmativa, ao ressaltar que o patrimônio do tipo geomorfológico tem sido tratado de forma especial, recebendo o nome particular de geomorfossítio, com uma abordagem conceitual semelhante ao do patrimônio geológico.

Para Thomas (2012), a geomorfologia tem um papel central na compreensão da geodiversidade, particularmente em escalas locais e regionais, pois ela analisa tanto a evolução da paisagem e as mudanças em tempo real, ao longo de diferentes escalas de tempo. Nessa perspectiva, Dong (2013) e Vasiljevic (2014) mostram os diferentes valores

atribuídos ao *loess*, bem como sua importância na explicação do clima e mudanças ambientais durante o Quaternário na China.

Dentro do conjunto do patrimônio natural, o patrimônio geomorfológico apresenta grande vulnerabilidade, porque constitui a base sobre a qual se desenvolvem as atividades humanas (VIEIRA e CUNHA, 2006).

O patrimônio geomorfológico, ou geomorfossítio, engloba paisagens de grande beleza cênica, que podem ser tanto individuais, quanto de paisagens mais amplas, morros, picos, cachoeiras, entre outras e designam o conjunto de formas de relevo, e ou depósitos correlativos, de grande valor para a sociedade (PANIZZA, 2001; PEREIRA, 2006).

Para Vieira (2014), os sítios geomorfológicos ou geomorfossítios, considerados no seu conjunto como Patrimônio Geomorfológico, “são elementos geomorfológicos constituídos por formas do relevo e depósitos correlativos, desenvolvidos em várias escalas, aos quais se atribui um conjunto de valores (científico, estético, cultural, ecológico e econômico) decorrentes da percepção humana. Estes elementos geomorfológicos, apresentando elevado valor patrimonial, devem ser objeto de proteção legal e promoção cultural, científico-pedagógica e para atividades de lazer, desporto e turismo”.

Claudino-Sales (2010) discute a questão que os geomorfossítios no Brasil têm representado diante do patrimônio natural. Os geossítios brasileiros acham-se classificados em 15 categorias, sendo a dominante a de sítios paleontológicos, seguidos pelos geomorfossítios. A autora também chama atenção para o fato de os geomorfossítios encontrarem-se pobremente apresentados, devido à falta de uma associação representativa dos geomorfólogos, o que leva a alguns geomorfossítios serem pobremente analisados do ponto de vista científico, o que compromete a sua descrição, assim como ocorre também a de sítios serem classificados como geomorfológicos e não o são. Questões pertinentes são levantadas pela autora com relação aos geossítios e elementos hidrográficos, como cascatas e cachoeiras, por exemplo, poderiam esses elementos serem denominados de geossítios hidrológico ou fluvial, ou serem descritos como um fenômeno geomorfológico. Contrário a esses questionamentos, Panizza (2001) considera que os geomorfossítios podem representar paisagens individuais, ou paisagens mais amplas. Bento e Rodrigues (2010) conceituam quedas d’água como geoformas fluviais, dentro da categoria geossítios.

Divergências à parte, com o intuito de ampliar a investigação, a avaliação, o conhecimento e a divulgação de locais de interesse geomorfológico, inúmeras metodologias vêm sendo trabalhadas desde a década de 1990 (PANIZZA, 1991; RIVAS et al., 1997; SERRANO e GONZALEZ-TRUEBA, 2005; PEREIRA, 2006; PEREIRA et al., 2007; ZWOLINSKI, 2010). Em todas, deve-se destacar a importância que os geomorfossítios apresentam, sejam a eles atribuídos valores científico, ecológico, cultural, estético, econômico, cujos resultados da quantificação permitem estabelecer prioridades na implementação de ações de conservação e valorização.

O fato é que, como Ciências da Terra, a geologia e a geomorfologia, ambas se completam. A geologia por ajudar a elucidar essa história temporalmente, através de registros nas rochas, sedimentos, fósseis e minerais que revelam climas passados, formação de montanhas e movimentação de continentes. A geomorfologia, por interpretar as formas de relevo, como as montanhas, planaltos, linhas de costa e outras, às condições em que elas foram formadas (Figura 3) (SCHOBENHAUS e SILVA, 2012).



Figura 3 – Exemplo bem ilustrativo mostrando o modelado terrestre, interação geologia-geomorfologia. Rochas com fraturas no canto da Praia do Bonete, Ubatuba-SP e ao fundo as formas esculpidas nas montanhas. Foto: Maria Jorge (2013).

Geoturismo

O geoturismo, por ser ainda um conceito novo, suscita debates quanto a sua segmentação e ainda divide opiniões. Alguns o consideram uma vertente do ecoturismo, outros, um segmento próprio e desvinculado. Segundo Nascimento et al. (2007), esta divergência está relacionada aos conceitos estabelecidos e utilizados nacionalmente para “ecoturismo” e “patrimônio natural”.

Para a Embratur (2004) o ecoturismo é o segmento de atividade turística que utiliza patrimônio natural e cultural, incentivando sua conservação e buscando a formação de uma consciência ambientalista por meio da interpretação do ambiente. O patrimônio natural, por definição da Unesco (1972), constitui as formações físicas, biológicas, geológicas ou fisiográficas consideradas excepcionais, os habitats, animais e vegetais ameaçados e os sítios naturais que tenham valor universal excepcional, do ponto de vista da ciência, da conservação, ou da beleza natural.

Dessas conceituações observa-se que o ecoturismo da Embratur (2004) engloba ações de divulgação e interpretação do patrimônio natural, que por sua vez, integram as feições geológicas, entretanto, o que se vê é que o ecoturismo tem abordado apenas

atividades em meio natural enfatizando a biodiversidade (fauna e flora), sendo raras as ações interpretativas envolvendo elementos abióticos.

O geoturismo, entretanto, possui algumas ressalvas em relação ao ecoturismo. Uma delas é que ele não necessita obrigatoriamente de um cenário natural para ser desenvolvido, podendo acontecer também num cenário urbano, exemplo (Figura 4). Liccardo (2010), Liccardo et al. (2009), Fambrini et al. (2006) e Farchild et al. (2006) demonstram a possibilidade da utilização de elementos em centros urbanos como disseminadores do conhecimento geológico. Outras diferenças e vantagens do geoturismo em relação ao ecoturismo, apontadas por Brilha (2005), é que ele não está condicionado às estações do ano para acontecer, não depende dos hábitos de fauna ou flora e pode incentivar a economia local, através do artesanato com motivos ligados à geodiversidade; em muitos casos, o geoturismo pode ser desenvolvido em lugares onde outras segmentações do turismo já são desenvolvidas, complementando a oferta turística.



Figura 4 – Construções a beira-mar em Barmouth – País de Gales. O conjunto arquitetônico e as pedras utilizadas na construção, típicas da região, evidenciam o grande potencial geoturístico em área urbana.

Foto: Maria Jorge (2015).

O surgimento desse novo segmento turístico tem sido considerado por alguns autores como um subsegmento do ecoturismo (BENTO e RODRIGUES, 2010). Enquanto que para Nascimento et al. (2008) o importante é que ambos caminhem juntos na promoção

da proteção do patrimônio natural, histórico e cultural, se completando e enriquecendo a experiência turística.

Para Nascimento et al. (2008), o geoturismo vem preencher uma lacuna do ecoturismo, ao se pautar na visitação de áreas naturais, onde os principais atrativos associam-se ao patrimônio geológico, buscando a proteção desse patrimônio por meio da sensibilização do público leigo. Esta sensibilização é alcançada através da interpretação ambiental, agregando valor ao conhecimento do público e, ao mesmo tempo, despertando seu interesse, possibilitando o surgimento de atitudes de respeito e proteção.

Geoturismo: Estratégia de Desenvolvimento Econômico e Sustentabilidade

O fato é que diante da necessidade de conservação de um determinado patrimônio e, ao mesmo tempo, possa explorá-lo de forma consciente, o geoturismo surge como uma nova tendência mundial em termos de turismo alternativo. Segundo Carcavilla et al. (2008), o geoturismo pode ser considerado uma estratégia para o desenvolvimento econômico de uma região e, ao mesmo tempo, estimular a compreensão do ambiente através de sua interpretação

Com relação ao seu conceito, ainda há muita discussão em torno do seu significado. A *National Geographic Society* considera o geoturismo como uma combinação entre o ambiente composto de fenômenos abióticos, bióticos e componentes culturais, responsáveis para que um determinado local seja distinto do outro. Por outro lado, há diversos autores que tratam o geoturismo por sua vertente geológica, ligada ao patrimônio geológico (HOSE, 1995, 2000; NEWSOME e DOWLING, 2006; MOREIRA 2008, 2014). A primeira é apoiada pela Unesco, como se pode observar na Declaração de Arouca em 2011, definindo-o como o “turismo que sustenta e incrementa a identidade de um território, considerando a sua geologia, ambiente, cultura, valores estéticos, patrimônio e o bem-estar dos seus residentes”. O desenvolvimento do geoturismo não deve focar apenas o ambiente e patrimônio geológico, mas os valores culturais, históricos e cênicos, só assim uma identidade entre os visitantes e cidadãos locais ocorrerá (MOREIRA e MELÉNDEZ-HEVIA, 2012; DOWLING, 2013).

Hose (1995) foi o primeiro a conceituar o geoturismo como a disponibilização de estruturas interpretativas e serviços para permitir que os turistas adquirissem conhecimentos e compreensão da geologia e da geomorfologia de um sítio para além da observação e apreciação. Mais tarde, refinamentos foram feitos por Hose (2000), que redefiniu o termo acrescentando a necessidade de, além de prover serviços e facilidades interpretativas, também promover os valores e os benefícios sociais dos lugares. Hose (2012) acrescenta ainda que o geoturismo é sustentado por três principais aspectos inter-relacionados, no qual ele denominou de “3G” (geoturismo moderno), isto é, geoconservação, geo-história e geo-interpretação. Com base nesta abordagem 3G, o geoturismo é definido como o fornecimento de mecanismos como instalações e serviços para interpretação de geossítios e geomorfossítios, compreendendo a sua conservação através da apreciação, aprendizagem e de pesquisas para atuais e futuras gerações. Para Newsome e Dowling (2006), a geologia e a geomorfologia são os componentes centrais

e o enfoque principal de interesse desta modalidade turística. Esse conceito também é defendido por Nascimento et al. (2008), que explicitam que o geoturismo tem por objetivo preencher uma lacuna do ponto de vista da informação, possibilitando ao turista não só contemplar as paisagens, mas entender os processos geológicos e geomorfológicos responsáveis por sua formação.

O geoturismo, segundo Dowling (2010), é uma ferramenta para promover a geoconservação, compreender o patrimônio geológico, e apreciar a geodiversidade. Para o autor a geodiversidade deve estar ao lado da biodiversidade como um elemento importante da paisagem, pois através da investigação da forma, processo e tempo geológico, pode-se chegar a uma compreensão da complexidade dos sistemas de processo e história. Ao usar esses princípios, dentro de cronologias de alteração da paisagem, estudos de geodiversidade podem se tornar uma ferramenta valiosa na compreensão do geoturismo sustentável.

Como pode ser visto por alguns autores, o geoturismo é uma ferramenta que tem muito a oferecer em termos de sustentabilidade, pois seus objetivos não são apenas de contemplação de uma paisagem, mas de sensibilização sobre a importância que um geossítio, um patrimônio geológico e geomorfológico pode representar. Nessa perspectiva, a educação ambiental surge como uma das estratégias encontradas pelo geoturismo para atingir seu objetivo inicial de assegurar a conservação da geodiversidade por meios interpretativos (MOREIRA e BIGARELLA, 2008; NASCIMENTO et al., 2008).

Moreira (2014) destaca que o geoturismo, apesar de ser um tema recente, não pode ser considerado um modismo, pois além de integrar documentos oficiais da UNESCO (Declaração de Arouca em 2011) vem sendo pesquisado em diversos países, sob as mais variadas perspectivas e ambientes.

Uma categoria de destaque em estudos de geoturismo pode ser encontrada no trabalho de Lama et al. (2014) denominado de **geoturismo urbano**, no qual se explora a história e evolução da cidade de São Paulo e sua relação com a geologia local no centro velho da cidade, descrevendo os principais tipos de pedras ornamentais nos edifícios, desde o século XIX, quando São Paulo deixou de ser uma cidade de taipa (terra batida) e tornou-se de alvenaria. Também há uma discussão sobre a influência da geomorfologia no estabelecimento do primeiro centro urbano, com a localização chamada Triângulo Histórico, em níveis topográficos mais elevados. Outro trabalho nessa perspectiva é o Guia de Geoturismo de Curitiba (LICCARDO et al., 2008), que representa o surgimento de uma nova possibilidade para a atividade turística, onde estão incluídos sítios geológicos, como antigas pedreiras e areas transformados em parques municipais.

Já Farsani et al. (2011) veem no **geoturismo rural** uma estratégia para o desenvolvimento econômico de áreas rurais através dos geoparques, considerado uma inovação e proteção dos recursos naturais e patrimônios geológicos. Os geoparques são vistos como uma possibilidade de geração de emprego ao estimular a produção local, como exemplo, o artesanato, as atividades culturais, a observação de aves, entre outros. Esta nova visão do geoturismo e geoparques pode criar novos produtos, novos postos de trabalho e novas atividades recreativas.

Trabalhos sob esse enfoque, mas com perspectivas de escalas diferenciadas (**geoturismo em escala local e global**) podem ser vistos por Bento e Rodrigues (2010, 2011),

numa escala local, cujo potencial geoturístico é explorado pelos geomorfossítios, representados por formas topográficas erosivas de ambientes fluviais – as quedas d’água. Na escala global, o Platô de *Loess* Chinês, maior área de depósitos de *loess* do mundo, vem sendo estudado por Dong et al. (2013) com o intuito de avaliar os problemas com o desenvolvimento do geoturismo e geoconservação na área, propondo novas estratégias para o desenvolvimento sustentável, como a melhoria da infraestrutura, ações de manejo efetivas, plantio de grama para a restauração ecológica, popularização da ciência e integração do parque em uma rede global de parques geológicos. Vasiljevic et al. (2014) também chamam a atenção para a sequência do *loess*, como um dos registros terrestres quaternários mais importantes das mudanças climáticas e ambientais, numa escala global. Infelizmente, esses sítios, devido ao seu desenvolvimento econômico (por exemplo, agricultura e olarias), **são constantemente ameaçados.**

O Museu Geológico *Loess*, inaugurado em 2004, é um grande ganho como estratégia de conservação na área. As exposições no museu estão centradas em torno de seis temas relacionados ao *loess*: (1) O que é *loess*, (2) Valor científico e de pesquisa do *loess*, (3) A seção *loess*, (4) Paisagens *loess*, (5) *Loess* e civilização chinesa, (6) Os costumes locais de Luochuan (Dong et al., 2013). Zglobickiet et al. (2014), avaliaram as possibilidades de utilização das ravinas e voçorocas no *loess* para fins educacionais e potencial geoturístico. Para Calcaterra et al. (2014), deslizamentos de terra são processos geomorfológicos que contribuem para a evolução da paisagem de longo prazo e também um dos mais mortais fontes de riscos naturais, que põem em perigo a vida, a propriedade e atividades econômicas. Dessa forma, em muitas localidades, a identidade cultural local é fortemente influenciada por este fenômeno e em, em alguns casos, deslizamentos de terra tornam-se expressões de geodiversidade e identidade cultural, sob a denominação de “geossítios em movimento”. Nesse exemplo, pesquisas acadêmicas fornecem insights para sistema de ensino e difusão junto das administrações públicas, tanto como o funcionamento da geodiversidade e abordagem eficaz para a redução do risco de deslizamento de terra.

O planejamento e manejo de trilhas, utilizando os conceitos de geodiversidade, geoturismo e geoconservação também têm crescido nos últimos anos. O I Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico e II Congresso Latino-americano e do Caribe sobre iniciativas em Geoturismo, em 2011, e o Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas / I Colóquio Brasileiro para a Rede Latino-americana de Senderismo, em 2013, são exemplos que de como essas discussões vêm sendo ampliadas.

Ostanello (2012), a respeito do inventário de lugares e trilhas de interesse geológico no Parque Estadual do Itacolomi, situado no estado de Minas Gerais, mostra que as trilhas e os lugares de interesse geológicos identificados constituem atrativos geoturísticos potenciais e devem certamente, ser incluídos em programas de uso público de educação ambiental. A importância das trilhas interpretativas, como ferramentas para a educação ambiental, geoturismo e geoconservação, também é mostrada no estudo de trilhas do Parque Nacional dos Campos Gerais, por Folmann (2013). O uso de trilhas como recurso didático no ensino das Geociências, pode ser visto no trabalho de Guimarães e Mariano (2014), que objetivando maior absorção dos conteúdos abordados em sala de aula, mapearam e descreveram a trilha sob o caráter didático e interdisciplinar, contemplando os

elementos da geodiversidade, biodiversidade, testemunhos históricos, arqueológicos e aspectos sociais da comunidade local.

Com o intuito de cadastrar, preservar e divulgar os locais com importância geológica no litoral norte de São Paulo, trabalhos de Motta Garcia (2014) têm como proposta a realização de um inventário do patrimônio geológico da região. Jorge et al. (2016) mostram a importância da trilha como instrumento de geoturismo e indicadora de processos erosivos na região sul de Ubatuba.

Os inúmeros trabalhos citados anteriormente, juntamente com eventos científicos realizados desde 2004, mostram que o geoturismo deve ser encarado como uma importante ferramenta para conservação do patrimônio geológico e geomorfológico e também a popularização das geociências, porém, ainda é um grande desafio, em face de algumas sociedades serem pouco sensíveis à importância desses patrimônios.

Geoconservação

A geoconservação tem como objetivo conservar a diversidade natural de significativos aspectos e processos geológicos, geomorfológicos e de solos, garantindo a manutenção da história de sua evolução (SHARPLES, 2002).

Trabalhos como os de Gray (2005), Brilha (2005, 2015), Nascimento et al. (2008, 2015), Dong et al. (2013), Moreira (2014), Vasiljev et al. (2014) mostram que a geoconservação deve ser impulsionada pela necessidade de se conservar a geodiversidade, dado o seu valor e as suas ameaças reais devido à falta de proteção e gestão.

Embora o conceito seja recente, a conscientização sobre geoconservação já é conhecida na Europa desde a década de 1930, como na França, com a criação da Lei de Proteção dos Monumentos Naturais, visando à proteção dos sítios geomorfológicos e cavernas; na Grã-Bretanha, década de 1940, com o Comitê de Investigação de Recursos Naturais – NRIC, responsável por um inventário de 390 localidades relacionadas ao patrimônio geológico; na Itália, desde 1985, com a proteção de lugares de interesse geológico como as geleiras e os vulcões; na Alemanha, década de 1990, com a criação do primeiro Geoparque alemão, o Gerolstern, atualmente chamado de Geoparque Vulcaneifel, e em Portugal com seu inventário do patrimônio geológico, a partir da elaboração de um projeto denominado “Patrimônio Geológico de Excepcional Interesse de Portugal” e em 2005 com o início do curso de mestrado Patrimônio Geológico e Geoconservação, na Universidade do Minho. Na Austrália as estratégias de geoconservação foram desenvolvidas na Tasmânia, a partir da elaboração de um documento intitulado “Estratégias de Geoconservação da Natureza”. Na Nova Zelândia o Departamento de Conservação iniciou ainda na década de 1980, um inventário de 2.500 locais de interesse científico (SHEYDDER e NASCIMENTO, 2014).

No Brasil as iniciativas surgiram na década de 1990, com a criação da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos (SIGEP), em 1997, visando promover a descrição, catalogação, criação de um banco de dados nacional dos geossítios e sua disponibilização em site da internet, na forma de artigos científicos. Atualmente, o SIGEP segue em atividade, divulgando através de seu site informações sobre o inventário de sítios geológicos no país com modelos de cadastros para novas propostas, contribuindo assim com a geo-

conservação (WINGE, 1999). A tipologia e quantificação desses geossítios foram reunidas em publicações em 2002, com 58 ocorrências de geossítios categorizados em paleontológicos (17), paleoambientais (9), geomorfológicos (9), espeleológicos (9), sedimentológicos (5), marinhos (4), história da geologia (3), ígneos (1) e astroblema (1) (Schobbenhaus et al., 2002). A publicação de 2009, conta com 40 geossítios, categorizados em: astroblemas (2), espeleológicos (2), estratigráfico (1), geomorfológicos (8), hidrogeológicos (1) história da geologia e da mineração (3), ígneos (2), marinhos (1) paleoambientais (3), paleontológicos (15) sedimentológicos (1) tectônicos (1) (Winge et al., 2009). A terceira publicação (Winge et al., 2013) conta com 18 geossítios, sendo astroblemas (1), geomorfológicos (6), história da geologia, paleontologia e da mineração (2), paleoambientais (1), paleontológico (5), sedimentológico (3). Nessa edição encontra-se também o mapa e a lista de propostas aprovadas de sítios não publicados (49 propostas). A título de comparação, no Reino Unido, onde a temática de geoconservação se encontra mais desenvolvida, trinta anos depois, desde o seu início em 1977, já foram identificados 3.000 geossítios (BRILHA, 2009).

O projeto Caminhos Geológicos foi o primeiro trabalho pautado na divulgação das geociências e do geoturismo, realizado com sucesso no Brasil. Foi idealizado pelo Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (DRM/RJ) e apoiado por diversas universidades e prefeituras, com o propósito de divulgar a geologia do Estado do Rio de Janeiro para a sociedade. No Projeto Caminhos Geológicos, foram considerados os seguintes tipos de Patrimônios Geológicos: (a) Sedimentar, (b) Geomorfológico, (c) Tectônico, (d) Petrológico/Mineralógico, (e) Paleontológico/ Arqueológico, (f) Hidrogeológico – águas minerais, fontes e aquíferos; e (g) Geoambiental (MANSUR e ERTHAL, 2003).

No Paraná, a empresa Minerais do Paraná S.A. (Mineropar) vem realizando trabalho de catalogação de geossítios do estado desde 2003, denominado Sítios Geológicos e Paleontológicos do Paraná, com o objetivo de integrar a geologia ao turismo, transmitindo o conhecimento geológico, através da transformação de pontos notáveis (afloramentos, paisagens, minas) em produtos turísticos (PIEKARZ e LICCARDO, 2006).

A criação do Projeto Monumentos Geológicos do Estado de São Paulo, em 2006, envolve pesquisadores do Instituto Geológico (IG-SMA), UNESP e IF-SMA e tem como objetivo divulgar os geossítios do estado, de modo a potencializar sua utilização educacional e turística (NASCIMENTO et al., 2010). Neste projeto são realizadas ações para o inventário dos Monumentos Geológicos no Estado de São Paulo, de acordo com as estratégias desenvolvidas pela GILGES, GEOTOPES, WHC, ProGEO (*The European Association for the Conservation of the Geological Heritage*), e SIGEP. O núcleo de apoio à pesquisa patrimônio geológico e geoturismo (GeoHereditas) tem dado a sua contribuição com projetos denominados: Roteiro Geoturístico Litoral Norte de São Paulo, Areias do Litoral de São Paulo, Geoturismo Urbano e Interpretação geológica em trilhas (GEOHEREDITAS, 2014).

Outro projeto importante, criado em 2006 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM – foi o Projeto Geoparques, com o objetivo de identificar, descrever, catalogar e divulgar áreas com potencial para o geoturismo e geoconservação, no sentido de dar suporte ao desenvolvimento sustentável (LOPES e ARAÚJO, 2010).

Destaca-se que uma das estratégias mais bem-sucedidas tenha sido a criação de geoparques em 2004. A Rede Global de Geoparques (*Global Geoparks Network – GGN*) é inte-

grada por vários países com objetivo de promover a conservação de um ambiente e fomentar a educação em geociências e o desenvolvimento econômico sustentável local (BRILHA, 2005). Boggiani, *in* Bento e Rodrigues (2015), acrescenta que o papel dos geoparques não é apenas o da geoconservação, mas o de se transformarem em projetos de desenvolvimento para as populações locais, trazendo-as para dentro do geoparque e não as excluindo.

A concepção de geoparque envolve não somente que a região tenha elementos geológicos e paleontológicos excepcionais, mas também contemple o geoturismo e desenvolva a economia local, desde a produção de artesanato até a criação de atividades comerciais de apoio ao visitante do geoparque, assim modificando a realidade socioeconômica de seus habitantes. Essa modalidade de parque se apresenta como uma revolução no modo de divulgação das geociências, uma vez que se integra o patrimônio geológico, biodiversidade e sustentabilidade. Esse aspecto diferencia-se da proposta das unidades de conservação, tal como o SNUC, que apresentam desde sua concepção um foco mais voltado à preservação da biodiversidade (OLIVEIRA et al., 2013).

Ainda com relação ao geoparque, este não coincide obrigatoriamente com áreas do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) nem se situa necessariamente em terras públicas, permitindo, e até mesmo estimulando, a presença de populações locais em sua área de abrangência (SHOBENHAUS, 2006).

Na atualidade a Rede Global de Geoparques (2016) possui 120 geoparques, distribuídos em 33 países, como Áustria (3), Brasil (1), Canadá (2), China (31), Croácia (1), República Tcheca (1), Dinamarca (1), Finlândia (1), França (5), Alemanha (5), Grécia (4), Hungria (1), Islândia (1), Indonésia (1), Irlanda (2), Itália (9), Japão (7), Coreia do Sul (1), Malásia (1), Marrocos (1), Holanda (1), Noruega (1), Portugal (4), Romênia (1), Eslovênia (1), Espanha (10), Turquia (1), Vietnã (1), Reino Unido (6), Uruguai (1), Áustria/Eslovênia (1), Irlanda/Reino Unido (1). No Brasil é representado pelo Geoparque Araripe, criado em 2006 com o objetivo de preservar as riquezas naturais da Chapada do Araripe. Na atualidade existem 17 propostas de geoparques elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM-Geoparques: Cachoeiras do Amazonas (AM), Morro do Chapéu (BA); Pirineus (GO), Astroblema de Araguinha-Ponte Branca (GO/MT), Quadrilátero Ferrífero (MG), Bodoquena-Pantanal (MS), Chapada dos Guimarães (MT), Fernando de Noronha (PE), Seridó (RN), Quarta-Colônia (RS), Caminhos dos Cânions do Sul (RS/SC), Serra da Capivara (PI), Ciclo do Ouro/ Guarulhos (SP), Uberaba-Terra dos Dinossauros do Brasil (MG), Campos Gerais (PR), Litoral sul de Pernambuco (PE), Costões e Lagunas do estado do Rio de Janeiro (RJ) (NETO e SAMPAIO, 2012).

Para Farsani et al. (2014), os geoparques surgem como inovação para a proteção do patrimônio natural e popularização das geociências, aliada a projetos educacionais e participação das comunidades locais. Os autores analisaram 25 geoparques e os resultados indicam que os primeiros passos para a criação e eficácia dos mesmos é a implantação e consolidação dos geossítios.

Assim, os desafios da geoconservação, incluem o envolvimento da comunidade, a definição de uma estratégia nacional de geoconservação, integrando a parte científica de divulgação e geoturismo, a integração das políticas nacionais de conservação da natureza, ordenamento do território, educação e envolvimento de empresas (BRILHA, 2006). Mansur (2009) acrescenta a participação da sociedade, e para isso é necessário uma articulação que contemple o sistema educacional formal e a população.

Quanto à sistematização das medidas a serem adotadas para a conservação da geodiversidade, autores como Brilha (2005 e 2015) e Carcavilla (2012) têm como procedimento o uso de recursos que se assemelham, como: inventário, quantificação, classificação, vulnerabilidade, conservação, proteção, valorização, divulgação e monitoramento. Essas etapas e procedimentos utilizados pelos inúmeros trabalhos que buscam promover estratégias de geoconservação mostram que o inventário da geodiversidade de um local e a seleção dos geossítios são os primeiros passos para a determinação do patrimônio, que por sua vez formará a base para a geoconservação e o geoturismo.

Embora esses procedimentos sirvam como um roteiro metodológico, destaca-se que cada região a ser trabalhada terá suas especificidades, sendo necessárias adaptações para preencher lacunas. Exemplo pode ser verificado por Pereira e Brilha (2010) para a quantificação do patrimônio geológico na Chapada Diamantina. Os autores necessitaram elaborar uma proposta específica, baseada no contexto e nas especificidades da região, devido ao grande contraste com a realidade europeia, assim, foram agrupados em categorias de valores: Intrínseco, Científico, Turístico, Uso/Gestão, Uso Científico, Conservação e Relevância (influência local, regional, nacional ou internacional).

A falta de publicações científicas e a dificuldade de acesso a determinados locais também são lacunas que podem vir a tornar-se um problema no método para quantificar o patrimônio de uma determinada área, como verificado no trabalho de Reverte (2014) *in* Monfrinato, (2016). A autora, embora tenha utilizado e adaptado as metodologias de Brilha e Pereira para inventariar o patrimônio geológico de São Sebastião, notou que faltavam métodos para quantificar sua relevância científica. Ainda segundo ela, “esse problema de quantificação se estende a todo o litoral paulista, que ainda foi pouco pesquisado no âmbito da geodiversidade” (MONFRINATO, 2016).

Considerações Finais

O texto aqui apresentado, baseado em inúmeros trabalhos sobre geodiversidade, patrimônio geológico e geomorfológico, geoturismo e geoconservação, mostra a relevância que os mesmos têm alcançado na atualidade no campo científico. Embora com métodos diferenciados e lacunas a serem preenchidas, é fato que esses conceitos são responsáveis por um novo paradigma e modo de se pensar a natureza, antes muito mais focada nos sistemas bióticos. Esse olhar sobre a geodiversidade se faz presente, onde valores lhes são atribuídos, bem como mostram sua vulnerabilidade diante das atividades antrópicas.

Em termos mundiais, e no caso específico brasileiro, essa pode ser uma forma de gerar empregos e renda, combinando os conhecimentos gerados nas universidades, em conjunto com prefeituras e órgãos particulares, preocupados com a sustentabilidade, mas também com a geração de renda, principalmente a população local. Para tal, é fundamental que pesquisas continuem a ser realizadas, no sentido de compreender bem não só as características geomorfológicas e geológicas, mas também os seus valores e riscos envolvidos.

A criação dos geoparques, que no caso brasileiro só temos um no momento, enquanto Portugal, um país de dimensões reduzidas, possui quatro, é uma boa alternativa para aproveitarmos nossos geossítios e patrimônio geológico e geomorfológico. Mais uma vez, o trabalho de pesquisa que vem sendo desenvolvido em diversas universida-

des brasileiras, possui importância fundamental pois esse arcabouço de conhecimentos certamente proporcionará melhor aproveitamento dessas áreas, sempre com o objetivo de poder divulgar o geoturismo, assim como, contribuir para a proteção de áreas vulneráveis, que possam vir a sofrer degradação ambiental.

Esperamos que esse trabalho tenha contribuído com aqueles que estudam e aplicam esses conceitos em seus estudos e pesquisas relacionados ao presente tema. O grande número de trabalhos pesquisados, nacionais e internacionais, sob os mais diferentes enfoques, evidencia que essa nova forma de se pensar a natureza seja o caminho certo acerca da sustentabilidade ambiental.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, E. L. S. *Geoturismo: conceitualização, implementação e exemplo de aplicação no Vale do Rio Douro no setor Porto Pinhão*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) — Escola de Ciências da Universidade do Minho, Portugal, 2005.

AZEVEDO, Ú. R. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. O geoturismo como instrumento em prol da divulgação, valorização e conservação do patrimônio natural abiótico — uma reflexão teórica. *Turismo e paisagens cársticas*, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2010.

_____; _____. Geoturismo nas quedas d'água do município de Indianópolis. *Mercator*, v. 10, n. 21, p. 147-160, 2011.

_____; _____. Possibilidades de inclusão do Parque Estadual do Ibitipoca/MG na rede de geoparques. *Caderno de Geografia*, v. 25, n. 43, p. 163-178, 2015.

BORBA, A. W. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, v. 38, n. 1, p. 3-14, 2011.

BRILHA, J. B. R. *Patrimônio Geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. São Paulo: Palimage, 2005.

_____. Bases para uma estratégia de geoconservação. Palestra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 18, Aracaju, 2006. *Anais*. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/5683>>. Acesso em: 3 jun. 2014.

_____. Prefácio. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A. (Orgs.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM, 2009

_____. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, v. 8, n. 22, p. 119-134, 2016.

BROCKX, M.; SEMENIUK, V. Geoheritage and Geoconservation-History, Definition, Scope and Scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, v. 90, n. 2, p. 53-87, 2007.

CALCATERRA, D.; GUIDA, D.; BUDETTA, P.; DE VITA, P.; MARTIRE, D.; ALOIA, A. Moving Geosites: How Landslides Can Become Focal Points in Geoparks. In: VICCIONE, G.; GUARNACCIA, C. (Orgs.) *Latest Trends in Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology*, 2014.

CARCAVILLA, L.; DURAN, J. J.; LOPEZ-MARTINEZ, J. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, n. 10, p. 1299-1303, 2008. Disponível em: <http://www.igme.es/internet/patrimonio/descargas/concepto_Geodiversidad.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2014.

CARCAVILLA URQUI, L. *Geoconservation*. Madri: Los Libros de la Catarata, 2012.

CLAUDINO-SALES, V. Paisagens geomorfológicas espetaculares: geomorfossítios do Brasil. *Revista de Geografia*, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 6-18, 2011.

CPRM. (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Geodiversidade. 2006. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade-162>>. Acesso em: 3 jun. 2014.

CONWAY, J.S. A soil trail? A case study from Anglesey, Wales, UK. *Geoheritage*, v. 2, n. 1, p. 15-24, 2010.

CROFTS, R. Promoting Geodiversity: Learning Lessons from Biodiversity. *Proc. Geol. Assoc.*, p.1-4, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.03.002>>. Acesso em: 28 maio 2016.

DONG, H.; SONG, Y.; CHEN, T.; ZHAO, J.; YU, L. Geoconservation and Geotourism in Luochuan Loess National Geopark, China. *Quaternary International*, n. 30, p.1-12, 2013.

DOWLING, R. K. Geotourism's global growth. *Geoheritage*, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2010.

_____. Global geotourism — an emerging form of sustainable tourism. *Czech Journal of Tourism*, v. 2, n. 2, p. 59-79, 2013.

EMBRATUR. *Manual de Ecoturismo*. Brasília, 1994.

FAIRCHILD, T. R.; SALLUN, F. W.; CAMPOS NETO, M. C. Estromatólitos em pisos de shopping centers da cidade de São Paulo (SP): divulgação e utilização para fins didáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, Aracaju. *Anais*, 2006, p. 325.

FAMBRINI, G. L., STERN, A. G., RICCOMINI, C., CHAMANI, M. A. C. Roteiro geológico pelos monumentos e edifícios históricos da cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, Aracaju, *Anais*. 2006, p. 321.

FARSANI, N. T.; COELHO, C. O. A.; COSTA, C. M. M. Geotourism and Geoparks as Novel Strategies for Socio-economic Development in Rural Areas. *Int. J. Tourism*, v. 13, p. 68-81, 2011.

_____; _____. Tourism Crisis Management in Geoparks Through Geotourism Development. *Revista Turismo & Desenvolvimento*, v. 17/18, p. 1627-1638, 2012.

_____; _____. AMRIKAZEMI, A. Geo-knowledge Management and Geoconservation via Geoparks and Geotourism. *Geoheritage*, v. 6, p. 185-192, 2014.

FOLMANN, A. C. A importância das trilhas interpretativas para a educação ambiental, geoturismo e geoconservação — estudo de algumas trilhas do Parque Nacional dos Campos Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS, 2/COLÓQUIO BRASILEIRO PARA A REDE LATINOAMERICANA DE SENDERISMO, 1. *Anais*, p. 1087-1145, 2013.

FRANCO, A. R. *Etnocartografia e análise dos valores da geodiversidade com comunidades tradicionais de artesãos em pedra-sabão da região do Quadrilátero Ferrífero — Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2014.

GEOHEREDITAS (Núcleo de Apoio à Pesquisa: Patrimônio Geológico e Geoturismo). *Projetos*. Disponível em: <<http://www.igc.usp.br/index.php?id=612>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

GODINHO, R. G.; CRISTOVÃO, C. A. M.; SIMON, A. P.; ORSI, M. L.; OLIVEIRA, I. J. Geomorfologia e Turismo no município de Pirenópolis (GO). *Caminhos de Geografia*, v. 12, p. 73-84, 2011.

GRAY, M. *Geodiversity — Valuing and Conserving Abiotic Nature*. New York: John Wiley and Sons, 2004.

_____. Geodiversity and Geoconservation: what, why, and how? *Geodiversity & Geoconservation*, p. 4-12, 2005. Disponível em: <<http://www.georgewright.org/223gray.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2014.

_____. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, v. 119, p. 287-298, 2008.

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of High-Latitude Landscapes in Northern Finland. *Geomorphology*, n. 115, p. 109-116, 2010.

HOSE, T. A. Selling the Story of Britain's Stone. *Environmental Interpretation*, v. 2, p. 10, p. 16-17, 1995.

_____. "Geoturismo" europeo. Interpretación geológica y promoción de la conservación geológica para turistas. In: BARETTINO, D.; WIMBLETON, W. A. P.; GALLEGOS, E. (Eds.). *Patrimônio geológico: conservación y gestión*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000, p. 137-159.

_____. 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage*, v. 4, n. 1-2, p. 7-24, 2012.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Geotourism, Geodiversity and Geoconservation in Ubatuba Municipality, São Paulo State, Brazil. *Geography Review*, v. 29, p. 26-29, 2016.

KIERNAN, K. The Geomorphology AND Geoconservation Significance of Lake Pedder. In: SHARPLES, C. (Ed.) *Lake Pedder: Values and Restoration*. Centre for environmental studies, University of Tasmania, 2001.

KIERNAN, K. Impacts of War on Geodiversity and Geoheritage: Case Studies of Karst Caves from Northern Laos. *Geoheritage*, v. 4, n. 4, p. 225-247, 2012.

KOZŁOWSKI, S. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, v. 52, n. 8/2, 2004, p. 833-837. Disponível em: <http://www.pgi.gov.pl/images/stories/przegląd/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf>. Acesso em: 7 maio 2014.

KUBALIKOVÁ, L. Geomorphosite assessment for geotourism purposes. *Czech Journal of Tourism*, v. 2, n. 2, p. 80-104, 2013.

LAMA, E. A.; BACCI, D. L. C.; MARTINS, L.; MOTA GARCIA, M. G.; DEHIRA, L. K. Urban Geotourism and the Old Centre of Sao Paulo City, Brazil. *Geoheritage*, v.7, p.147-164, 2014.

LICCARDO, A.; PIEKARZ, G. F.; SALAMUNI, E. *Geoturismo em Curitiba*. Curitiba: Mineropar, 2008.

_____. *La Pietra e L'Uomo*. Curitiba: Editora Beca, 2010.

LOPES, L. S. O.; ARAUJO, J. L. L. Potencial dos geoparques como estratégia de geoconservação no estado do Piauí. *Revista de Geografia*, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 248-258, 2010.

_____; _____. Princípios e estratégias de geoconservação. *Observatorium: Revista eletrônica de Geografia*, v. 13, n. 7, p. 66-78, 2011.

MANOSSO, F. C.; ONDICOL, R. P. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, v. 35, p. 90-100, 2012.

MANSUR, K. L. Projetos educacionais para a popularização das Geociências e para a geoconservação. *Anuário do Instituto de Geociências*, edição especial, v. 5, p. 63-74, 2009.

_____. Diretrizes para a geoconservação do patrimônio geológico do estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

_____; ERTHAL, F. Preservação do Patrimônio Natural — Desdobramentos do Projeto Caminhos Geológicos — RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 8, Águas de São Pedro, SP, 2003. *Anais. Águas de São Pedro*, SP: SBG, 2003, p. 253.

MEDEIROS, W. D. A.; OLIVEIRA, F. F. G. Geodiversidade, geopatrimônio e geoturismo em Currais Novos, NE do Brasil. *Mercator*, v. 10, n. 23, p. 56-59, 2011.

MOTTA GARCIA, M. G. *Interpretação geológica em trilhas*. Núcleo de apoio à pesquisa Patrimônio geológico e geoturismo. Disponível em: <<http://www.igc.usp.br/index.php?id=616>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MORA FILHO, P. S.; RUAS, L. M. S. As contribuições da Geomorfologia ambiental no campo do turismo rural: a descrição paisagística como recurso metodológico para o planejamento turístico. *Revista Saber Acadêmico*, n. 5, p. 40-49, 2008.

MOREIRA, J. C. Patrimônio geológico em Unidades de Conservação: atividades interpretativas, educativas e geoturísticas. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

_____; HEVIA-MELENDZ, G. Usando o patrimônio geológico para atrair turistas: o geoturismo no Brasil (Paraná) e Espanha (Aragon). *GEOUSP*, n. 32, p. 123-139, 2012.

_____; BIGARELLA, J. J. Interpretação ambiental e Geoturismo em Fernando de Noronha. In: CASTILHO, C. J. M.; VIEGAS, J. M. (Orgs.). *Turismo e práticas socioespaciais: múltiplas abordagens e interdisciplinaridades*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008, p. 171-192.

_____. *Geoturismo e interpretação ambiental*. 2. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

NASCIMENTO, M. A. L.; RUCHKYS, U.A.; MANTESSO-NETO, V. Geoturismo: um novo segmento do turismo no Brasil. *Global Tourism*, v. 3, n. 2, p. 41-64, 2007. Disponível em: <http://www.periodicodeturismo.com.br/site/artigo/pdf/Geoturismo_um%20novo%20segmento%20do%20turismo%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 5 maio 2014.

_____; _____. *Geodiversidade, geoconservação e geoturismo: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

_____. Patrimônio geológico sob a forma de sinalização (geo) turística. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, 2010. Belém-PA. *Anais do Simpósio Monumentos Geológicos, Geoturismo, Geoconservação e Geoparques*. 2010.

_____; MANSUR, K. L.; MOREIRA, J. M. Bases conceituais para entender geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação e geoturismo. *Revista Equador*. Edição especial. Territórios brasileiros: dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades, Piauí, v. 3, n. 4, p. 48-68, 2015.

NETO, M. B. R.; SAMPAIO, T. Q. Apresentação. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Orgs) *Geoparques do Brasil: propostas*. v. 1. Rio de Janeiro: CPRM, 2012, p. 745.

NIETO, L. M. Patrimônio Geológico, Cultura y Turismo. *Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses*, n. 182, p. 109-122, 2001.

NEWSOME, D.; DOWLING, R. *Geotourism*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006.

OLLIER, C. Problems of geotourism and geodiversity. *Quaestiones Geographicae*, v. 31, n. 3, p. 57-61, 2012.

OLIVEIRA, C. N.; IMBERNON, R. A. L.; GONÇALVES, P. W.; BRILHA, J. B. R. Geoparques: uma proposta de educação ambiental. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9, Águas de Lindóia. p. 1-8, 2013.

OLIVEIRA, P. C. A.; PEDROSA, A. S.; RODRIGUES, S. C. Uma abordagem inicial sobre os conceitos de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geomorfológico. *Ra'e Ga*, v. 29, p. 92-114, 2013.

OSTANELLO, M. C. P. O patrimônio geológico do Parque Estadual do Itacolomi (Quadrilátero Ferrífero, MG): inventariação e análise de lugares de interesse geológicos e trilhas geoturísticas. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

PANIZZA, M. Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, v. 46, n. 4-6, p. 4-5, 2001.

_____, PIACENTE, S. Geomorphosites and geotourism. *Revista Geografica Academica*, v. 2, n. 1, p. 5-9, 2008.

PEREIRA, P. J. S. Patrimônio geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese (Doutorado) — Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, 2006.

PEREIRA, R. G. F. A. Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil). Tese (Doutorado)— Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, 2010.

PEREIRA, R. F.; BRILHA, J. Proposta de quantificação do patrimônio geológico da Chapada Diamantina (Bahia, Brasil). *Revista Electrónica de Ciências da Terra: Geosciences On-line Journal*, v. 8, n. 8, p. 2-4, 2010.

PIEKARZ, G. F., LICCARDO A. Programa sítios geológicos e paleontológicos do Paraná: situação atual e tendências. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, Aracaju, *Anais*. p. 323. 2006.

REDE GLOBAL DE GEOPARQUES. *Os membros da Rede Global de Geoparques*. 2016. Disponível em: <http://www.europeangeoparks.org/?page_id=633&lang=pt>. Acesso em: 10 abril 2016.

RIVAS, V.; RIX, K.; FRANES, E.; CENDRERO, A.; BRUNSDEN, D. Geomorphological Indicators for Environmental Impact Assessment: Consumable and Non-Consumable Geomorphological Resources. *Geomorphology*, n. 18, p.169-182, 1997.

SANTUCCI, V. L. Historical Perspectives on Biodiversity and Geodiversity. *Geodiversity and Geoconservation*, v. 22, n. 3, p. 29-34, 2005.

SHARPLES, C. *Concepts and Principles of Geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife Service, 2002.

STANLEY, M. Geodiversity. *Earth Heritage*, v. 14, p.15-18, 2000.

SCHOBENHAUS, C. *Geoparques e geossítios do Brasil: estratégias e diagnóstico do potencial para geoturismo e geoconservação*. Rio de Janeiro: CPRM, 2006.

_____; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. v. 1. Brasília: CPRM, 2002.

_____; SILVA, C.R. O papel do serviço geológico do Brasil na criação de geoparques e na conservação do patrimônio geológico. In: SCHOBENHAUS, C; SILVA, C. R. (Orgs.) *Geoparques do Brasil, propostas*. Rio de Janeiro: CPRM, 2012.

SERRANO, E.; GONZALES-TRUEBA, J. J. Assessment of Geomorphosites in Natural Protected Areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, n. 3, p. 197-208, 2005.

SERRANO, E.; RUIZ FLANO, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiernes Caracena (Soria). *Boletín de la A. G. E. N.*, n. 45, p. 79-98, 2007.

THOMAS, M. F. A geomorphological approach to geodiversity — its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones Geographicae*, v. 31, n. 1, p. 81-89, 2012.

VASILJEVIC, D. A.; MARKOVIC, S. B.; HOSE, T. A.; DING, Z.; GUO, Z.; LIU, X.; SMALLEY, I.; LUKIC, T.; VUJICIC, M.D. Loess-palaeosol sequences in China and Europe: Common values and geoconservation issues. *Catena*, n. 117, p. 108-118, 2014.

VIEIRA, A. O patrimônio geomorfológico no contexto da valorização da geodiversidade: sua evolução recente, conceitos e aplicação. *Cosmos*, n. 7, p. 1, p. 28-59, 2014.

_____; CUNHA, L. Patrimônio geomorfológico — de conceito a projecto. O Maciço de Sicó. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, v. 3, p. 147-153, 2006. Disponível em: <http://oficinaexperimental.wikispaces.com/file/view/geomorfologia_sico.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2014.

WINGE, M. O que é um sítio geológico? 1999. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/apresenta.htm>>. Acesso em: 5 maio 2014.

_____; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. v. 2. Brasília: CPRM, 2009.

_____; _____. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. v. 3. Brasília: CPRM, 2013.

ZWOLINSKI, Z. The Routine of Landform Geodiversity Map Design for the Polish Carpathian Mts. *Landform Analysis*, n. 11, p. 77-85, 2010.

ZGLOBICKI, W.; KOLODYNSKA-GAWRYSIK, R.; GAWRYSIK, L. Gully erosion as a natural hazard: the educational role of geotourism. *Natural Hazards*, v. 79, 2015, p. 159-181.

Recebido em: 17/6/2016

Aceito em: 24/06/2016

Agradecimento

Agradecemos ao CNPq pelo suporte financeiro.

Etnogeomorfologia na Perspectiva da Gestão Ambiental e Aprendizagem na Educação Básica

Ethnogeomorphology from the Perspective of Environmental Management and Learning in Basic Education

Simone Cardoso Ribeiroⁱ

Universidade Regional do Cariri
Crato, Brasil

Resumo: Este artigo propõe uma discussão teórico-metodológica sobre a Etnogeomorfologia, enfoque de cunho geográfico-etnográfico, que visa a compreensão da forma como os produtores rurais de cultura tradicional entendem os processos geomorfológicos, como usam este conhecimento para o manejo do ambiente em que vivem (em especial o conhecimento sobre erosão de solos, movimentos gravitacionais de massa e assoreamento em relação aos cultivos de subsistência e à pecuária) e se, e como, utilizam esses saberes para algum tipo de taxonomia geomórfica. Para isso, é apresentada uma abordagem metodológica para nortear o desenvolvimento, a compreensão e a sistematização, com base científica, de todo um conjunto de teorias e práticas relativas ao ambiente, oriundas de uma experimentação empírica, e que contribui para orientar a inserção e o desenvolvimento de pesquisas junto a estas comunidades. Esta proposição metodológica pode ser utilizada para subsidiar políticas públicas de planejamento e gestão ambientais, sob a ótica do desenvolvimento local, assim como na Educação Básica voltada à compreensão das formas e processos geomórficos, partindo do pressuposto de que as informações que as pessoas possuem sobre seu ambiente, e a maneira pela qual elas categorizam essas informações, vão influenciar seu comportamento e seu aprendizado em relação a ele.

Palavras-chave: Etnociência; Geomorfologia; Gestão Local; Ensino Contextualizado.

Abstract: This article proposes a theoretical and methodological discussion on Ethnogeomorphology, geographic and ethnographic approach, aimed at understanding how the farmers of traditional culture understand the geomorphological processes, how they use this knowledge to manage the environment in which they live (especially knowledge about soil erosion, gravitational mass movements and siltation in relation to subsistence crops and livestock) and whether and how they use this knowledge to some kind of geomorphic taxonomy. For this, a methodological approach is presented to guide the unveiling, understanding, and systematization, science-based, a whole set of theories and practices relating to the environment, arising from an empirical experimentation,

ⁱ Prof^a do Depto. de Geografia da Universidade Regional do Cariri. simone.ribeira@urca.br.

and helps to guide the insertion and the development of research with these communities. This methodological proposition can be used to support public policies for environmental management, from the perspective of local development, as well as basic education focused on understanding the ways and geomorphic processes, assuming that the information that people have about their environment, and the way they categorize this information will influence their behavior and their learning about him.

Keywords: Ethnoscience; Geomorphology; Local Management; Contextualized Education.

Introdução

A análise científica do conhecimento tradicional tem sido uma referência importante para reavaliar os paradigmas dos modelos coloniais e agrícolas de desenvolvimento e servir de base a produção de novos modelos alternativos. Como afirma Escobar (2005), há uma crescente produção de pesquisas e trabalhos que demonstram que comunidades locais

“constroem” a natureza de formas impressionantemente diferentes das formas modernas dominantes: eles designam, e portanto utilizam, os ambientes naturais de maneiras muito particulares, [onde utilizam] uma quantidade de práticas – significativamente diferentes – de pensar, relacionar-se, construir e experimentar o biológico e o natural. (ESCOBAR, 2005, p. 5)

Conforme o *Dictionnaire de la Géographie et de l'espace des sociétés*, de Lévy e Lussault (2003 apud RIBEIRO, 2012), a Ciência é um conhecimento que se fundamenta na busca de coerência teórica de seus enunciados e tem relação inerente com o real, sendo esse conhecimento autenticado tanto pela validação a esses enunciados pela comunidade científica quanto pela sociedade como um todo, transformando a realidade de acordo com suas proposições. Assim, “a Ciência é um tipo de conhecimento que não apenas cria enunciados sobre seu objeto, mas tenta explicá-los através de provas empíricas e pertinência ao mundo real” (LÉVY e LUSSAULT, 2003 apud RIBEIRO, 2012 p. 31).

Sokal e Bricmont (2001) afirmam que a racionalidade humana é única, e encontra-se em todas as áreas de investigação que almejam dizer algo acerca do mundo e, assim, a ideia de que a ciência pode ser organizada segundo regras fixas e universais é utópica e prejudicial ao próprio pensamento científico, que deve ser construído sobre bases eficientes, mas nunca estáticas.

Concordando que a Ciência não deve se basear em verdades totais, e nem buscar respostas últimas, mas sim organizar, sistematizar e/ou produzir conhecimentos sobre as realidades percebidas pela sociedade, e afirmando que cada sociedade tem bases culturais e de percepção diferenciadas, alguns autores vem desenvolvendo trabalhos voltados para o resgate e a maior compreensão dos saberes oriundos de populações alijadas do processo oficial de produção científica (RIBEIRO, 2012). Como afirma Porto-Gonçalves (2005), deve-se tomar cuidado para

não reproduzir a geopolítica do conhecimento que, sob o eurocentrismo, caracteriza o conhecimento produzido fora dos centros hegemônicos e escrito em outras línguas não hegemônicas como saberes locais ou regionais (...), pois o fato de os gregos terem inventado o pensamento filosófico não quer dizer que tenham inventado “O” pensamento (grifo nosso). O pensamento está em todos os lugares onde os diferentes povos e suas culturas se desenvolveram, e assim, são múltiplas as epistemes com seus muitos mundos de vida. Há, assim, uma diversidade epistêmica que comporta todo o patrimônio da humanidade acerca da vida, das águas, da terra, do fogo, do ar, dos homens. (PORTO-GONÇALVES, 2005, p. 1)

Dentro desta perspectiva, um dos enfoques que mais tem contribuído para se compreender o conhecimento das populações tradicionais é da Etnociência (DIEGUES, 1996), uma vez que esta “parte da linguística para estudar o conhecimento das populações humanas sobre os processos naturais, tentando descobrir a lógica subjacente ao conhecimento humano do mundo natural, as taxonomias e classificações totais” (DIEGUES, 1996, p. 78).

Os estudos etnocientíficos são aqueles que procuram compreender como comunidades com cultura própria se relacionam com plantas, animais e com o próprio lugar ou território em que se encontram, ou seja, buscam os conceitos e saberes desenvolvidos por uma determinada cultura sobre diferentes áreas do conhecimento nas relações povos-natureza. Esses saberes advêm de gerações de experimentos entre estas sociedades e seu meio ambiente buscando melhores formas de uso e manejo dos recursos naturais através do tempo, e tem como característica fundamental a interdisciplinaridade das ações e a busca do reconhecimento do valor intelectual desse etnoconhecimento.

Leff (2009) pondera que as etnociências apresentam-se tanto como ferramentas teóricas indispensáveis na reconstrução histórica das relações sociedade-natureza como disciplinas de utilidade prática para a condução de uma estratégia ambiental de desenvolvimento. Para ele, há uma estreita e específica relação entre o estilo de cada grupo étnico e cultural com a constituição físico-biológica de seu meio ambiente, “pelo condicionamento que este impõe à estruturação de uma formação cultural (desenvolvimento técnico, divisão do trabalho, organização produtiva)” (LEFF, 2009, p. 106).

Na maioria das sociedades tradicionais a natureza não é vista como uma propriedade particular, e é manejada de forma a garantir a manutenção dos seus ciclos, em especial, para o desenvolvimento da agricultura. A produção sempre foi baseada em um sistema de elementos combinados no qual o lucro não é integrante ou não é primordial, mas sim a subsistência, a manutenção da vida. Assim, Diegues (1996) afirma que podemos entender culturas tradicionais, numa perspectiva marxista, como aquelas associadas a modos de produção pré-capitalistas, ou seja, sociedades em que o trabalho ainda não se tornou uma mercadoria, e onde há grande dependência dos elementos naturais e dos ciclos da natureza. A dependência do mercado existe, porém não é absoluta. O mesmo autor também afirma que:

Essas sociedades desenvolveram formas particulares de manejo dos recursos naturais que não visam diretamente o lucro, mas a reprodução social e cultural, como também percepções e representações em relação ao mundo natural marcadas pela ideia de associação com a natureza e dependência de seus ciclos. (DIEGUES, 1996, p. 82).

Assim, o conhecimento advindo de culturas que mantêm relações distintas com a natureza daquelas baseadas nas convicções modernas da Ciência vem sendo resgatado a partir da constatação de que qualquer planejamento ou gestão ambientais, assim como as práticas educativas, precisam considerar

os modelos de natureza baseados no lugar, assim como as práticas e racionalidades culturais, ecológicas e econômicas que as acompanham, [pois] o fato é que o lugar – como experiência de uma localidade específica com algum grau de enraizamento, com conexão com a vida diária, mesmo que sua identidade seja construída e nunca fixa – continua sendo importante na vida da maioria das pessoas, talvez de todas. (ESCOBAR, 2005, p. 2)

Ribeiro (2012) argumenta que adotando-se a geomorfologia como elemento delimitador, ou seja, considerando que as formas e processos de modelagem do relevo possam expressar de forma mais espacializada a dinâmica de cada realidade ambiental de um território, pensamos ser o conhecimento vernacular de comunidades agrícolas tradicionais acerca desses processos morfológicos e sua utilização no manejo dos recursos necessários à sobrevivência dessas populações fator intrínseco à evolução da paisagem construída material e culturalmente por elas.

O Conceito de Etnogeomorfologia

A paisagem, como processo, apresenta uma sucessão genética que pode ser seguida e precisada e, desta maneira, pode fixar também a tendência, o ritmo e a importância dos diferentes processos que contribuem para a sua evolução, entre os quais, o fator humano, que se torna cada vez mais importante.

É fato, sem querela, que a crosta terrestre vem sofrendo modificações desde sua formação. Em termos gerais, as forças internas proporcionam desnivelamentos da superfície, devido a movimentos originados por pressões do magma (vulcanismos, sismos etc.). Em contrapartida, forças externas trabalham na modelagem niveladora desta superfície, desgastando-a. Este desgaste é condicionado, principalmente, por elementos climáticos – temperatura e precipitação – em contato com o material rochoso. Como a partir desta ação intempérica física e química são produzidos sedimentos para a formação dos solos através da pedogênese, podemos dizer que a esculturação do relevo se dá, majoritariamente, a partir da remoção de partículas de solos por agentes de transporte – ou seja, pela erosão, e/ou por transporte deflagrado pela gravidade, na forma dos movimentos de massa.

Wild (1993) enfatiza que a erosão natural ou geológica ocorre na superfície da Terra desde o tempo em que as rochas foram expostas à influência da atmosfera, modelando a superfície da paisagem e formando rochas sedimentares a partir de sedimentos, e solos. Deste modo, a erosão é um processo natural na superfície terrestre, que pode ser acelerado ou retardado pela ação antrópica, sendo intrínseca a relação entre evolução das formas de relevo e uso e manejo destas pelas sociedades. Assim, pensando as áreas rurais,

O estágio tecnológico e os saberes empíricos e “hereditários” sobre o meio ambiente próximo são fatores essenciais das modificações implementadas pelas ações antrópicas sobre as entradas, caminhos e saídas de matéria e/ou energia no sistema ambiental produtor de sua subsistência. A forma como o produtor rural maneja os recursos solo, água e vegetação em suas áreas de produção vai alterar de maneira direta e indireta a dinâmica dos elementos constituintes do geossistema local. Os estados deste geossistema vão se alterar em tempos e formas diferentes do que aconteceria sem a ação antrópica, e essa velocidade e esse formato estão relacionados diretamente com as alterações na dinâmica morfológica do relevo. (RIBEIRO, 2012, p. 94)

Como, dentre os quatro fatores inerentes ao processo de morfoesculturação (a mineralogia do substrato rochoso, a morfologia estrutural, a ação do clima e a ação antrópica sobre o terreno), apenas os dois últimos são visíveis à superfície e levados a termo na escala histórica de tempo, as comunidades tradicionais vêm convivendo e buscando compreendê-los ao longo de sua trajetória de uso e manejo de suas áreas produtivas, em especial aquelas destinadas ao cultivo e à criação. Assim, são os processos exógenos, e em especial a erosão e os movimentos gravitais de massa (compreendendo as etapas de destacamento do material, seu transporte e sua deposição) os que constituem a questão central da Etnogeomorfologia (RIBEIRO, 2012).

Partindo desta premissa, a Etnogeomorfologia pode ser definida como

uma ciência híbrida, que estuda o conhecimento que uma comunidade tem acerca dos processos geomorfológicos, levando em consideração os saberes sobre a natureza e os valores da cultura e da tradição locais, sendo a base antropológica da utilização das formas de relevo por dada cultura. (RIBEIRO, 2012, p. 49)

E onde “o estudo das formas de relevo e seus processos formadores buscam uma melhor organização do uso e do manejo da paisagem pelas sociedades humanas (RIBEIRO et al., 2012, p. 411).

Dessa forma, várias naturezas de conhecimentos, como o geomorfológico, o geográfico, o pedológico e etnopedológico, o ecológico e etnoecológico, e o antropológico, são essenciais para a compreensão da Etnogeomorfologia (Figura 1), a qual volta-se, principalmente, para a gestão e planejamento do uso do espaço, podendo ser utilizada, também, e de forma substancial, como facilitadora do processo de ensino-aprendizagem nos ciclos básicos da educação.



Figura 1 – Etnogeomorfologia e suas relações com as demais ciências/etnociências, visando a gestão e planejamento locais.

Fonte: RIBEIRO, 2012.

Porém, como salientam Wilcock et al. (2013) em seus estudos sobre os saberes tradicionais indígenas sobre relevo e processos geomórficos, a etnogeomorfologia apresenta uma resposta situada, não relativista para conexões pessoa-paisagem que reflete e defende relações sensíveis ao lugar. Estendendo para além de uma abordagem tradicional das etnociências, a etnogeomorfologia procura ir além de disciplinas científicas interdisciplinares (e suas associadas epistemologias) em direção a uma plataforma compartilhada (se discutida) de transferência de conhecimento e de comunicação que reflete várias maneiras de conectar-se às paisagens.

Como Entender o Conhecimento Tradicional sobre Formas e Processos Geomórficos

Como argumentado anteriormente, o ponto de vista multifocal é fundamental para conhecer e contribuir com comunidades detentoras de culturas específicas, pois para chegarmos à compreensão de como e com que eficácia estas comunidades tradicionais transformam a paisagem morfológica através de suas ações produtivas, necessário de faz, primeiramente, compreender como esta paisagem evolui de forma natural, de acordo com as leis físico-químico-biológicas que regem a morfoesculturação do relevo, assim como de que forma esses agentes sociais de transformação identificam e compreendem

estes processos naturais e as influências de seus atos produtivos sobre os mesmos. Desta forma, Ribeiro (2012) combina três vertentes dos estudos da paisagem para embasar seus estudos de Etnogeomorfologia sertaneja (Figura 2):

- uma voltada para a visão integrativa de seus componentes – em especial o Geossistema de Bertrand (1971, 2009), e a Ecodinâmica de Tricart (1977) e sua releitura feita por Bólos (1981, 1992) – a partir do qual são feitas as análises sobre os processos morfoesculturadores;
- uma baseada na concepção de Geografia Cultural de Sauer (2007), relacionada às diferentes ações impressas nas formas atuais da paisagem pelas sociedades que nela habitam, de acordo com suas história e cultura, da qual é inferido o conjunto de conhecimentos e técnicas habituais que as comunidades tradicionais tem e praticam sobre seu *locus* de vida e produção;
- e uma terceira, codificando como esta paisagem é incorporada na dimensão cognitiva de seus atores, ou seja, como a percepção que os sertanejos tem dos elementos da paisagem – seus processos e formas – vai influenciar de forma decisiva suas ações sobre esta, modificando-a e moldando-a, tendo os estudos perceptivos de Tuan (1980, 1983) como baliza mestra.



Figura 2 – Tríade conceitual utilizada nos estudos de Etnogeomorfologia.
(Fonte: RIBEIRO, 2012)

A partir desta combinação de pontos de vistas sobre a paisagem (a tríade Geossistema-Cultura-Percepção), Ribeiro (2012) delinea um método baseado nos estudos

geossistêmicos, etnográficos e na Etnoecologia, cujo enfoque metodológico permite uma compreensão das atividades intelectuais e práticas executadas por um determinado grupo humano no processo de produção, uma vez que segundo Toledo

“a chave para entender e explicar o processo produtivo das sociedades rurais, encontra-se na descrição das formas existentes de fluxos de matérias, energia, trabalho, mercadorias e informações e como estes fluxos se integram e interagem na realidade concreta”. (TOLEDO, 1996 apud DAYRELL, 1998, p. 3)

Assim, Ribeiro (2012) organizou um método de investigação etnogeomorfológica, cujos procedimentos metodológicos foram divididos em três fases:

1ª fase: Elaboração de material básico – levantamentos de dados bibliográficos e cartográficos, que darão suporte inicial para a elaboração e confecção de roteiro para as entrevistas que devem ser feitas junto aos produtores rurais, assim como para a análise geossistêmica da área pesquisada.

2ª fase: Pesquisa de campo – entrevistas com os produtores rurais, no intuito de identificar e analisar seus conhecimentos vernaculares sobre o funcionamento do meio ambiente, e em especial, dos processos geomórficos externos – erosão, movimentos gravitacionais de massa e assoreamentos.

A seleção de comunidades representativas da cultura rural tradicional deve ser feita levando em consideração dois pontos básicos: a localização em área ambiental e geomorfologicamente representativa (aspectos geoambientais e compartimentação geomorfológica), e a produção agropecuária voltada primordialmente para subsistência (característica que origina a tipicidade das comunidades).

Os dados empíricos são coletados através de observações de campo diretas e intensivas e extensas entrevistas não estruturadas feitas *in loco*, com produtores rurais nascidos e/ou criados no próprio distrito, e escolhidos a partir do grau de conhecimento que tem sobre o local – produtores rurais com bastante experiência no trato com a terra (tipicidade da amostragem) e que mantêm com o lugar de produção e moradia estreitos laços de afinidade, os quais repercutem diretamente no conhecimento de suas características e o uso desse saber no uso e manejo do solo.

Durante as entrevistas, importante se faz visitar as áreas produtivas para melhor observação do manejo do solo, assim como para identificação de cicatrizes de erosões, movimentos gravitacionais de massa e/ou assoreamentos. Podem ser utilizadas, também, imagens fotográficas de cicatrizes para possível identificação destas como formas presentes em algum ponto da propriedade e/ou do sítio, e quando reconhecidas, feita toda uma tentativa de identificação de causa, consequências e nomenclaturas.

3ª fase: Análise dos dados, quando ocorre a identificação dos saberes comuns à maioria dos produtores rurais entrevistados e busca-se responder às seguintes questões:

1 – Qual a percepção ambiental geral que estes produtores rurais têm sobre sua área de produção, ou seja, como eles veem o ambiente onde produzem? Distinguem formas de relevo? Se sim, baseados em quê? Como as classificam/denominam? De onde vêm estes conhecimentos?

2 – Os produtores rurais compreendem os processos de degradação/agradação de material superficial? Como? Fazem distinção entre estes processos – erosão, movimentos

gravitacionais de massa, assoreamento? Baseados em que fazem essa distinção? Fazem alguma classificação? Identificam relação entre esses processos e suas formas correlatas? Têm alguma nomenclatura específica para tais processos e formas? Relacionam esses processos a algum tipo de atividade humana? De onde vêm esses conhecimentos?

3 – Os produtores rurais utilizam este etnoconhecimento no uso e manejo dos solos das suas áreas produtivas (agricultura e /ou pecuária)? De que forma?

A partir da organização dos dados com as principais respostas a cada questão apresentada, pode-se traçar uma síntese dos saberes etnogeomorfológicos da comunidade estudada, que poderá se tornar instrumento básico tanto para a gestão ambiental da área produtiva desta comunidade, como para um diálogo mais profícuo no campo educacional destes povos.

A Etnogeomorfologia na Gestão Ambiental e Territorial

As tomadas de decisão acerca de planejamento e gestão ambientais apresentam pouca efetividade quando a população afetada por essas ações não tem voz, visto que uma maior participação da comunidade nestas instâncias é essencial, a fim de proporcionar uma troca de contribuições.

Nesta perspectiva, os estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de importância ímpar para o planejamento e a gestão ambiental, pois a identificação das fragilidades potenciais e emergentes dos ambientes naturais proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas nos espaços físico-territoriais, servindo de base para o zoneamento e munindo a gestão do território de dados básicos para uma melhor compreensão de sua dinâmica.

Como afirmam Spörl e Ross (2004 p. 39), “a grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada” uma vez que

os mapeamentos das fragilidades ambientais identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade. Através destes documentos torna-se possível apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos, favorecendo então determinados tipos de inserção, assim como áreas mais frágeis onde são necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições. (SPÖRL e ROSS, 2004 p. 48)

Em estudos sobre o semiárido nordestino, Ab’Saber (1969a; 1969b) considerou ser a alta morfogênese dessa área potencializada pelo uso intensivo do solo, demonstrando que além de conceber um modelo para explicar tais formas, é necessário que os estudos estejam mais particularizados observando o contexto social envolvido, considerando este contexto, então, como o principal foco degradador da paisagem da região, diferenciado da ação da natureza em seu processo sem a intervenção externa, isto é, antrópica, que tende para a busca do equilíbrio entre consumo e produção de energia, o que não observa-se nas áreas com fortes modificações antropogênicas nas formas e, consequen-

temente, os processos geomórficos e vice-versa. E esta particularização dos estudos encontra na Etnogeomorfologia sua melhor contextualização.

De acordo com resultados de pesquisas no semiárido brasileiro (RIBEIRO, 2012; LOPES, 2014; SAMPAIO e RIBEIRO, 2014; SAMPAIO, 2015; MACEDO et al., 2015; SOUSA, 2016), assim como com comunidades indígenas na Austrália e no Canadá (WILCOCK et al., 2013), a Etnogeomorfologia apresenta grande potencial para o desenvolvimento das comunidades rurais com cultura tradicional e para que haja um melhor ordenamento local.

A Etnogeomorfologia no Ensino do Relevo

Como afirmam Cavalcanti (1998, 2010), Callai (2000) e Bertolini e Valadão (2009), todos citados por Sampaio (2016), uma proposta de tratamento para o ensino de relevos no ensino básico de forma significativa para os alunos, seria partindo do que o aluno já sabe sobre o tema, o conhecimento prévio ou cotidiano, adquirido através de experiências no seu dia a dia, e/ou na convivência com outras pessoas ou com a própria natureza.

Segundo Bertolini e Valadão (2009, apud Sampaio, 2016),

Pensar o relevo em termos geográficos é pensar em como acontece a percepção da paisagem vivenciada pelos alunos. É aproximá-los das ideias que possuem a respeito da natureza e das atitudes de cada um em relação ao meio ambiente e, por conseguinte, contribuir para a formação de pessoas comprometidas com as preocupações ambientais. Dessa forma, os conhecimentos geomorfológicos tornam-se um instrumento da geografia através do qual o estudante aprende como o relevo está associado às mais diversas atividades humanas – tais como o transporte, a lavoura e a moradia – e como essas relações influenciam a organização socioespacial e são por esta influenciadas (BERTOLINI e VALADÃO, 2009 apud SAMPAIO, 2016, p. 14)

A formação de conceitos pressupõe encontro entre conceitos cotidianos e conceitos científicos. Para a Geografia, alerta-se para a relevância dos conhecimentos cotidianos dos alunos, especialmente a respeito do lugar onde vivem e suas representações sobre os diferentes lugares do globo. O professor deve captar os significados que os alunos dão aos conceitos científicos que são trabalhados no ensino (CAVALCANTI, 2010 apud SAMPAIO, 2016).

Dessa forma, podemos questionar se faz sentido abordar o relevo e seus processos no Ensino Básico de maneira desvinculada da vida do aluno; a geomorfologia trabalhada sem nenhuma relação com o vivido acaba sendo só mais um conteúdo escolar ou um ramo da ciência, porém, ao ser trabalhado como algo real na vida das pessoas, se torna elemento imprescindível para a compreensão do mundo do qual fazem parte.

Assim, a Etnogeomorfologia pode ser um caminho que conduz ao ensino do relevo de modo mais significativo aos discentes, pois segundo Bertolini e Valadão (2009 apud LOPES, 2013, p. 18) “o conceito deve ir ao encontro dos significados já construídos pelo aluno; não simplesmente para lhe mostrar o que há de incongruente em seu ra-

ciocínio, mas para efetivar o conceito como uma explicação plausível e de assimilação significativa”.

Ao identificar previamente tudo que o aluno sabe sobre o relevo e seus processos, e trazendo para as aulas todo esse conhecimento etnogeomorfológico, o aluno reconhecerá as formas e os processos que fazem parte do lugar onde vive e dos caminhos por onde anda e provavelmente isso renderá melhores resultados.

Como afirmam Sampaio, Lopes e Ribeiro (2015, p. 4), “esses saberes são de suma importância para a comunidade acadêmico/científica, pois podem auxiliar em novas práticas de uso e conservação dos solos e relevos, assim como facilitar a troca de experiências entre atores e estudiosos do meio ambiente”.

Considerações Finais

Podemos afirmar que a paisagem representa a síntese concreta das relações entre a sociedade e a natureza, em sua estrutura e em sua dinâmica, materializada em sua espacialidade. Compreender o mosaico das paisagens de um determinado território é desvendar não apenas o significado dos sinais exteriores percebidos pelo sentido da visão, mas, principalmente, compreender os processos estruturadores e dinâmicos da própria realidade percebida.

A qualidade e a quantidade dos recursos naturais que cada sociedade utiliza estão relacionadas com determinada conjuntura social, com motivações e técnicas apropriadas e condicionam o tipo de exploração e, conseqüentemente, uma tipologia espacial que se materializa no território sob a forma do mosaico das paisagens. Assim, a construção da paisagem depende da trajetória histórica da sociedade através de seu território onde esta mesma sociedade se apropria da materialidade da natureza para construir o seu espaço concreto – a sua paisagem.

A análise da percepção dos produtores rurais de cultura tradicional sobre a dinâmica do seu ambiente de vivência e principalmente, de seu *locus* produtivo – o solo e as formas de relevo que o influenciam –, se faz imprescindível para uma melhor adequabilidade das ações de desenvolvimento socioambiental local, viabilizadas a partir de políticas públicas de ordenamento territorial, como os planos de gerenciamento de bacias hidrográficas.

Quando falamos de Etnogeomorfologia, como já explicitado, nos referimos a uma forma de entendimento da ciência pautado na matriz etnocientífica, a qual pondera que o saber constituído, acadêmico e oficializado pelas instituições oficiais de desenvolvimento científico e tecnológico não pode ser considerado como única forma de compreensão da realidade.

Como pondera Ribeiro (2012)

todo o processo de construção do conhecimento ocidental moderno é baseado na lógica e no método, e voltado para a constante “renovação” de verdades, onde o novo conhecimento sempre tem aparência de mais válido. Este tipo de ciência, centrada em verdades e métodos globalizantes, onde leis de fenômenos

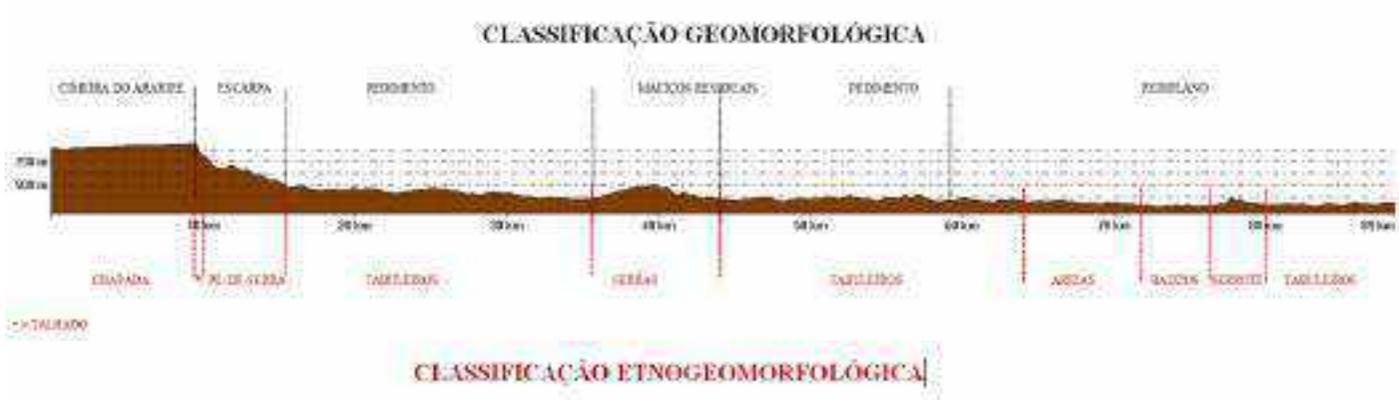


Figura 3 – Correlação entre as classificações geomorfológica e etnogeomorfológica da sub-bacia do rio Salgado, segundo a topografia.
 Fonte: Ribeiro (2012).

gerais são utilizadas para explicar, de forma inalterada e não contextualizada, a realidade de todo e qualquer local, já não pode contribuir de forma efetiva no conhecimento das dinâmicas geoecológicas, sociais e culturais de forma generalizada. (RIBEIRO, 2012, p. 95)

Uma vez que, segundo Morin (2008), “a unidade do universo é (...) unidade complexa. Este universo não exclui o singular pelo geral, não exclui o geral pelo singular: pelo contrário, um inclui o outro: o universo produz suas leis gerais a partir de sua própria singularidade” (MORIN, 2008, p. 444).

Desta forma, a Etnogeomorfologia, assim como as demais Etnociências, pretende contribuir para a construção de um novo modelo para a Geografia, voltado para o desenvolvimento local, uma vez que investigar formas peculiares de conhecimento geomorfológico e a classificação, interpretação e manejo das formas de relevo não são restritos ou originários apenas do saber sistematizado, científico. Como afirma Laraia (2009), a manipulação adequada e criativa do patrimônio cultural adquirido e acumulado através de gerações é o que dá suporte às inovações e às invenções.

A construção de um projeto de gestão ambiental que pondere as especificidades das comunidades rurais e sua relação com o ambiente produtivo exige incentivos financeiros e apoio técnico apropriado, o que pode se tornar mais produtivo a partir de uma troca de saberes tradicionais e acadêmicos que, pode-se concluir, nos estudos de Ribeiro (2012), não são tão diferentes (Figura 3).

Referências Bibliográficas

AB’SABER, A. N. Gênese das vertentes pendentes em inselbergs do nordeste brasileiro. *Geomorfologia*, v. 14, p. 6-8, 1969a.

AB’SABER, A. N. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do nordeste brasileiro. *Geomorfologia*, v. 19, p. 1-38, 1969b.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. *Uma geografia transversal e de travessias — o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades*. Maringá/PR: Massoni, 2009.

_____. Paisagem e Geografia Física Global – esboço metodológico. *Cadernos de Ciência da Terra*. São Paulo: USP/IG, 13, 1971.

BÓLOS, M. Problemática actual de los estúdios de paisaje integrado. *Revista de Geografía*, v. 15, n. 1-2, p. 45-68, 1981. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/viewFile/45940/56766>>. Acesso: 17 set. 2010.

_____. (Org.). *Manual de ciencia del paisaje — teoría, métodos y aplicaciones*. Barcelona: Masson, 1992.

DAYRELL, C. A. Geraizeiros e biodiversidade no norte de Minas: a contribuição da agroecologia e da etnoecologia nos estudos dos agroecossistemas tradicionais. Dissertação (Mestrado) — Universidade Internacional de Andalucia, Sede Ibero Americana de La Rábida, 1998.

DIEGUES, A. C. S. *O mito moderno da natureza intocada*. São Paulo: Hucitec, 1996.

ESCOBAR, A. O lugar da natureza e a natureza do lugar: globalização ou pós-desenvolvimento? In: LANDER, E. (Org.) *A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latino-americanas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires/AR: Clacso (Colección Sur Sur), 2005, p. 133-168. Disponível em: <<http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/lander/pt/Escobar.rtf>>. Acesso: 10 jul. 2009.

LARAIA, R. B. *Cultura: um conceito antropológico*. 23. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2009.

LEFF, E. *Ecologia, capital e cultura — a territorialização da racionalidade ambiental*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

LOPES, V. M. Etnogeomorfologia sertaneja: análise comparativa entre os conhecimentos tradicionais dos produtores rurais familiares sobre os processos morfoesculturadores e sua utilização no uso e manejo do solo nos municípios do Crato e Barbalha/CE. Trabalho Final de Iniciação Científica. Crato/CE: Degeo/Urca, 2014.

LOPES, V. M. O conhecimento etnogeomorfológico: um instrumento pedagógico no ensino do relevo nas aulas de Geografia. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Geografia. Crato/CE: Degeo/Urca, 2013.

MACÊDO, F. R. B.; SOUSA, S. G.; RIBEIRO, S. C. Percepção dos produtores do Sítio Motas, Farias Brito/CE acerca das formas de manejo do solo nas áreas de produção. In: Simpósio de Geografia Física e Aplicada — Territórios Brasileiros: Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades, 16, 2015. *Anais*. Teresina: UFPI/UESPI, 2015, p. 1830-1836.

MORIN, E. *O método 1 — a natureza da natureza*. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2008. 479 p.

PORTO-GONÇALVES, C. W. Apresentação da edição em português. In: LANDER, E. (Org.). *A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latino-americanas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires/AR: Clacso (Colección Sur Sur), 2005, p. 9-15. Disponível em: <<http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/lander/pt/ApreemPort.rtf>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

RIBEIRO, S. C. Etnogeomorfologia sertaneja: proposta metodológica para a classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2012. 284p.

____; LIMA, G. G.; MARÇAL, M. S.; CORRÊA, A. C. B. Etnogeomorfologia sertaneja: metodologia aplicada nos sítios Farias e Santo Antônio, Barbalha/CE. *Revista Geonorte* – Edição Especial. Manaus: UFAM, 2(4): 408-420, 2012.

SAMPAIO, J. M.; LOPES V. M.; RIBEIRO, S. C. Etnopedogeomorfologia de uma comunidade tradicional de Porteiras/CE: o conhecimento tradicional como forma de aprendizado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM SOLOS: SOLO, AMBIENTE E SOCIEDADE: CULTIVANDO SABERES E VIVÊNCIAS, 7, 2015. *Anais*. Recife: SBCE, 2015, p.1-4.

____; RIBEIRO, S. C. Etnogeomorfologia sertaneja: estudo aplicado ao Sítio Sozinho, Porteiras/CE. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 10, Manaus, 2014. *Anais*. UGB: UFAM, 2014. Disponível em: <<http://sinageo.org.br/2014/trabalhos/9/9-242-1063.html>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

____. Etnogeomorfologia sertaneja: análise comparativa entre os conhecimentos tradicionais dos produtores rurais familiares sobre os processos morfoesculturadores e sua utilização no uso e manejo do solo nos municípios do Brejo Santo e Porteiras/CE. Trabalho Final de Iniciação Científica. Crato/CE: Degeo/Urca, 2015.

____. Geomorfologia e conhecimento cotidiano na sala de aula: uma experiência na prática de ensino de Geografia no Ensino Fundamental II no município de Brejo Santo/CE. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Geografia. Crato/CE: Degeo/Urca, 2016.

SAUER, C. O. Geografia cultural. In: CORREA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Orgs.). *Introdução à geografia cultural*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p.19-26.

SOKAL, A.; BRICMONT, J. *Imposturas intelectuais — o abuso da ciência pelos filósofos pós-modernos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SOUSA, S. G. Etnogeomorfologia sertaneja: análise dos conhecimentos tradicionais dos produtores rurais familiares sobre os processos morfoesculturadores e sua utilização no uso e manejo do solo nos municípios de Farias Brito e Granjeiro/CE. Trabalho Final de Iniciação Científica, Crato/CE: Degeo/Urca, 2016.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP — Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Fibge, 1977.

TUAN, Y-F. *Topofilia — um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente*. São Paulo: Difel, 1980.

Simone Cardoso Ribeiro

_____. *Espaço e lugar: a perspectiva da experiência*. Tradução de Livia de Oliveira. São Paulo: Difel, 1983.

WILCOCK, D.; BRIERLEY, D.; HOWITT, R. V. *Ethnogeomorphology. Progress in Physical Geography*, Sydney/Austrália: Macquarie University, 2013, p. 1-28.

WILD, A. *Soils and the environment: an introduction*. Cambridge, USA: Cambridge University Press, 1993.

Recebido em: 5/6/2016

Aceito em: 15/6/2016

Tendências Contemporâneas na Aplicação do Conhecimento Geomorfológico na Educação Básica: a Escala sob Perspectiva

Contemporary Tendencies on Geomorphological Knowledge Usage in Basic Education: Scale under Perspective

Valéria de Oliveira Roque Ascensãoⁱ
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

Roberto Célio Valadãoⁱⁱ
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

Resumo: Em qual medida os conhecimentos geomorfológicos trabalhados pela Geografia Escolar são relevantes à vida cotidiana dos alunos da educação básica? Em torno dessa questão gravitam as discussões trazidas neste texto, cujo fim é questionar a pertinência e o significado dos referidos conhecimentos nas salas de aula brasileiras. Para tanto, inicia-se abordando os caminhos epistêmicos assumidos pelo conhecimento geomorfológico, buscando reconhecer as linhas gerais que fundamentam essa ciência. Na sequência, traça-se paralelo entre o conhecimento geomorfológico científico-acadêmico e o formato em que esse se apresenta em livros didáticos brasileiros produzidos da década de 1940 até os dias atuais. Finalizando, apresentam-se os conhecimentos referentes ao relevo considerados de necessária apropriação pela Geografia Escolar, afirmando-se que tal alteração demandará mudanças paradigmáticas no enfoque escalar até então empregado no ensino do referido conteúdo junto aos educandos da educação básica brasileira.

Palavras-chave: Escala; Conhecimento Geomorfológico; Ensino de Geografia; Espacialidade.

Abstract: To what extent geomorphological knowledge discussed by scholar Geography are relevant to students daily life? This question is surrounded by the discussions on this work, which end is to question the relevance and the meaning of the aforementioned knowledge in brazilians classrooms. Therefore, it starts talking about the epistemic paths assumed by geomorphological knowledge, trying to acknowledge the epistemic lines underlying this science. Next, it draws a parallel between scietinfc geomorphological

ⁱ Prof^a Dra. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). valeriaroque@gmail.com.

ⁱⁱ Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). valadao@ufmg.br.

knowledge and the one present in text books from 1940 until today. Finally, it presents the relevant knowledge about relief considered to be necessary to scholar Geography, affirming that such alteration will demand paradigmatic changes on how scale has been discussed with Brazilian students up until now.

Keywords: Scale; Geomorphological Knowledge; Teaching Geography; Spatiality.

Introdução

O processo de ensino e aprendizagem no Brasil verificado no que contemporaneamente se denomina educação básica, embora historicamente tenha tratado de variada gama de conhecimentos e saberes, jamais teve como disciplina escolar a Geomorfologia. Todavia, a considerar pela produção de livros didáticos, os conhecimentos geomorfológicos, ainda que com pequenas variações, estão presentes na escola brasileira desde meados da década de 1800, quando a Geografia passa a compor seu elenco disciplinar. A análise comparada desses materiais àqueles Livros Didáticos (LDs) hoje empregados no ensino da Geografia nas escolas brasileiras revela caráter surpreendente: a permanência e linearidade do conhecimento geomorfológico posto em diálogo com a Geografia ao longo de praticamente os últimos 160 anos. Não que traços até fundamentais do conhecimento geomorfológico não tenham sido arejados e introduzidos em diálogo com a Geografia nesse tempo. De fato a análise geomorfológica, mesmo na escola, tem contemplado avanços consideráveis por que passa a investigação do objeto de análise da Geomorfologia – as formas de relevo e suas múltiplas gêneses e dinâmicas –, porém, trata-se, mais das vezes, da incorporação de resultados decorrentes de avanços tecnológicos produzidos em centros de pesquisas e universidades, mantendo-se o já histórico caráter de distanciamento desses resultados e seus significados da realidade do aluno que se vê, correntemente, impossibilitado de aplicar, ao seu cotidiano, o conhecimento geomorfológico como significativo em suas ações individuais e coletivas. Para que serve então essa geomorfologia para crianças e adolescentes em pleno processo de construção de suas identidades e, mais ainda, de seu papel social?

Este é o objetivo deste artigo: discutir o significado, e por que não até mesmo a pertinência, do conhecimento geomorfológico no ensino da Geografia Escolar, caso seja dada continuidade do enfoque dessa temática vigente ao longo das seis últimas décadas. Não obstante, interessa aqui aclarar acerca de dimensões do conhecimento geomorfológico que coadunam em maior proximidade aos anseios do ensino da Geografia Escolar contemporânea, reafirmando a relevância do conhecimento geomorfológico na educação, porém, não este ainda hoje presente, mas aquele reconfigurado em suas escalas espacial e temporal, como veremos.

Para tanto, de início, a produção do conhecimento geomorfológico engendrado em centros de pesquisa e universidades é aqui rapidamente discutida, buscando-se reconhecer as linhas epistêmicas em que essa ciência se fundamenta. A seguir, traça-se um paralelo entre essa produção e seus resultados com a geomorfologia que, em dado momento, é trazida até à educação básica no bojo da Geografia Escolar. Seus significado e pertinência nesse nível de ensino são então analisados. Finalmente, faz-se a adoção

daqueles conhecimentos geomorfológicos que, segundo os autores, manifestam-se em caráter de urgência de apropriação pela Geografia Escolar, o que necessariamente exigirá mudanças do enfoque escalar até então largamente empregado no tratamento do relevo por crianças e adolescentes na escola.

A Produção do Conhecimento Geomorfológico e suas Epistemes

O conhecimento geomorfológico até então produzido revela traços indeléveis do caráter interdisciplinar dessa ciência – a Geomorfologia –, como também de seus alicerces ancorados na Geografia Física. A trajetória epistêmica dessa ciência (Reynaud, 1978), e em particular a interpenetração de saberes nela conduzida mais fortemente nas últimas duas décadas, acabou por aprofundá-la cientificamente mediante diversificação dos procedimentos metodológicos empregados, cada vez mais comprometidos com sua aplicação no planejamento e ordenamento do território em diferentes níveis e escalas territoriais (JOLY, 1998). Todavia, essa aplicação não constitui caráter transversal e equânime na Geomorfologia nem mesmo hoje, como também nem se configurou como dimensão inseparável de suas possibilidades investigativas.

Não se pretende aqui efetivar análise exaustiva acerca da trajetória da Geomorfologia como ciência; não obstante, nos interessa demarcar as orientações fundamentais que nela vigoram em consonância às tendências mais contemporâneas da própria Geografia Física. Síntese dessas orientações já foi objeto de análise por demais colegas, a exemplo dos esforços empreendidos por Gregory (1985), Goudie (1994) e Cunha (2006). Recorrendo-se a essas análises depreendem-se, em linhas gerais, pelo menos dois grupamentos de orientações cuja distinção se ancora na perspectiva escalar de *tempos* e de *dimensões espaciais* investigados.

Um desses grupamentos contempla a denominada Geomorfologia evolucionária ou histórica. Seus estudos estão comprometidos mormente com a reconstrução das condições morfogenéticas que vigoraram na elaboração de grandes conjuntos de relevo (as macroformas), em que se busca explicitar possíveis condicionantes litoestruturais e os ritmos das manifestações tectônicas e paleoclimáticas. Trata-se da Geomorfologia denominada integral por Hamelím (1964). Filia-se, *grosso modo*, à perspectiva clássica comprometida com a descrição, classificação e evolução das paisagens, tal qual como preconizado pela Geografia Física. No Brasil, as análises do relevo postas em prática sob essas orientações constituíram a própria base dos estudos geomorfológicos, conduzidos sob forte tradição francesa. Compreendeu-se, por meio dela, os traços fundamentais do relevo do país, sua compartimentação regional e sua relação com o diversificado arcabouço geológico do território nacional. Surgiram, no seu bojo, as interpretações acerca da gênese do relevo atrelada a sucessivas fases de estabilidade das condições do nível de base regional e consequente aplanamento do relevo, dando curso à elaboração das clássicas superfícies de erosão (DE MARTONNE, 1943; FREITAS, 1951; KING, 1956, 1962; BARBOSA, 1965; KLAMMER, 1981; PONÇANO e ALMEIDA, 1993), cuja elaboração era por vezes interrompida por estágios de crises manifestas por vigorosa incisão da rede de drenagem e elaboração de paisagens epigênicas (VALADÃO, 2009). Daí resultam, por exemplo, as nem sempre convergentes classificações do relevo brasileiro propostas por

Aroldo de Azevedo na década de 1940, Aziz Ab'Saber nos anos de 1960 (AB'SABER, 1964) ou mesmo Jurandyr Ross na década de 1980 (ROSS, 1985), tão largamente empregadas, a seu tempo, nos LDs de Geografia.

Desse quadro geral cabe destacar que se trata, fundamentalmente, de uma geomorfologia de tempos longos (FERREIRA, 1999; CUNHA, 2006), correntemente também designado tempo profundo (SUERTEGARAY e NUNES, 2001; SUERTEGARAY, 2002), em que a temporalidade investigada pela Geologia ganha notório destaque. Nesse tempo não cabe o homem, nem se registram suas ações e tão pouco as consequências inerentes à sua relação com a natureza, não se tratando conseqüentemente de uma Geomorfologia que possa ser rotulada aplicada. Para que se compreenda esse aspecto que se revela de importância primordial à análise aqui efetivada nos parece suficiente relembrar que o surgimento do homem no planeta se deu há pouco mais de 10 mil anos (no alvorecer do Holoceno), e que sua ação mais significativa na apropriação e reprodução dos espaços até então naturais ou pouco antropizados ganhou impulso mais significativo somente a partir do século XVIII (limite proposto, por alguns estudiosos, para o Antropoceno), pouco ultrapassando, portanto, os últimos 300 anos. Éramos, em 1700, cerca de 600 milhões de habitantes em todo o globo; hoje somos mais de 7 bilhões.

Porém, porquê então a análise geomorfológica de tempos longos? A resposta a essa pergunta está atrelada à dimensão espacial dos recortes eleitos à conta de objeto de investigação pela Geomorfologia histórica. A análise dos conjuntos regionais do relevo interessa pelas macroformas, cuja investigação comumente se atrela à denominada megageomorfologia (GARDNER e SCOGING, 1983); nela, a gênese dos grandes conjuntos de forma constitui a tônica fundamental da investigação, de modo que sua explicação inevitavelmente se reporta a fenômenos processados ao longo do tempo geológico. O reconhecimento do papel da dinâmica das placas litosféricas ao longo desse tempo, bem como a compreensão do seu significado para a evolução do relevo continental, constituem hoje a base fundamental de raciocínio da Geomorfologia de tempos longos, em certa medida revigorada e impulsionada pelos avanços verificados nas últimas décadas quanto ao conhecimento mais aprofundado da tectônica global em curso no planeta (BAKER e TWIDALE, 1991).

O segundo grupamento da investigação geomorfológica que aqui nos interessa fazer referência é aquele alicerçado nas perspectivas escalares de tempos curtos e da dimensão espacial cujo objeto fundamental de análise é a vertente. Trata-se, sobretudo, dos estudos destinados à compreensão dos processos, particularmente aqueles modeladores do relevo, tais como as dinâmicas de vertentes, de fundos de vale (fluvial), marinha, eólica e glacial. É nessa modalidade de investigação, e no conhecimento por ela produzido, que se fundamenta a denominada Geomorfologia aplicada, que procura conceber a ela um objetivo utilitário, notadamente nas perspectivas do planejamento ambiental e do ordenamento do território. Nessa Geomorfologia de tempos curtos, na concepção de Hamel (1964) designada funcional, é que se inserem, portanto, os estudos voltados para a inventariação de recursos naturais, cada vez mais contributivos para a análise de riscos naturais e para a avaliação de impactos ambientais, essa última fomentada pelas normatizações que no Brasil regem a elaboração de EIA/RIMA e de seus desdobramentos.

No caso brasileiro, destacam-se, nos estudos dos riscos naturais, aqueles vinculados aos movimentos de transferência gravitacional de massa, da erosão hídrica e das inundações, ou seja, o conjunto de riscos hoje habitualmente adjetivados como geomorfológicos.

Esse caráter aplicado da Geomorfologia de tempos curtos, ou seja, daqueles tempos em que se processam as complexas relações entre o homem, suas organizações e construções sociais e o relevo, concentra seus esforços na investigação da dinâmica das formas (morfodinâmica), fazendo-se desnecessárias e até mesmo inapropriadas incursões quanto a gênese das mesmas (morfogênese). Esses tempos curtos podem abranger desde o tempo histórico até o tempo imediato, de modo que o tempo geológico praticamente em nada importa à análise.

A Figura 1 procura sintetizar essas considerações até aqui tratadas, com destaque para as relações que se verificam entre a Geomorfologia e suas possíveis trajetórias investigativas frente às escalas temporal e espacial.



Figura 1 – Trânsitos escalar temporal e dimensional na investigação geomorfológica. A rotação horária ou anti-horária do Ponteiro de seleção da Escala Geomorfológica, sobre um ponto “P”, explicita as diversas possibilidades de trânsito escalar das investigações cujo objeto de análise é o relevo. Observe que a Geomorfologia de tempos curtos é aquela comprometida com as transformações socio-reprodutoras e, conseqüentemente, é aquela denominada aplicada.

Finalmente, cabe salientar dois outros aspectos fundamentais da Geomorfologia de tempos curtos. O primeiro deles se refere ao destacado papel que a cartografia geomorfológica tem desempenhado no reconhecimento e caracterização dos processos vigentes na dinâmica de encostas e fundos de vale, ao comunicar problemas e propostas de mitigação a técnicos e especialistas ambientais e a tomadores de decisão. O mapeamento geomorfológico ocupou lugar fundamental nos estudos ambientais em que o objeto investigado tem no relevo um de seus componentes espaciais. Trata-se, aqui, da incur-

são da espacialidade como traço essencial das análises geomorfológica e ambiental, desvinculando-se, claramente, da abordagem marcadamente cronológica da Geomorfologia histórica ou evolucionária. Esse fato é de fácil compreensão, tendo em vista a dificuldade e até mesmo às vezes a impossibilidade em se definir os contornos espaciais de um fenômeno cuja materialidade já se perdeu ao longo do tempo geológico. Na Geomorfologia de tempos curtos as etapas ou fases evolutivas por que passou o relevo cedem lugar à concretude da espacialidade e da interação dos objetos e processos em análise, plenamente reconhecíveis e por vezes mapeáveis e, caso se queira, passíveis de mensuração e quantificação.

Esse o segundo aspecto aqui a se salientar: a dimensão essencialmente morfológica e quantitativa envergada por parcela considerável das investigações geomorfológicas de tempos curtos. Esse aspecto se vincula às tendências quantitativas da Geografia que ganharam notoriedade a partir da segunda metade do século XX. É no contexto dessas tendências que se inserem, por exemplo, os modelos quantitativos voltados para a análise de vertentes e bacias de drenagem, para a mensuração de taxas de erosão em parcelas experimentais ou aferidos a partir de instrumental instalado em distintos usos agrícolas do solo ou formações vegetais, como também para a quantificação de transformações em curso junto às linhas de costa.

Todavia, nessa profusão de orientações investigativas postas a serviço da Geomorfologia, qual(is) aquela(s) empregada(s) nos LDs de Geografia no Brasil? Há, dentre essas orientações, aquela que possa atender, e inclusive qualificar, as demandas contemporâneas da Geografia Escolar?

O Conhecimento Geomorfológico na Educação Básica Brasileira: Permanência e Linearidade

Antes de se adentrar na especificidade do que aqui se propôs considera-se relevante a apresentação de alguns princípios referentes à ciência geográfica, os quais dizem respeito à Geografia Escolar: (i) muitos foram os que olharam para o espaço e diversas foram as “lentes” por eles utilizadas, entretanto, todos enxergaram nele elementos humanos e físicos; (ii) os que olharam se preocuparam em responder questões considerando o tripé metodológico da Geografia, qual seja, responder: Onde? Como? Por quê?; (iii) por fim, declara-se compreender que o objeto desse campo de estudos seja a espacialidade do fenômeno (ROQUE ASCENÇÃO e VALADÃO, 2014; GOMES, 2009) (Figura 2).

Considera-se que todos esses aspectos se aplicam à espacialização de qualquer fenômeno, seja ele majoritariamente de ordem física ou de ordem humana. Destaca-se, ainda, o entendimento de que não se possa estabelecer uma metodologia única para as análises geográficas, pois deverá ela ser consoante ao fenômeno-espacialidade que se pretende interpretar, bem como em função de suas escalas. Frente a tal afirmação, um último esclarecimento necessário à compreensão da perspectiva assumida neste trabalho: não há ensino ou mesmo estudo da Geomorfologia na educação básica. Nesse nível de ensino as aprendizagens são atribuídas ao conjunto de disciplina escolares, dentre as quais a Geografia. A essa última cabe a produção de práticas pedagógicas compro-

metidas com a interpretação da espacialidade de fenômenos diversos. Tal interpretação não deveria estar comprometida com o ensino de componentes espaciais isolados, a exemplo do relevo, mas sim com a adoção, desde o início, de problemática de ordem espacial que demande compreensão por meio da investigação das múltiplas interações entre os diferentes componentes que o perfazem. Sob tal perspectiva, a presença da ciência geomorfológica e, mais especificamente, dos processos e formas inerentes ao relevo, ocorreria naqueles casos em que a problemática eleita como referência indique esse componente espacial em sua constituição.



Figura 2 – Princípios fundamentais que orientam a análise da espacialidade dos fenômenos na Geografia Escolar. Observe que os conceitos estruturadores espaço, tempo e escala ocupam lugar central na análise geográfica (a). As interações espaço-temporais que se dão entre processos físicos e humanos, representadas em (b), são, na Geografia, investigadas mediante tripé metodológico alicerçado na localização, descrição e interpretação da espacialidade dos fenômenos (c).

As colocações anteriores são essenciais quando se pretende discutir o significado e a pertinência da abordagem dos conhecimentos sobre as formas e processos do relevo na educação básica. As questões que tangenciam este artigo emergem de insatisfações quando do trabalho com o conteúdo relevo no referido nível de ensino.

Mas afinal, o que caracteriza a abordagem dos conhecimentos sobre o relevo nos anos da educação básica? Buscando aclarar essa questão, realizou-se uma investigação em LDs de Geografia.

Em um primeiro movimento investigativo foram analisados 30 LDs destinados ao 6º ano do Ensino Fundamental II, todos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) Geografia para os anos de 2008, 2011, 2014, 2017 (BRASIL, 2007, 2010, 2013, 2016). Selecionou-se esse ano escolar por ser nele o conteúdo relevo apresentado mais claramente em textos e representação gráficas e espaciais. Embora o relevo seja tema recorrente nos programas curriculares oficiais para o Ensino de Geografia, e apareça no sumário da maioria dos LDs dessa disciplina escolar há mais de 100 anos no país, sua definição conceitual no interior das obras não se mostrou simples ou clara.

O exame dos LDs indicou que com frequência o relevo é definido como o “resultado de ações simultâneas entre as forças endógenas e exógenas”, ou como “camada mais superficial da crosta da Terra, marcada por uma superfície irregular, com muitas formas e altitudes diferentes”. Afirmar tais frases como equivocadas seria um exagero, mas aceitá-las como a conceituação do que seja relevo é certamente pouco preciso.

Embora existam trabalhos que se dedicaram à análise de conceitos no interior dos LDs (NOVAIS, 2016), avalia-se que para além de sistematizações conceituais precisas um material instrucional destinado à Geografia Escolar deve se comprometer com a construção de raciocínios que dialogam com problemáticas espaciais. A produção de tais raciocínios se sustenta nos ensino e aprendizagem de conhecimentos significativos (AUSUBEL, 1982).

Mas, se a definição do conceito de relevo é de importância menor para o trabalho escolar com esse conteúdo, por que trazê-la para este texto? Os dois conceitos apresentados, mesmo que incompletos, destacam que processos e formas são tidos como relevantes no estudo desse componente espacial. Contudo, como já se afirmou, caso se considere imprescindível que o relevo nos LDs e na escola deve vir associado a outros componentes espaciais e que, em interação com esses últimos, deve contribuir para a interpretação de um dado fenômeno, torna-se essencial também que aos alunos fosse ensinado observar e reconhecer essas formas e processos diante do fenômeno-espacialidade abordado. Para tanto, há um componente fundante da análise geográfica que incide também diretamente nos estudos de ordem geomorfológica: a escala. Cabe ressaltar que aqui se tem a escala para além de um parâmetro métrico, que diz de reduções e ampliações de áreas representadas. A escala é aqui assumida como referência geográfica a respeito da abrangência de um dado fenômeno. Como afirmou Kohler (2001), uma perspectiva metodológica que permite a compreensão espaço-temporal de um dado fenômeno; destacam-se, nesse contexto, os trânsitos escalar temporal e dimensional na investigação geomorfológica, já sistematizados na Figura 1.

A fim de definir o termo Geomorfologia, Queiroz Neto (2009) acaba por indicar que o relevo possa ser compreendido como o conjunto de formas presentes na superfície terrestre. Segundo Guerra e Guerra (2001), tal conjunto abarca macroformas ou macrorrelevos, tais como, planaltos, planícies e depressões; mesoformas ou mesorrelevos, a exemplo das vertentes; microformas ou microrrelevos, sulcos. Tomando como base a proposição presente em Guerra e Guerra (2001), abre-se caminho para o que aqui se considera ser o âmago da questão proposta: a escala de abordagem do componente espacial relevo no nível básico de ensino. Nessa linha se demarca que tomar as dimensões temporais e espaciais é essencial para que se compreenda o sentido e a pertinência do conteúdo relevo na Geografia Escolar.

Mas afinal, que dimensões têmporo-espaciais predominam na abordagem do conteúdo relevo nos anos finais do Ensino Fundamental? A identificação das temáticas assumidas quando da abordagem desse conteúdo foram reveladoras para se pensar a abordagem escalar frente às finalidades da Geografia no referido nível de ensino. Com maior, ou menor grau de profundidade, todos os LDs aprovados pelo PNLD (2008 a 2017) trazem conteúdos bastante similares, cuja variação ocorre somente quanto à ordem de sua apresentação: formação e constituição do planeta Terra; tipos de rochas; tectônica global (deriva continental, terremotos e vulcanismos); tipos de erosão; formas de relevo – planalto, planícies e depressões.

Tendo o temário e os textos no interior dos LDs como elemento de análise, verificou-se, nos livros pesquisados, a opção pelo relevo segundo a Geomorfologia de tempos longos (profundo) como conteúdo a ser trabalhado junto aos educandos entre 11 e 13 anos de idade, ou seja, do 6º ano do Ensino Fundamental II. Quanto maior a abrangência espacial, mais profundo será o recuo temporal necessário à compreensão dos processos que nela ocorreram. Para se compreender as macroformas, é necessário um recuo na escala temporal, que remete os alunos à escala dos milhões de anos atrás e às (paleo)formas e (paleo)processos não mais visíveis na paisagem. Nesse caso, o Ponteiro de Seleção da Escala Geomorfológica, rotacionado que está em sentido horário na Figura 1, assim permanece e, mais ainda, tem sua amplitude de movimentação restrita, limitada. Por outro lado, na Geografia, o estudo tendo por referência a paisagem deve favorecer “a compreensão da dinâmica entre os processos sociais, físicos e biológicos” (BRASIL, 1998: 26) que constituem o próprio espaço geográfico. Conclui-se, portanto, que o conhecimento do relevo tal como articulado nos LDs dificulta em muito contemplar o que se propõe para a Geografia Escolar em currículos que visam cumprir orientações já postas pelos PCNs (BRASIL, 1998) e em trabalhos referendados pela comunidade científico-acadêmica. Essas orientações estabelecem com clareza meridiana a necessária rotação anti-horária do ponteiro de seleção, sem a qual se torna inviável, senão mesmo impossível, estabelecer-se o diálogo do relevo com as dimensões socio-reprodutivas de interesse da análise geográfica.

O paradigma de referência para a abordagem do relevo nos LDs tem sido o regional, o que explica o privilégio das macroformas e o distanciamento de uma abordagem que considere o relevo local. A escala espaçotemporal assumida para tal abordagem trata de formas e processos que não se expressam na paisagem na capacidade do olhar e na percepção a altura dos sentidos. A paisagem, categoria de análise do espaço considerada fértil para o trabalho nesse segmento do ensino (CALLAI, 2015), sob a lógica escalar presente nos LDs torna-se pouco ou nada fértil ao trabalho e à captura da dimensão do vivido.

Ao assumirem as macroformas os LDs precisam se reportar a explicações que fogem do visível e do vivido, acabando por utilizar de descrições assentadas na morfogênese. Não se quer aqui afirmar que ao ensino dos processos morfogenéticos não se deva registrar importância. Ou que temáticas ligadas, por exemplo, à tectônica global devam ser retiradas dos currículos dos ensinos fundamental e médio. Indica-se, apenas, que tais processos remetem a milhares de anos passados, de um tempo em que não havia seres humanos e cujos processos independem da existência e da ação humana.

A escolha dos LDs pela Geomorfologia de tempos longos, pelas grandes formas de relevo e pela abordagem regional se distancia dos interesses e finalidades sociais inerentes à Educação e à Geografia Escolar, que são, em específico, munir os sujeitos com entendimentos teórico-metodológicos que os favoreça na atuação sobre situações espaciais concretas. O tempo profundo desloca os sujeitos do pensar no hoje, do hodierno.

Mas, por que dessa opção escalar? Qual a base de referência para a recontextualização do conteúdo relevo nos LDs de Geografia sob a perspectiva em que hoje este se encontra?

Buscando responder a essas questões realizou-se recuo em LDs de Geografia produzidos em outros momentos históricos, mediante exaustiva pesquisa efetivada no Banco de dados de Livros Escolares Brasileiros – LIVRES/USP. Seguindo a mesma orientação usada na seleção dos LDs do PNLD, analisou-se livros destinados ao ginasial, nível educacional hoje correspondente ao Ensino Fundamental II, produzidos a partir da década de 1940. Nessa década a produção de LDs de Geografia se amplia no mercado, indo para além de materiais instrucionais destinados a determinada escola ou classe de um professor. Decidiu-se pela realização de uma busca em cronologia decrescente, tendo como ponto de início a década de 2000 (correspondente aos já citados LDs do PNLD) e de chegada à década de 1940.

A pesquisa apontou para a permanência, década após década, de temários e escala de abordagem. Todavia, duas variações foram percebidas: (i) na década de 1990 a tectônica global passa a explicar a estruturação do relevo terrestre e a consolidação dos continentes; (ii) ao final da década de 1970, a explicação sobre estruturação do relevo passou a considerar a tectônica de placas, vista como uma possibilidade a mais, sem, no entanto, justificar um abandono ao Ciclo Davisiano. Contudo, permaneceu o tempo profundo e as grandes formas. A investigação chegou até a década de 1950 sem se registrar outras variações, mas a partir desse período um autor se destacou: Aroldo de Azevedo. Embora estruturalmente seus livros não apresentassem diferenças relativas à seleção do conteúdo referente ao relevo, merecem destaque a profundidade e o detalhamento dos textos constituintes de suas obras.

A produção didática desse autor inicia-se na década de 1930 e sua relevância para a Geografia Escolar brasileira, se não por outros motivos, pode ser reconhecida frente ao número de títulos por ele produzidos até 1974: aproximadamente trinta LDs, editados sucessivamente até o final da década de 1970. Os LDs de Aroldo de Azevedo tiveram a preferência absoluta entre 1940 e 1970 e sua adoção na maioria das escolas foi responsável pela formação de várias gerações de brasileiros (PEREIRA, 1988). De fato, é o seu LD que dá início à produção em escala nacional desses materiais instrucionais; daí a grande importância em compreendê-lo.

Azevedo foi um geógrafo formado na tradição francesa regionalista lablachiana, tendo sido aluno de Emanuel De Martonne. Produziu a primeira regionalização do relevo brasileiro, a qual foi amplamente divulgada nos LDs, até que a reorganização de Aziz Ab'Sáber assumisse esse lugar. Com Azevedo se solidifica a escala macro como perspectiva de se estudar o relevo brasileiro na educação básica; um Brasil constituído por planaltos e planícies não visíveis ao olhar; um relevo que aparentemente não transita entre escalas, mas que caminha linearmente das grandes formas até a escala da vertente.

Curioso que a escala espacial da leitura regional remetia os olhares e as explicações de Azevedo à estrutura geológica, portanto, o regredia à escala de milhões de anos, mesmo quando a vertente era introduzida na análise. Há nítida prevalência da morfogênese sobre a morfodinâmica e um relevo distanciado da vida humana cotidiana.

Ao abordar os agentes modificadores do relevo, Azevedo (1946) classifica-os em agentes: de origem interna (movimentos tectônicos ou deslocamentos, que produzem dobras ou fraturas; vulcanismo; abalos sísmicos ou tremores de terra) e agentes de origem externa (intemperismo, águas correntes ou do mar; os ventos e as geleiras; os seres vivos). Com relação aos agentes do segundo grupo, embora associados à ocorrência de ações violentas e rápidas, avalia-se que em virtude da escala espacial assumida – planetária ou regional – para tratar os fenômenos dessa natureza, novamente a escala temporal utilizada para explicação dos processos executados permanece em milhares de anos. Além disso, ainda que o autor aponte os seres vivos como agentes de origem externa, não incorpora nesse conjunto os seres humanos. Repete-se: a escala espacial base para abordagem dos fenômenos nos LDs de Azevedo não permitia que na dimensão temporal a ação humana se fizesse expressar sobre esse relevo.

As leituras de suas obras indicam a permanência da lógica aqui já exposta ao longo de todo período em que foram publicadas. As mudanças observadas dizem respeito ao nível de detalhamento dos processos que geram as formas de relevo. De 1950 em diante os livros de Azevedo tornam-se menos explicativos e mais descritivos: os processos de relevo deixam de aparecer cuidadosamente demonstrados e o autor passa a tratar da descrição das formas; por vezes cita o embasamento rochoso sobre o qual as formas foram modeladas, destacando, sem explicar, a importância dos referenciais geológicos para a compreensão da constituição das formas e classificando as formas de relevo, privilegiando montanhas, planaltos, depressões e planícies. Permanece o foco na morfogênese, mas agora a ausência das formas mais visíveis, tais como a vertente anteriormente presente em seus livros, distancia ainda mais o relevo do “olhar”.

Responder sobre as razões dessa mudança não cabe ao escopo desse artigo. Inferese apenas que tais opções derivaram de decisões editoriais. O importante, para o que aqui se pretende, é a identificação de uma tradição na organização dos LDs tendo assento na obra de Aroldo de Azevedo: os demais livros didáticos produzidos após as obras desse autor tomaram-nas como referência. O exame de LDs produzidos nas décadas de 1950, 1970, 1980 e, ainda, em 1990, apresentou em seus sumários uma organização do conteúdo muito similar aos livros do referido autor. Entretanto, se foi indicada uma simplificação nas obras de Aroldo de Azevedo ao longo das décadas examinadas, avalia-se que tal simplificação tornou-se ainda mais significativa nos LDs produzidos nas décadas seguintes: passou-se simplesmente à apresentação de formas (planalto, planície, depressão) e à indicação dos processos exógenos e endógenos na constituição do relevo.

A atuação acadêmica de Aroldo de Azevedo foi superior à sua atuação no nível básico de ensino. Seu texto era denso, assemelhando-se aos textos acadêmicos produzidos à época e mesmo na atualidade com fins de se formar futuros geógrafos. Não há indicativos em seus LDs de preocupações relativas às possibilidades cognitivas dos alunos de destino das obras (na faixa dos 11 aos 16 anos de idade). Cabe ressaltar que as orientações presentes nos programas curriculares elaborados por Delgado de Carvalho

(1925) já indicavam a necessidade de superação de alguns aspectos presentes na obra de Azevedo: o excesso de informação e o caráter descritivo e mnemônico de seu texto. Contudo, essas indicações passavam ao largo das obras didáticas aroldianas.

Como esclarece Vlach (2001), Aroldo de Azevedo não dialogou com publicações didáticas, e, possivelmente, não tenha dialogado com as ideias de Delgado de Carvalho. Desse modo, considera-se que a ausência desse diálogo, no mínimo, minimizou a relevância dos conhecimentos pedagógicos gerais ao tratar do relevo (e possivelmente de outros conteúdos). Esse fato, somado à formação regionalista de Azevedo, não o fez questionar a escala do tempo profundo e das grandes formações como enfoque para o estudo dos aspectos geomorfológicos. Possivelmente o autor não se questionou quanto a relevância do trânsito escalar para a aprendizagem dos alunos. Todavia, o que surpreende é que assim permanece até os dias atuais.

A tradição regionalista aroldiana permanece na abordagem do relevo em LDs brasileiros. Diga-se: permanece precarizada, se limitando a citar formas e processos. O relevo tratado como um dado; como um fixo distanciado da vivência cotidiana dos alunos. Os poucos espaços em que aparece ligado a essa última dimensão, o faz por meio da comunicação de tragédias: enchentes e deslizamentos descritos em boxes pequenos no interior dos capítulos. Nesses casos o tempo curto seria o mote explicativo, mas a ênfase é na informação e não na abordagem da espacialização do fenômeno. Assim, um relevo e a escala dos pequenos espaços e tempos não são explorados com fins de entendimento das interações entre componentes espaciais.

Retoma-se então a pergunta: para que serve essa geomorfologia para crianças e adolescentes em pleno processo de construção de suas identidades e, mais ainda, de seu papel social?

Por uma Geomorfologia Socialmente Útil na Geografia Escolar

Quanto a resposta à última questão apresentada ao final da sessão anterior acredita-se que, na maioria dos casos, os conhecimentos geomorfológicos postos aos alunos do ensino básico servem a eles muito pouco ou quase nada.

Em pesquisa realizada junto a docentes geógrafos, atuantes nos anos finais do Ensino Fundamental, Roque Ascensão (2009) identificou aspectos relevantes no que se refere ao trabalho com o conteúdo relevo. Os professores afirmaram, em sua totalidade, que o ensino dos componentes geomorfológicos exige uma abstração que alunos do referido nível de ensino não possuem. Corroboraram com os achados nos LDs afirmando que, em suas práticas pedagógicas, temas como pangeia, orogênese, subducção, tectônica global e seu ensino não contemplam aspectos que favoreçam a relação sociedade/natureza. De acordo com os sujeitos da pesquisa, a escala do local, aquela do visível aos olhos dos alunos, não constitui uma seleção temática por professores dos níveis da educação básica.

Consequentemente, compreende-se aqui que o trânsito entre as escalas temporais e dimensionais naqueles estudos em que as questões geomorfológicas se revelam importantes à análise geográfica constitui uma mudança paradigmática. Tal mudança tem relação direta com as finalidades da Geografia Escolar, já expostas anteriormente. Essa mudança diz de alterações na cultura escolar e na formação de professores.

Como destaca Suertegaray (2000), a definição da escala temporal diz respeito à demarcação do objeto de estudo da ciência geomorfológica. Para essa autora a perspectiva de tempo profundo permitiu se definir os limites do tempo geológico e do tempo geomorfológico, pois “O primeiro abrange a origem da Terra, segundo sua gênese e constituição, e o segundo, as formas existentes na superfície, resultantes de processos endógenos e exógenos” (SUERTEGARAY, 2000). Tratam-se de tempos que não cabem o homem. Reportando-se novamente a Guerra e Guerra (2001) é possível afirmar que as unidades por eles denominadas como macrorrelevos – particularmente planaltos e depressões – tiveram sua gênese há milhões de anos. São macro formas de longos espaços e longos tempos. Associando-se esses três últimos autores às impressões trazidas pelos depoimentos docentes, uma ideia se estrutura: a escala assumida pelo ensino, ao remeter-se aos tempos longos e aos grandes espaços se distancia da dimensão do visível e exige um tipo de abstração mais complexa.

Para Piaget (1976) há dois modos de abstração, correlativos entre si. O primeiro, denominado abstração empírica, refere-se à capacidade de o sujeito cognitivo refletir sobre os objetos estando em contato direto (ativo) ou perceptivo com eles. O segundo, abstração reflexiva, diz de compreensões possíveis a partir de concepções, sem demandar o contato objetivo do aprendiz com o objeto de aprendizagem. Sob tal prisma, o ensino do relevo nos anos do Ensino Fundamental se encontra numa inadequação cognitiva e, acredita-se, que a não concretização de aprendizagens a partir do vivido acaba comprometendo a complexificação conceitual, o trabalho com base na abstração reflexiva demandado nos anos subsequentes do ensino.

Partindo dessas constatações, propõe-se aqui uma possibilidade para a abordagem do relevo e suas dinâmicas que parte do vivido, daquilo que é continuamente experienciado pelos educandos. Tomar essa escala como ponto de partida, é necessário esclarecer, não significa negar o trânsito entre escalas, tão caro à Geografia Escolar. Entende-se, pois, o vivido como uma base que permita a visualização de processos do relevo, da interação desses com outros componentes espaciais e seu entendimento como um dos elementos explicativos de uma dada espacialidade. Com esse fim se propõe a vertente como referência base ao trabalho com o conteúdo relevo nos anos da educação básica. Se no Ensino Fundamental a vertente favorece a construção de abstrações empíricas, no Ensino Médio ela poderá servir como base comparativa, contribuindo para o trânsito escalar e, assim, permitindo mais amplas compreensões acerca da abrangência dos fenômenos a serem especializados.

A vertente diz respeito a uma forma de relevo prontamente visível na e pela paisagem. A partir dela os educandos podem reconhecer processos físicos relacionados à evolução do relevo, potencializados ou não pela ocupação humana.

A paisagem, segundo a acepção de Santos (1988, p. 21), pode trazer aos alunos um relevo constituído por “volume, mas também de cores, movimentos, odores, sons etc.” Sugere-se assim que o trabalho com o relevo e suas dinâmicas na Geografia Escolar considere espaços pequenos, cuja compreensão da espacialidade se dê através de tempos curtos, tais como as vertentes. Nelas é possível se identificar processos responsáveis por voçorocamentos e deslizamentos que acometem, por vezes, o cotidiano dos educandos.

A vertente situa o aluno no tempo de sua aprendizagem; no tempo histórico-humano (CASSETI, 2001), no qual ocorrem as apropriações espaciais e o qual permite visualizar os efeitos mais imediatos dessas apropriações. Acredita-se que o estudo partindo dessa forma venha favorecer aos educandos a compreensão da interação entre componentes espaciais; entre a frequência e intensidade das chuvas, as condições de preservação da cobertura vegetal e o tipo de ocupação realizada numa vertente. Acredita-se que assim considerado, os elementos geomorfológicos levados à educação básica através da Geografia Escolar concedam a esse conteúdo significado social efetivo e favoreçam a compreensão e ampliação dos conhecimentos geográficos como *lentes* que possibilitam a leitura do real. Ao se considerar o vivido realiza-se um deslocamento quanto a escala espaço-temporal, que reverbera no deslocamento da ênfase dos estudos: dá-se origem à atuação hodierna. Em decorrência, os educandos poderão entender sua implicação e dos demais sujeitos sociais em eventos cuja compreensão, por vezes, fica restrita a ação dos componentes físicos do espaço.

Considerações Finais

As discussões aqui trazidas permitem algumas constatações acerca do trabalho com o relevo e suas dinâmicas na educação básica. Primeiramente, ao se considerar a abordagem presente em LDs, tais conhecimentos se distanciam de um ensino de Geografia que logre munir os educandos com ensinamentos que os favoreça no exercício de uma cidadania efetivamente ativa.

Depoimentos docentes indicam que esses, em suas práticas pedagógicas, não vão além da abordagem escalar posta nos LDs e assim endossam um ensino do relevo centrado nos grandes espaços e na Geomorfologia de tempos longos. Nessa perspectiva, o relevo acaba não sendo associado a questões do vivido dos alunos que, portanto, provavelmente, não têm a ele atribuído um valor social.

Por fim, algumas dúvidas que merecem destaque para os que atuam na formação docente: Em qual medida a formação de professores nos cursos de Geografia brasileiros corroboram para a manutenção do quadro de distanciamentos apresentado neste artigo? Em qual medida a formação dos futuros docentes, ao trabalhar a Geomorfologia, se questiona quanto as finalidades dela frente aos rumos recentes do ensino de Geografia no país? E, para finalizar, indica-se o que parece óbvio, mas a julgar pelo que aqui se apresentou, não o é: somente é possível ensinar aquilo que se sabe, da forma como se sabe e se acredita relevante para a continuidade de um conhecimento.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N. O relevo brasileiro e seus problemas. In: AZEVEDO, A. de (Ed.). *Brasil, a terra e o homem. As bases físicas*. v. 1. São Paulo: Cia. Editora Nacional, 1964.

AUSUBEL, D. P. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

AZEVEDO, A. de. *Geografia Geral: geografia astronômica, geografia física e geografia humana*. v. 1, 22. ed. São Paulo: Editora Nacional, 1946.

BAKER, V. R.; TWIDALE, C. R. The reenchantment of geomorphology. *Geomorphology*, n. 4, p. 73-100, 1991.

BARBOSA, O. Quadro provisório de superfícies de erosão e aplainamento no Brasil (inferências paleoclimáticas e econômicas). *Revista Brasileira de Geografia*, v. 27, n. 4, p. 641-642, 1965.

BRASIL. Ministério da Educação. *Guia de livros didáticos PNLD — Anos Finais do Ensino Fundamental 2017: Geografia /Ministério da Educação*. Brasília: MEC, 2016. (11 livros)

_____. Ministério da Educação. *Guia de livros didáticos PNLD — Anos Finais do Ensino Fundamental 2014: Geografia /Ministério da Educação*. Brasília: MEC, 2013.

_____. Ministério da Educação. *Guia de livros didáticos PNLD — Anos Finais do Ensino Fundamental 2011: Geografia /Ministério da Educação*. Brasília: MEC, 2010.

_____. Ministério da Educação. *Guia de livros didáticos PNLD — Anos Finais do Ensino Fundamental 2008: Geografia /Ministério da Educação*. Brasília: MEC, 2007.

_____. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais para Geografia 3ª e 4ª ciclos (5ª a 8ª séries). Brasília: MEC, 1998.

CALLAI, H. C. A Geografia e a escola: muda a geografia? Muda o ensino? *Terra Livre*, v. 1, n. 16, p. 133-152, 2015.

CASSETI, V. *Elementos de geomorfologia*. Goiânia: Editora UFG, 2001. (1ª reimpressão)

CUNHA, L. Para quê e a quem serve a Geomorfologia? *Aurora — Geography Journal*, n. 0, p. 29-40, 2006.

De MARTONNE, E. Problemas morfoclimáticos do Brasil tropical atlântico. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 5, n. 4, p. 523-550, 1943.

FERREIRA, A. Investigação em Geomorfologia. Perspectiva histórica e orientações atuais. *Encontros de Geomorfologia*, p. 7-29, 1999.

FREITAS, R. O. Relevos policíclicos na tectônica do Escudo Brasileiro. *Boletim Paulista de Geografia*, n. 7, p. 3-19, 1951.

GARDNER, R.; SCOGING, H. (Eds). *Megageomorphology*. Oxford: Clarendon Press, 1983.

GOMES, P. C. da C. Um lugar para a Geografia: contra o simples, o banal e o doutrinário. *Espaço e tempo: complexidade e desafios do pensar e do fazer geográfico*. Curitiba: ADEMADAN, p. 13-30, 2009.

GOUDIE, A. The nature of Physical Geography: a view from dry lands. *Geography*, v. 79, n. 3, p. 194-209, 1994. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40572574?seq=1#page_scan_tab_contents>. Acesso em: 4 jul. 2016.

GREGORY, K. *The nature of Physical Geography*. Londres: Arnold, 1985.

GUERRA A. T; GUERRA A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HAMELIM, L. E. Géomorphologie: Géographie globale — géographie totale — Associations Internationales. *Cahiers de Géographie de Québec*, v. 8, n. 16, p. 199-218, 1964. Disponível em: <<https://www.erudit.org/revue/cgq/1964/v8/n16/020499ar.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

JOLY, F. Les étapes de la Géomorphologie. *Geochronique*, n. 65, p. 6-7, 1988.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

_____. *Morphology of the Earth*. Londres: Oliver and Boyd, 1962.

KLAMMER, G. Landforms, Cyclic Erosion and Deposition, and Late Cretaceous Changes in Climate in Southern Brazil. *Z. Geomorph. N.F.*, v. 25, n. 2, p. 146-165, 1981.

KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2001. Disponível em: <http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2001/Revista2_Artigo02_2001.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

NOVAIS, M. P. S. A geologia/geomorfologia costeira nos livros didáticos de Geografia: por uma prática pedagógica contextualizada. *Geografia Ensino e Pesquisa*, v. 20, n. 1, p. 84-94, 2016. Disponível em: <<http://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/14214/pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

PEREIRA, R. F. do A. *Da geografia que se ensina à gênese da geografia moderna*. Dissertação (Mestrado em Educação) — Centro de Ciências da Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, 1988.

PIAGET, Jean. *A equilibração das estruturas cognitivas — problema central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1976.

PONÇANO, W. L.; ALMEIDA, F. F. M. de. Superfícies erosivas nos planaltos cristalinos do leste paulista e adjacências: uma revisão. *Cadernos IG/UNICAMP*, v. 3, n. 1, p. 55-90, 1993.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13_Queiroz.htm>. Acesso em: 4 jun. 2016.

REYNAUD, A. *Épistémologie de la Géomorphologie*. Paris: Masson, 1978.

ROQUE ASCENÇÃO, V. de O. *Os conhecimentos docentes e a abordagem do relevo e suas dinâmicas nos anos finais do ensino fundamental*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-7Y5MBJ/valeria__tesefinal_completa.pdf;jSESSIONID=24131A8A33D64E81E9DCAFDE82B422E4?sequence=1>. Acesso em: 20 jun. 2016.

_____; VALADÃO, R. C. Professor de geografia: entre o estudo do conteúdo e a interpretação da espacialidade do fenômeno. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, v. 18, n. 496(03), p. 1-14, 2014. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-496/496-03.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo: FFLCH-USP, v. 4, p. 25-39, 1985. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47094/50815>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

SANTOS, M. *Metamorfoses do espaço habitado*. v. 4. São Paulo: Hucitec, 1988.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; BASSO, L. A.; VERDUM, R. (Org.). *Ambiente e lugar no urbano: a Grande Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 2000.

_____. Tempos longos. Tempos curtos. Na análise da natureza. *Geografares*, n. 3, p. 159-163, 2002. Disponível em: <<http://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/1125/840>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

_____; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. *Terra Livre*, n. 17, p. 11-24, 2001. Disponível em: <<http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/337/319>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 77-90, 2009. Disponível em: <<http://www.ugb.org.br/final/arquivos/Art.%2008%20-%20Geodin%C3%A2mica%20de%20>

Valéria de Oliveira Roque Ascensão e Roberto Célio Valadão

Superf%C3%ADcies%20-%20RBG%2010%20N%C2%BA%202.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2016.

VLACH, V. R. F. Carlos Miguel de Carvalho e a “orientação moderna” em Geografia. In: VESENTINI, J. W. (Org.). *Geografia e ensino: textos críticos*. 5. ed. Campinas: Papyrus, p.149-160, 2001.

Recebido em: 29/5/2016

Aceito em: 22/6/2016

Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios

Modeling in Physical Geography: Theory, Potentialities and Challenges

Nelson Ferreira Fernandesⁱ
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: A modelagem vem se consolidando como importante ferramenta de análise nos diferentes campos da geografia física. Este artigo busca uma reflexão sobre o uso de modelos na geografia física, discutindo suas bases teóricas, as principais potencialidades de aplicação e os maiores desafios a serem enfrentados. São aqui discutidos modelos voltados para a predição, para a retrodição e para o teste de hipóteses. Ênfase é dada à análise dos modelos matemáticos, sejam eles empíricos, determinísticos ou mesmo estocásticos, discutindo as vantagens e desvantagens do uso de modelos concentrados ou distribuídos, assim como transientes ou de equilíbrio. As diferenças entre as etapas de parametrização, calibração, validação e verificação durante o desenvolvimento de modelos são apresentadas e discutidas. Por último, são apresentados alguns dos principais problemas e desafios associados a um efetivo emprego de modelos na geografia física, com destaque para as relações entre modelagem e metodologia científica, a questão da equifinalidade e a determinação das incertezas envolvidas. A discussão aqui apresentada destaca que modelos com elevado grau de acerto não necessariamente representam “bons modelos” em termos conceituais. Para que a modelagem continue se consolidando como importante ferramenta de análise nos diversos campos da geografia física, torna-se fundamental que os usuários se dediquem à compreensão tanto do funcionamento do sistema a ser modelado quanto do modelo em si utilizado, seja em termos de sua estrutura interna ou das hipóteses ali envolvidas. Caso contrário, o usuário se tornará apenas um “piloto de *software*”, perdendo a oportunidade de transformar os bonitos mapas gerados em efetivas ferramentas de análise científica.

Palavras-chave: modelagem, predição, validação, deslizamento, erosão dos solos, cenários futuros, simulação, equilíbrio dinâmico, relaxação, sensibilidade

Abstract: Modeling must be considered as an important analytical tool inside the different areas of physical geography. This paper discusses the general usage of models in physical geography, focusing on their theoretical basis, potential applications and major

ⁱ Prof. Titular do Departamento de Geografia; Coordenador do LAMPEGE – Laboratório de Modelagem Pedogeomorfológica. nelsonff@acd.ufrj.br.

future challenges. Models applied to studies concentrated on prediction, retrodiction and hypothesis testing are presented. Here, main emphasis is on mathematical models, including those based on empirical, deterministic and stochastic relationships, discussing the potentialities and limitations of concentrated and distributed models, as well as those associated with transient and steady-state models. In parallel, the differences related to the steps of parameterization, calibration, validation and verification during the modeling processes are presented. At the end, the main problems and challenges required to achieve an effective usage of the modeling tools in physical geography are discussed, especially those focusing on the relationships between modeling and scientific methodology, the question of equifinality and the determination of the associated uncertainties. In fact, the review presented here shows that models with high prediction success may not necessarily represent “good models” in theoretical aspects. In order to continue its consolidation as an important analytical tool inside the different physical geography fields, model users need to focus on achieve a better understanding both on the mechanisms controlling the system to be modelled and the model itself, in terms of its internal structure and the associated hypotheses. Otherwise, the model user will be only a “software pilot”, wasting the opportunity of turning the beautiful resulting maps in effective tools of scientific analyses.

Keywords: modeling, prediction, validation, landslide, soil erosion, future scenarios, simulation, dynamic equilibrium, relaxation, sensibility

Introdução

Ao longo das últimas décadas, a modelagem se consolidou como importante ferramenta de análise da pesquisa em geografia física. É evidente o grande número de artigos publicados nas revistas especializadas que utilizam modelos, em especial os matemáticos, na simulação e análise de processos atuantes e formas resultantes. Além das publicações em revistas científicas, diversos livros recentes focam na divulgação das aplicações e nos diversos procedimentos associados a modelagem de diferentes sistemas ambientais (por ex., Woldenberg, 1985; Harte, 1988; Huggett, 1993; Wilcock e Iverson, 2003; Inkpen, 2005; Smith e Smith, 2007; Pelletier, 2008; Ford, 2010; Brunet, 2011; Wainwright e Mulligan, 2013).

Paralelamente, nas últimas décadas diversos textos têm buscado uma discussão mais crítica sobre a ferramenta modelagem (por ex., Haines-Young e Petch, 1986; Bauer *et al.*, 1999; Wolman, 2004; Inkpen, 2005; Blue e Brierley, 2016). Portanto, vale aqui uma reflexão sobre como a ferramenta modelagem vem sendo utilizada na geografia física, discutindo suas bases teóricas, principais potencialidades de aplicação e suas limitações. Este artigo representa uma atualização da análise feita nessa linha a vinte anos atrás que teve foco mais específico na geomorfologia (Fernandes, 1996).

Modelos em Geografia Física

Embora, como já atestado por Minshull (1975), a proposição de modelos conceituais qualitativos seja antiga e associada à própria origem da geografia física, como por exem-

plo a ideia dos ciclos de erosão (Davis, 1899), no final do século XX e início do XXI novas ferramentas, tanto de cunho teórico quanto computacional, tornaram-se disponíveis. Tais modelos numéricos permitem a simulação da evolução do relevo de grandes áreas durante tempos longos (por ex., Ahnert, 1988; Gilchrist, 1995; Codilean *et al.*, 2006; Tucker e Hancock, 2010; Van Der Beek, 2013), passando por estágios que podem ser aproximados aos originalmente propostos como de juventude, maturidade e senilidade do relevo.

Embora as décadas de 1950 e 1960 possam ser caracterizadas como o período inicial de grande difusão do uso de modelos quantitativos em geografia física (por ex., Strahler, 1950a; b; 1952a; Leopold, 1953; Leopold e Maddock, 1953; Strahler, 1954; Chorley, 1957; Leopold e Wolman, 1957; Chorley, 1964), dentro da chamada revolução quantitativa (Burton, 1972), sua origem remonta aos trabalhos de Horton publicados nas duas décadas anteriores (Horton, 1932; 1933; 1945). Sem sombra de dúvida, o trabalho de síntese de maior sucesso foi Chorley e Haggett (1967), traduzido para o português em 1975 e, ainda hoje, muito citado. Outros trabalhos nessa linha também merecem destaque, tais como Minshull (1975), Kirkby (1987) e Macmillan (1989). No Brasil, destaca-se o livro *Modelagem de Sistemas Ambientais* (Christofolleti, 1999), o qual foi, infelizmente, publicado após a morte do autor, um grande defensor da análise quantitativa na Geografia, especialmente aquela associada à análise de sistemas (Christofolleti, 1979; 1990). Embora esse livro represente um marco na produção bibliográfica nacional neste tema, possui uma abordagem muito descritiva deixando a ideia de que podemos modelar (ou mesmo analisar) sistemas ambientais sem compreender e discutir as equações envolvidas em tais simulações.

A modelagem vem sendo muito utilizada como ferramenta de análise nos diferentes campos da geografia física. Mais do que um objetivo final, ou seja, o de desenvolver modelos em si, na geografia física estes representam, em geral, instrumentos na busca de previsões de comportamentos, seja de cenários futuros ou pretéritos, nas mais variadas escalas espaciais e temporais (Christofolleti, 1982). Há vasta literatura destacando o uso de modelos em estudos teóricos e aplicados em vários campos da Pedologia (por ex., Hoosbeek e Bryant, 1992; Brooks e Richards, 1993; Pachepsky *et al.*, 2006; Minasny *et al.*, 2008; Vanwallegem *et al.*, 2013), da Climatologia (por ex., Wilks e Wilby, 1999; Viles e Goudie, 2003; Salmun e Molod, 2006; Donner e Large, 2008; Harrison *et al.*, 2016), da Biogeografia (por ex., Moorhead *et al.*, 1996; Jørgensen, 2008; Rovira e Rovira, 2010; Acevedo *et al.*, 2012; Baird, 2013), da Geomorfologia (por ex., Fernandes, 1996; Kirkby, 1996; Kirkby, 2003; Lawler e Fairchild, 2010; Parker *et al.*, 2011; Perron *et al.*, 2012), da Hidrologia (por ex., Kampf e Burges, 2007; Ranatunga *et al.*, 2008; Beven, 2012), entre outros. Da mesma forma, destacam-se estudos de modelagem na previsão e análise dos impactos associados a mudanças ambientais (por ex., Sohl e Sayler, 2008; Kettner e Syvitski, 2012), à expansão de áreas urbanas (por ex., Sunde *et al.*, 2016) e à previsão de desastres naturais (por ex., Borga *et al.*, 2014; Tonini *et al.*, 2014). O contínuo crescimento do uso da modelagem nas últimas décadas reflete, pelo menos em parte, a maior popularização e os avanços nas técnicas de computação, os avanços nas próprias técnicas de modelagem, o reconhecimento da necessidade do estudo dos sistemas ambientais de modo integrado, assim como um aumento na demanda de estudos de previsão (Mulligan e Wainwright, 2013).

O termo modelo pode ser usado tanto como adjetivo (significando um grau de perfeição), como verbo (significando simular, demonstrar ou representar como é alguma coisa) ou como substantivo (significando uma representação). Embora não haja consenso, dependendo do estudo realizado um modelo pode ser uma teoria, lei, hipótese, ideia, equação, entre outras coisas (Harvey, 1969; Minshull, 1975). Para Harvey (1969), modelos são instrumentos temporários para representar como nós pensamos que uma certa estrutura pode, ou deve, funcionar. Com tantas formas possíveis de modelos, a busca por uma definição rígida é pouco útil, podendo estes serem entendidos, de uma forma mais ampla, como estruturas simplificadas da realidade que supostamente apresentam (ou preservam) as suas características ou relações mais importantes. Dessa forma, devemos sempre ter em mente que não é a realidade em si que se encontra ali representada no modelo, mas sim a nossa visão do sistema em estudo e a maneira como percebemos e compreendemos essa realidade, o que define uma íntima relação entre o estágio de desenvolvimento da teoria e o poder de aplicação de um determinado modelo, assunto que voltaremos a discutir mais adiante.

Sistemas, Modelos e a Questão da Subjetividade

Existe certa confusão na literatura, especialmente na da geografia física, no uso dos termos sistemas e modelos, muitas vezes usados como sinônimos. De uma forma geral, um modelo simula o comportamento de um determinado sistema em análise. Embora a introdução das abordagens associadas à análise sistêmica tenham rapidamente se difundido na geografia física nas décadas de 1960 e 1970 (Chorley, 1962; Howard, 1965; Chorley e Kennedy, 1971; Bennett e Chorley, 1978), várias discussões ocorreram quanto as suas potencialidades e limitações (por ex., Phillips, J. D., 1992; Phillips e Renwick, 1992; Rodrigues, 2001; Egner e Von Elverfeldt, 2009). Posteriormente, aprofundaremos algumas dessas discussões neste artigo.

Durante o processo de modelagem, necessariamente, são feitas diversas hipóteses simplificadoras. Nessa etapa temos que evitar a inclusão de detalhes considerados “superfluos”, o que levaria a um aumento no gasto computacional que, em situações extremas, poderia até mesmo impedir a implementação numérica do modelo. Por outro lado, temos que evitar a exclusão de detalhes importantes, ou mesmo fundamentais, o que levaria à obtenção de soluções inadequadas do modelo. Dessa forma, como já destacado por Haggett e Chorley (1967), embora os modelos sempre sejam aproximações subjetivas de uma realidade, uma vez que não incluem todas as observações ou relações existentes (embora nem sempre conhecidas), estes são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos mais relevantes da realidade em estudo. Ou seja, as simplificações feitas, embora necessárias, devem preservar as feições (ou relações) mais significativas observadas na realidade, de modo que um “bom modelo” deva ser, ao mesmo tempo, relativamente simples e suficientemente realístico (Barnes, 1995).

Isso nos remete ao conceito de parcimônia já que, como destacam Mulligan e Wainwright (2013), o melhor modelo tende a ser aquele que alcança o maior realismo com a menor complexidade de parâmetros. Mas afinal, o que é realismo em modela-

gem? Embora este seja um tema que gere grande discussão, de uma forma geral, medimos o realismo, sempre que possível, na etapa de validação do modelo, quando comparamos os valores estimados pelo modelo com aqueles medidos no mundo real. Como destacado por vários autores (por ex., Gauch Jr., 1993; Mulligan e Wainwright, 2013), o princípio da parcimônia é importante na modelagem porque a nossa capacidade de modelar a complexidade é maior do que a de gerar dados para parameterizar, calibrar e validar estes mesmos modelos sendo, portanto, interessante reduzir a complexidade ao mínimo necessário (Lancaster e Grant, 2003; Blöschl, 2006; Hill, 2006; Brasington e Richards, 2007; Murray, 2007; Nicholas e Quine, 2007).

Evidentemente, esse limite não é simples de ser definido pelo modelador e, embora a parcimônia seja um “norte” a ser buscado, a compreensão da complexidade do sistema modelado é, em geral, necessária para que os resultados obtidos possuam representatividade (Fatichi *et al.*, 2016). A decisão do que pode ser simplificado passa, entre outros aspectos, pelo nível de conhecimento teórico já alcançado e pela experiência que temos com o problema a ser modelado. Outro fator importante na definição dessas simplificações, refere-se aos objetivos a serem alcançados com a utilização do modelo. Por exemplo, enquanto em algumas situações queremos simular mudanças temporais que ocorrem no sistema (modelo transiente, envolvendo a variável tempo) em outras queremos apenas simular a condição final a ser alcançada na condição de equilíbrio (modelo *steady-state*, sem a presença da variável tempo). Outro fator importante a ser considerado quando definimos as simplificações a serem feitas refere-se à nossa capacidade de análise, seja em termos da resolução dos dados, do tamanho da área, das dimensões envolvidas (por ex., modelos de uma única dimensão -1D, 2D, 3D, 4D) ou dos recursos computacionais disponíveis. Nessa linha, a tendência é do desenvolvimento inicial de modelos mais simples, sendo, posteriormente, incorporadas novas informações e realizadas expansões, tornando-o gradativamente mais complexo (Meerveld e Weiler, 2008).

Outro ponto importante com relação à subjetividade dos modelos, como já destacado por (por ex., Mulligan e Wainwright, 2013), refere-se ao fato de que em muitos casos os próprios dados usados são, de fato, modelos. Em nossas mensurações e experimentos de campo utilizamos um grande quantidade de sensores que, de fato, já representam um modelo da realidade. Como exemplo temos o uso de tensiômetros e TDRs (*time-domain reflectometry*) para a medição do potencial matricial e o teor de água do solo, de sensores de nível de água para a estimativa da descarga fluvial, entre outros. Estes sensores estimam o potencial matricial, a umidade e a descarga através de modelos empíricos associados a curvas de calibração (lineares ou não) entre alguma propriedade e aquela que estamos interessados em medir (Strangeways, 2000). No caso da medição do potencial matricial da água do solo usando sensores do tipo Watermak (sensores de matriz granular), por exemplo, medimos a resistência elétrica do solo e como esta é influenciada pelo teor de água (Shock, 2003; Pereira *et al.*, 2006). Ou seja, o potencial matricial medido em campo que utilizamos em estudos de monitoramento e modelagem hidrológica (Fernandes *et al.*, 1994; Bertolino *et al.*, 2010), já representa, em si, um modelo de comportamento.

Essa discussão nos leva à necessária conclusão de que todos os modelos são subjetivos uma vez que é o modelador que irá definir quais informações, a partir das hipóte-

ses feitas, serão utilizadas, ou incorporadas, pelo seu modelo. Isso explica, pelo menos parcialmente, o grande número de modelos hoje existentes, propondo-se a simular um mesmo fenômeno. Um ótimo exemplo dessa situação é a modelagem da erosão dos solos, a qual pode incorporar, ou não, diferentes processos atuando em diversas escalas espaciais (por ex., parcelas, encostas, micro-bacias, regionais) e temporais (por ex., eventos isolados, médias mensais ou anuais, dezenas de anos ou mesmo centenas de milhares de anos, já em uma escala de evolução do relevo) (Nearing *et al.*, 2000; Aksoy e Kavvas, 2005). Como consequência, há um grande número de modelos se propondo a simular a erosão dos solos, cada qual com suas hipóteses simplificadoras, potencialidades e limitações (Foster, 1982; Kirchner *et al.*, 2001; Merritt *et al.*, 2003; Morgan e Nearing, 2011).

Um tema que merece reflexão é a proximidade destacada por alguns autores entre (a arte de) modelar e outras formas de arte (por ex., Dietrich *et al.*, 2003; Doherty, 2011; Mulligan e Wainwright, 2013). Dietrich *et al.* (2003) fazem uma excelente analogia entre diferentes tipos de pinturas e os principais tipos de modelos científicos hoje em uso. Nessa abordagem, os autores mostram pinturas descrevendo vários tipos de “realismos” (detalhado, aparente, estatístico e essencial) e fazem analogias com modelos detalhados e modelos simples, modelos em bases físicas e modelos empíricos de cunho estatístico, entre outros pontos. Para outros autores, a modelagem é uma arte com base racional que requer tanto o uso do senso comum quanto do conhecimento matemático, exigindo do bom modelador experiência, intuição e capacidade de abstração (Cross e Moscardini, 1985; Smith e Smith, 2007). Como destacado por Mulligan e Wainwright (2013), enquanto a intuição é uma habilidade que não pode ser ensinada, derivada da experiência individual, a capacidade de abstração é difícil de ser adquirida por adultos, os quais tendem a “complicar” demais as coisas. Nessa linha, estes autores apresentam um ótimo exemplo de como uma criança apresenta, de forma geral, uma elevada capacidade de generalização e simplificação, tão importante no desenvolvimento de modelos.

Por que Modelar?

Além de motivos associados a modismos passageiros, podem ser destacadas diversas razões para o uso da modelagem enquanto ferramenta científica. Na geografia física, em especial, nos deparamos com várias limitações nas mensurações, monitoramentos e experimentos de campo, as quais podem estar associadas, por exemplo, às escalas espaciais e/ou temporais utilizadas, aos custos envolvidos, a problemas de acesso, que fazem com que os modelos possam ser usados como complementos nessas investigações. Em estudos de cunho hidrológico, por exemplo, temos a necessidade de extrapolar os resultados de mensurações para outras bacias, seja por falta de mensurações ou pela necessidade de prever cenários futuros (Beven, 2012). Em geral, podemos pensar em pelo menos três situações distintas do uso de modelos em geografia física: na predição, na retrodição e no teste de hipóteses.

Modelos de Predição

Nesta classe, certamente o tipo mais comum, temos o grupo de modelos voltados para estudos de previsão, os quais simulam um determinado sistema visando, por exem-

plo, estimar o valor de uma variável em locais não amostrados, seja na escala espacial ou temporal, como fazem os modelos de interpolação. No caso de sistemas ambientais, muitos desses modelos buscam prever seu comportamento futuro. Podem ser usados, no caso de estudos hidrológicos, para prever a variação anual da descarga fluvial em uma bacia (Beven, 2012) ou para simular cenários futuros de alterações dessa descarga em resposta a mudanças no uso e cobertura (Marchioro *et al.*, 2011). Uma aplicação interessante desse tipo de modelo é simular os efeitos das práticas de manejo no avanço da frente de molhamento durante o processo de infiltração da água no solo (Ndiaye *et al.*, 2007). Em estudos hidrológicos, de forma geral, os modelos complementam as mensurações de campo, as quais possuem limitações associadas às técnicas empregadas, às escalas espaciais e temporais analisadas, além dos óbvios limites orçamentários uma vez que os custos dos sensores envolvidos nos monitoramentos são, quase sempre, muito elevados. Nesses estudos, a modelagem é uma ferramenta que permite extrapolar espacialmente os resultados obtidos para novas bacias, ainda sem dados mensurados em campo, ou mesmo extrapolar temporalmente visando caracterizar cenários hidrológicos futuros. Evidentemente, essa ideia está calcada em um tipo de uniformitarismo, onde assume-se que já temos um suficiente conhecimento do funcionamento do presente para estarmos habilitados a prever o futuro, o que certamente será sempre discutível (Furlani e Ninho, 2015).

Outro exemplo nessa linha de abordagem, refere-se a modelos que buscam prever a espessura do solo em um determinado local. Evidentemente, embora de grande aplicabilidade em diversas áreas (geomorfologia, biogeografia, agronomia, engenharia, etc.), modelos com tal objetivo não são simples simulando processos altamente complexos. Tais modelos simulam a atuação por tempos longos dos diversos processos envolvidos (por ex., intemperismo, erosão, incisão fluvial) e dão como resultado a distribuição espacial da espessura do solo na chamada condição de equilíbrio (Dietrich, 1995; Minasny e Mcbratney, 2001; Pelletier e Rasmussen, 2009; Rempe e Dietrich, 2014). Embora não fique óbvio para muitos usuários, o resultado desses modelos, ou seja, a espessura do solo, é obtida pela aplicação do conceito de conservação de massa, calculando para um certo local, o balanço entre as taxas de produção e de perda de solo.

Dentro dessa classe de modelos podemos destacar aqueles que simulam onde, e em algumas situações quando, determinados fenômenos irão ocorrer, como por exemplo os movimentos de massa, seja na forma de escorregamentos (por ex., Guimarães *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2004; Vieira *et al.*, 2010; Araújo *et al.*, 2012) ou de corridas de detritos (por ex., Gomes *et al.*, 2008; Gomes *et al.*, 2013). Evidentemente, por ser o tipo de abordagem mais comum no uso de modelos, muitos outros exemplos poderiam ser aqui discutidos.

A validação dos modelos de predição, em geral, é feita através da comparação dos resultados obtidos pelo modelo com aqueles obtidos através de mensurações e experimentos de campo. No entanto, em algumas situações, como no caso da predição de áreas sujeitas a movimentos de massa, a validação tem que ser feita através de outros métodos. Nesse exemplo, fica evidente que não podemos esperar a ocorrência (ou não) de um deslizamento na área definida como de alto risco para ter certeza que o modelo é confiável (Fernandes *et al.*, 2001).

Modelos de Retrodição

No segundo tipo de abordagem, temos modelos que desenvolvem atividades voltadas à retrodição, simulando condições que já não existem mais, ou seja, condições ambientais pretéritas. Essa abordagem pode ser incluída, pelo menos de forma indireta, na classe maior chamada de modelos inversos, onde queremos reconstruir algo no passado (por ex., uma forma de relevo, uma condição climática) a partir de feições e/ou processos observados atualmente. Dentro da geografia física, tais modelos são mais comuns na geomorfologia, estando associados a estudos dentro de uma abordagem histórica e, em muitos casos, a modelagem representa a única forma de voltarmos no tempo geológico. No Brasil, o mais comum é o uso de modelos qualitativos propondo, por exemplo, as relações entre processos e formas de relevo pretéritas, os efeitos de mudanças climáticas nas taxas de erosão e/ou deposição, como no modelo evolutivo proposto por (Bigarella *et al.*, 1965).

Com relação a modelos quantitativos, um exemplo clássico é a sua utilização da datação morfológica de terraços fluviais e escarpas de falhas (por ex., Nash, 1980; Nash e Beaujon, 2006) onde utiliza-se a forma do perfil topográfico, especialmente a sua curvatura, para se estimar a idade da feição ou evento original. Outro exemplo de retrodição engloba os diversos modelos matemáticos que foram gerados, desde a década de 1980, visando a simulação da evolução do relevo ao longo do tempo geológico. Inicialmente, esses modelos (LEMs - *Landscape Evolution Models*) focaram a simulação da evolução de perfis de encostas em duas dimensões (2D), englobando apenas poucos processos, tais como o escoamento superficial e o rastejo, testando a ideia de que havia uma relação direta entre o processo atuante e a forma resultante (Culling, 1960; 1965; Kirkby, 1971; Ahnert, 1976). Posteriormente, esses estudos passaram a analisar como as formas das encostas respondiam aos efeitos combinados do tipo de processo atuante e das condições de contorno predominantes, como por exemplo, a taxa de incisão fluvial atuante na base da encosta (Armstrong, 1987; Fernandes e Dietrich, 1997). Nas últimas décadas, esses LEMs passaram a simular a evolução de grandes áreas tridimensionalmente (modelos em 3D), englobando outros processos tais como escoamento superficial, rastejo, incisão fluvial, intemperismo, movimentos tectônicos (por ex., Ahnert, 1988; Howard, 1994; Willgoose, 2005; Codilean *et al.*, 2006; Tucker e Hancock, 2010). No Brasil, embora a aplicação de LEMs em estudos quantitativos de evolução do relevo seja ainda incipiente (Moreira *et al.*, 2008; 2009; 2012; Souza *et al.*, 2012), esses trabalhos foram capazes de simular a evolução de parte da escarpa da Mantiqueira ao longo do Cenozóico, obtendo taxas de recuo da ordem de 100 m Ma^{-1} , compatíveis com estimativas feitas por outras técnicas. Algumas das limitações associadas à utilização de modelos de retrodição em geomorfologia podem ser observadas em Paola (2013), especialmente aquelas voltadas para a questão do que podemos (e não podemos) reconstruir sobre sistemas pretéritos de transporte a partir dos depósitos hoje observados em campo.

Modelos e o Teste de Hipóteses

Uma terceira abordagem refere-se ao emprego de modelos no teste de hipóteses, conceitos e/ou ideias. Aqui os modelos representam ferramentas que nos ajudam a avan-

çar na compreensão do funcionamento de um certo sistema (Lawler e Fairchild, 2010). Nessa linha, podemos utilizar a modelagem, por exemplo, para examinar a importância relativa dos principais parâmetros e variáveis envolvidos nas simulações através de uma análise de sensibilidade (Smith e Smith, 2007; Mulligan e Wainwright, 2013), as relações existentes entre estes parâmetros/variáveis e os mecanismos de retroalimentação resultantes, sejam eles positivos (por ex., Cox *et al.*, 2000; Scanlon *et al.*, 2007) ou negativos (por ex., Scheingross e Lamb, 2016), a influência das escalas de análise envolvidas (por ex., Church e Mark, 1980), a influência da incorporação (ou da exclusão) de um determinado processo de transporte (por ex., Dietrich *et al.*, 2003), entre outros. Com frequência, a modelagem é a única forma que temos para testar tais hipóteses, uma vez que mensurações de campo ou experimentos com certas condições controladas (em campo ou em laboratório) se tornam impossíveis de serem realizados devido a limitações associadas à escala temporal (os processos envolvidos muitas vezes são muito lentos) e/ou espacial (os estudos envolvem grandes áreas). Para muitos, esta terceira abordagem no uso de modelos é a mais nobre, representando importante etapa em estudos baseados no método hipotético-dedutivo (Christofolleti, 1999; Inkpen, 2005).

Um exemplo dessa linha de abordagem pode ser representado pelo uso de ferramentas de modelagem no teste da clássica hipótese sobre formas de relevo que já tenham alcançado um estágio de equilíbrio dinâmico, ideia inicialmente sugerida por Gilbert (1877) e posteriormente popularizada em meados do século XX por grandes nomes da geomorfologia (Strahler, 1950a; Hack, 1960; Hack, 1965; Howard, 1965; Ahnert, 1967). A ideia é que ao alcançarem a condição de equilíbrio dinâmico, as paisagens geomorfológicas estariam ajustadas à energia dos processos atuantes, de modo que as formas de relevo geradas seriam mantidas ao longo do tempo. Os modelos matemáticos que simulavam a evolução de perfis de encostas bidimensionais (2D), discutidos anteriormente, foram então utilizados para testar esse conceito, definindo as condições ambientais necessárias para que a condição de equilíbrio dinâmico, onde a forma não mais se modificava com o tempo, fosse alcançada (Ahnert, 1976; 1987).

Posteriormente, a modelagem foi usada para quantificar a escala de tempo necessária para que essa condição de equilíbrio fosse atingida em perfis de encostas, ou seja, o tempo de relaxação dessas formas de relevo (Allen, 1974; Brunsden e Thornes, 1979), conceito diretamente relacionado aos de estabilidade, sensibilidade e resiliência (Wolman e Miller, 1960; Wolman e Gerson, 1978; Owen *et al.*, 2011). Como o tempo de relaxação depende tanto da magnitude quanto da frequência das mudanças externas aplicadas ao sistema, Fernandes e Dietrich (1996) e Fernandes e Dietrich (1997) realizaram experimentos numéricos visando definir a ordem de grandeza desse tempo de relaxação para encostas convexas (formas meia laranja típicas) de vários comprimentos e sujeitas a diferentes amplitudes de modificações externas, seja de ordem climática (taxas de erosão) e/ou tectônica (taxas de incisão fluvial). Estes autores mostraram que os tempos de relaxação necessários para se atingir o equilíbrio eram mais longos do que a frequência das oscilações climáticas registradas no Quaternário. Segundo estes autores, tais resultados sugerem que os topos convexos das encostas, inicialmente sugeridos como formas em equilíbrio (Gilbert, 1909), podem representar, em certas condições ambientais bem específicas, formas em estágio de *quasi*-equilíbrio.

Embora a discussão sobre a existência de formas em equilíbrio ainda persista na geomorfologia (Phillips, J.D., 1992; Whipple, 2001; Bracken e Wainwright, 2006; Phillips, 2011), vários trabalhos utilizando modelos e mensurações de campo comprovaram a existência de paisagens geomorfológicas em equilíbrio dinâmico (ou *quasi*) nas escalas de perfis de encostas (por ex., Ahnert, 1987; Fernandes e Dietrich, 1997), bacia de drenagem (por ex., Reneau e Dietrich, 1991), ou mesmo em áreas maiores, já em uma escala regional (por ex., Brunsden e Lin, 1991; Stolar *et al.*, 2007; Cyr e Granger, 2008; Haghypour *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2015). Esses trabalhos, de uma forma geral, inferem o alcance da condição de equilíbrio pela semelhança entre as taxas medidas (ou estimadas) de denudação e de soerguimento na região. De forma semelhante à utilização de modelos no teste do conceito de equilíbrio dinâmico, outros autores utilizam a modelagem para testar a chamada lei de *Playfair* em bacias de drenagem e como esta influencia os resultados gerados por modelos de evolução do relevo que atuam por tempos longos (Niemann *et al.*, 2001). Conceitos hidrológicos importantes, como o de conectividade e o de fluxos preferenciais, vêm também sendo investigados com a incorporação de modelos aos monitoramentos e experimentos de campo (Fryirs *et al.*, 2007; Reid *et al.*, 2007; Weiler e McDonnell, 2007).

Portanto, fica evidente que podemos avançar no nosso conhecimento sobre o funcionamento de um determinado sistema através da implementação de testes com modelos. Como destacado por Fenicia *et al.* (2008), podemos “aprender” com a contínua melhora dos modelos usados.

Tipologia de Modelos em Geografia Física

Como em outras áreas da ciência, a questão da tipologia de modelos na geografia é bastante complexa e confusa, uma vez que, com frequência, confunde-se, entre outras coisas, a temática do modelo com as características de sua organização interna. De fato, poucos avanços foram alcançados na questão da tipologia de modelos em geografia desde os esforços iniciais consolidados nas décadas de 1960 e 1970 (Chorley, 1964; Chorley e Haggett, 1967; Harvey, 1969; Minshull, 1975).

Nos textos de geografia física, principalmente na escassa literatura brasileira dentro do tema, ainda prevalece a classificação proposta faz quase meio século por (Chorley e Haggett, 1967), sem maiores adaptações ou discussões (Fernandes, 1996; Christofolleti, 1999; Vieira e Martins, 2016). É evidente que essa classificação geral já não mais se adequa aos estudos que vêm sendo realizados hoje, uma vez que nesses últimos 50 anos grandes avanços foram alcançados nas técnicas de modelagem e no nosso poder de computação, principalmente pela difusão e popularização de computadores de pequeno porte. Os termos utilizados por esses autores para classificar os quatro grupos de modelos propostos (conceituais, físicos, matemáticos e computacionais) já não se retratam as divisões observadas atualmente. Por exemplo, os modelos computacionais, ainda raros na década de 1960, são também modelos matemáticos, podendo ter um caráter empírico, determinístico ou estocástico, dependendo da situação, tema que será aprofundado mais adiante neste artigo. Da mesma forma, o grupo inicialmente chamado de modelos físicos (construídos usando escalas e/ou materiais diferentes) gera grande confusão na literatura, principalmente com relação aos clássicos modelos matemáticos determinísticos

desenvolvidos sobre bases físicas (Beven, 1989), amplamente utilizados em várias áreas do conhecimento científico.

Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos expressam as relações observadas em campo, seja com relação aos processos de transporte (por ex., escoamento superficial, rastejo, salpico, descarga fluvial) ou às feições morfológicas, através de equações matemáticas. A confusão discutida anteriormente no caso da classificação de modelos, na sua forma mais ampla, é também observada, embora em menor grau, na tipologia de modelos matemáticos. Chorley e Haggett (1967), em uma primeira tentativa de classificação dentro da geografia, a qual já faz cerca de cinco décadas, dividem os modelos matemáticos em empíricos, determinísticos e estocásticos. Essa divisão, embora possa ser considerada simples, sofreu poucas modificações desde então na geografia. Em outros campos da ciência, onde a modelagem matemática é bem mais usada como ferramenta de análise, classificações mais complexas podem ser encontradas.

Modelos Empíricos

Os modelos matemáticos empíricos não possuem suas relações derivadas de teorias ou leis físicas. Em geral, estes modelos refletem relações entre variáveis derivadas dos dados disponíveis, obtidos em mensurações, monitoramentos ou experimentos, seja de campo ou de laboratório. Essa abordagem foi a base da chamada revolução quantitativa da geografia física, e em especial da geomorfologia, que teve seu auge entre as décadas de 1950 e 1970, quando vários estudos quantitativos foram realizados na mensuração da morfometria de perfis de encostas (Strahler, 1956), de bacias de drenagem (Strahler, 1952b; Leopold e Maddock, 1953; Leopold e Miller, 1956; Chorley, 1957; Strahler, 1957), assim como em experimentos de laboratório simulando a evolução dos padrões de canais fluviais (Leopold e Wolman, 1957; Schumm e Khan, 1972), o processo de rastejo nas encostas (Kirkby, 1967; Van Steijn, 1977), e diferentes processos erosivos (Moeyersons e De Ploey, 1976; Mucher e De Ploey, 1977), entre outros.

A partir dos dados levantados nessas mensurações e experimentos são geradas, através de correlações estatísticas baseadas, em geral, em regressões lineares, relações matemáticas (funções) entre as chamadas variáveis independentes (em geral, distância, profundidade ou tempo) e dependentes (por ex., elevação, declividade, curvatura, taxa de erosão, umidade do solo). Os modelos gerados representam o melhor ajuste entre os dados obtidos, em geral na forma de funções lineares, potência, exponencial, entre outras. Os experimentos são realizados sob condições ambientais parcialmente controladas (Thomaz, 2013), como no caso do uso de simuladores de chuva em campo ou em laboratório (Coelho Netto, 1987; Fernandes *et al.*, 1989; Thomaz e Pereira, 2014). Alguns experimentos de laboratório, por sua vez, combinam modelos reduzidos e a substituição de materiais (uso de matérias com comportamentos reológicos similares) para modelar matematicamente os efeitos causados por fluxos granulares na incisão fluvial em canais com leito rochoso (Sklar e Dietrich, 2004; Hsu *et al.*, 2008).

Dentre as críticas levantadas aos modelos empíricos destaca-se a falta de bases físicas nas funções geradas entre as variáveis de entrada e as de saída estudadas, calcadas apenas em critérios estatísticos. Outra crítica importante, refere-se à menor capacidade de generalização, uma vez que as relações (modelos) obtidas possuem uma influência direta das condições ambientais reinantes naquela área de estudo. Assim, em geral, não podemos extrapolar esses modelos para outros locais, com características ambientais (clima, solos, relevo, geologia, cobertura, etc.) diferentes daquelas onde as funções empíricas foram determinadas, fazendo com que o modelo produzido tenda a ser específico para o banco de dados usado em sua geração. Para que possa ocorrer uma “transferência” espacial, ou seja, uma extrapolação dos modelos para outras áreas, torna-se necessário que ajustes sejam feitos nesses modelos, passando por uma nova “calibração” de alguns dos parâmetros envolvidos, em geral representados como constantes nessas funções preditivas, ou seja, representando um ajuste dos parâmetros às novas características locais. É de se esperar que a construção de modelos empíricos desse tipo ocorra apenas nas etapas iniciais de uma determinada pesquisa científica, especialmente em situações onde as bases teóricas existentes ainda sejam pouco sólidas. Em geomorfologia, essa abordagem foi muito utilizada nas décadas de 1950 e 1970, sendo também muito frequente no Brasil na década de 1970, impulsionada principalmente pelas pesquisas de Antônio Christofoletti.

Mais recentemente, especialmente nas últimas três ou quatro décadas, modelos empíricos com bases estatísticas mais complexas, como por exemplo redes neurais, lógica *fuzzy*, mineração de dados, sistemas especialistas, se tornaram frequentes dos diferentes campos da geografia física (por ex., Fischer, 1994; Mennis e Guo, 2009). Em geral, esses modelos buscam assinaturas, ou seja, certas combinações específicas de parâmetros, que refletem um determinado comportamento ou a ocorrência de um certo fenômeno. Modelos desse tipo são comuns, por exemplo, em estudos de previsão voltados para a determinação de áreas sujeitas à ocorrência de deslizamentos (por ex., Carrara *et al.*, 1991; Xavier da Silva, 1996; Van Westen *et al.*, 2008), e para a estimativa da umidade do solo em condições de campo (Elshorbagy e Parasuraman, 2008).

Modelos Determinísticos

Com relação à natureza dos dados, os modelos matemáticos podem ser divididos em determinísticos ou estocásticos. Nos modelos determinísticos os resultados gerados pelo modelo são uma consequência direta dos valores usados de entrada nas variáveis envolvidas, assim como das condições iniciais e de contorno (limites do problema modelado). Aqui as respostas geradas pelos modelos serão sempre as mesmas desde que que os dados de entrada permaneçam os mesmos. Ou seja, nos modelos determinísticos os valores numéricos dos *inputs* determinam aqueles que serão obtidos nos *outputs*.

Os modelos determinísticos são desenvolvidos a partir do conhecimento acumulado das relações existentes entre as variáveis envolvidas no sistema modelado (**modelos determinísticos com base empírica**) ou a partir de leis físicas que refletem o comportamento do sistema (**modelos determinísticos com bases físicas**). Esse último grupo tem ganho grande importância nas últimas décadas por se preocupar em desenvolver modelos que

simulem, o máximo possível, o comportamento físico do sistema (por ex., Beven, 1989; Dietrich *et al.*, 2003; Fatichi *et al.*, 2016).

Fazendo uma relação com a clássica ideia de modelos do tipo caixa preta, caixa cinza e caixa branca (Kirkby *et al.*, 1987), a qual é baseada no grau de conhecimento existente sobre o funcionamento interno do sistema estudado, os modelos empíricos podem ser considerados do tipo caixa preta, uma vez que podemos prever a resposta mas não entendemos o seu funcionamento interno. Já os modelos desenvolvidos com bases físicas, por sua vez, podem ser considerados do tipo caixa cinza ou mesmo caixa branca, dependendo do quanto conhecemos, ou achamos que conhecemos, sobre as relações internas do modelo.

Um exemplo de modelo determinístico com base empírica é a Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier *et al.*, 1958; Wischmeier e Smith, 1965; Peterson e Swan, 1979), cuja simplicidade matemática fez com se tornasse uma das equações mais usadas na literatura. No entanto, essa “facilidade” a tornou também famosa por seus usos e abusos (Wischmeier, 1976; Schertz, 1978; Govers, 2011), tendo sido muitas vezes utilizada para estimar taxas de erosão derivadas de processos diferentes daqueles para os quais ela foi desenvolvida (erosão laminar), chegando muitas vezes a ser utilizada para estimar taxas de erosão por voçorocamento. Mesmo assim, conforme destacado por Nearing *et al.* (2000), por ter sido gerada a partir de um banco de dados gigantesco, derivado de experimentos de campo com milhares de parcelas de erosão espalhadas sob diversas condições ambientais, esta apresenta bons resultados.

Um fato muito importante associado aos modelos determinísticos desenvolvidos sobre bases físicas é que, de um modo geral, estes possuem um poder de generalização maior do que os modelos empíricos. Isso permite utilizar o modelo em áreas diferentes daquelas onde ele foi gerado, requerendo apenas o conhecimento dos valores numéricos locais das variáveis envolvidas (por ex., textura, porosidade, precipitação, umidade do solo, permeabilidade, coeficiente de difusão do relevo, taxa de erosão, entre outras).

Nessa abordagem, busca-se modelos globais que descrevem o comportamento das relações (físicas, químicas ou mecânicas) envolvidas, e em campo procura-se determinar os valores numéricos das propriedades envolvidas, seja na forma de constantes ou de variáveis (no espaço e/ou tempo). Para muitos autores, essa é uma das grandes vantagens dos modelos determinísticos com bases físicas, uma vez que quando o modelo não apresenta bons resultados podemos voltar nele, repensar as relações (equações) implementadas (modificando-as ou até mesmo substituindo-as), repensar os valores numéricos atribuídos às variáveis, entre outras atividades. Uma desvantagem geralmente associada aos modelos matemáticos desenvolvidos sobre bases físicas refere-se ao fato de que eles tendem a ser mais complexos, tanto em termos das relações internas descritas quanto das equações matemáticas utilizadas. Vale aqui lembrar que, matematicamente, quando descrevemos a modificação de uma variável em relação a uma outra, estamos lidando com derivadas. Na geografia física, em especial, isso quase sempre é a regra uma vez que estamos estudamos o comportamento de uma variável ao longo do espaço (por ex., a variação da elevação com a distância ao longo de uma encosta, ou seja, a declividade) ou no tempo (por ex., a variação temporal da umidade no topo do solo). Sendo assim, as relações implementadas nesses modelos desenvolvidos com bases físicas envolvem,

na maioria das vezes, derivadas (totais e ou parciais) com soluções obtidas através de métodos numéricos (diferenças finitas, elementos finitos) escritas em linguagens computacionais, tais como C++, Fortran ou MATLAB (por ex., Smith e Smith, 2007; Giordano *et al.*, 2009).

Ainda dentro da linha de erosão dos solos, podemos citar como exemplos de modelos matemáticos determinísticos desenvolvidos, totalmente ou parcialmente, sobre bases físicas os modelos WEPP - *Water Erosion Prediction Project* (Nearing *et al.*, 1989) e SWAT - *Soil and Water Assessment Tool* (Arnold e Srinivasan, 1998). Embora esses dois modelos simulem a erosão dos solos de formas bem distintas, possuem em comum a descrição a partir de bases físicas dos principais processos envolvidos, como por exemplos as equações de transporte de água e de sedimentos. Vários estudos vêm sendo realizados no Brasil utilizando com sucesso os modelos WEPP (por ex., Chaves, 1994b; Guerra e Silva, 2011) e SWAT (por ex., Marchioro *et al.*, 2011; Fukunaga *et al.*, 2015).

Modelos Estocásticos

Nos modelos estocásticos há a inclusão de eventos aparentemente aleatórios (ou randômicos), que possuem uma certa chance, ou probabilidade, de ocorrência, permitindo a consideração das incertezas (Nelson, 1995; Renard *et al.*, 2013). Nessas situações, flutuações randômicas nos processos e variáveis do sistema tendem a limitar a utilização de modelos com bases determinísticas. Assim, o valor numérico de uma determinada variável reflete uma determinada probabilidade de ocorrência. Como consequência, duas simulações com os mesmos valores de entrada nas variáveis podem fornecer respostas de saída (resultados) diferentes. Várias são as razões que podem ser atribuídas a essas variações randômicas, incluindo processos realmente aleatórios e processos não-aleatórios, mas que são considerados assim por erro ou por falta de conhecimento. De uma forma geral, modelos preditivos que incluem a atuação de eventos de precipitação, como por exemplo modelos de erosão, de movimentos de massa, de vazão fluvial, se encaixam bem na ideia de modelos estocásticos (Dunne, 1991). Alguns programas computacionais de modelagem da erosão dos solos, como por exemplo o WEPP e o SWAT discutidos anteriormente, possuem módulos específicos para a geração de eventos de precipitação nas simulações. Para uma discussão mais profunda sobre as bases teóricas desses modelos geradores de condições climáticas ver Wilks e Wilby (1999). Evidentemente, a utilização de modelos determinísticos ou estocásticos dependerá de vários fatores envolvendo o tipo e grau de conhecimento sobre problema a ser modelado, sua complexidade e escalas de análise, assim como questões subjetivas ligadas às preferências de escolha do usuário (Renard *et al.*, 2013).

Modelos Distribuídos e Concentrados

Uma outra abordagem de classificação de modelos matemáticos, muito importante para modelos que envolvem a espacialização de processos hidrológicos e/ou erosivos, separa os modelos de acordo com a forma como eles tratam essa variação espacial dos dados. Com base nesse critério, os modelos podem ser divididos em distribuídos, con-

centrados e, em certos casos especiais, semi-concentrados (Beven, 1992). Os **modelos distribuídos** (*distributed*) incorporam em suas análises as variações espaciais envolvidas nas simulações, sejam elas ligadas às propriedades dos solos, à precipitação, aos tipos de uso e cobertura, etc. Em modelos que trabalham dentro de um ambiente SIG, isso quer dizer que os valores numéricos dos parâmetros e variáveis estudadas podem ser atribuídos, de forma independente, para cada célula dentro do *grid*. De uma forma geral, os modelos desenvolvidos sobre bases físicas tendem a ser, também, modelos distribuídos.

Os **modelos concentrados** (*lumped*), por sua vez, não conseguem incorporar essas variações espaciais, tratando tudo através de valores médios. Nessa abordagem, em modelos que trabalham na escala de bacia hidrográfica, por exemplo, teremos valores constantes em toda a bacia para um certo parâmetro (por ex., precipitação, espessura do solo, teor de matéria orgânica). Entre esses dois extremos podemos ter modelos considerados como semi-concentrados, nos quais parte da área modelada é tratada de forma distribuída enquanto parte de forma concentrada, ou quando consideramos a variação espacial de apenas parte dos parâmetros envolvidos na simulação, tratando outros parâmetros, em geral de mais difícil análise ou obtenção em campo, de forma concentrada.

Modelos de previsão de áreas sujeitas a deslizamentos em escala de bacia, com frequência, trabalham de forma semi-concentrada. Por exemplo, Guimarães *et al.* (2003), Fernandes *et al.* (2004) e Vieira *et al.* (2010) trabalham os parâmetros declividade e curvatura de forma distribuída, enquanto o parâmetro espessura de solo é tratado de forma concentrada, ou seja, constante em toda a bacia. Abordagem semelhante é feita pelo modelo precipitação-vazão SWAT quando este subdivide a bacia hidrográfica analisada em sub-bacias, chamadas de unidades hidrológicas representativas (HRUs), dentro das quais os parâmetros de solo, por exemplo, são tratados de forma concentrada, ou seja, são considerados constantes (Marchioro *et al.*, 2011). Evidentemente, embora a utilização de modelos distribuídos seja cientificamente a mais interessante, problemas associados à complexidade do sistema, à escala utilizada, ao estágio do conhecimento sobre o problema, aos altos custos envolvidos na obtenção dos dados, entre outros, poderão fazer com que as pesquisas utilizem modelos semi-concentrados ou mesmo concentrados.

A influência da escala na escolha do modelo mais adequado a ser usado é um tema muito relevante. O modelador precisa estar atento às escalas (espaciais e temporais) onde as relações obtidas entre as variáveis estudadas, seja através de mensurações ou experimentos, permanecem válidas. Na geografia física sabemos que, de uma forma geral, diferentes processos operam em diferentes escalas, ou domínios espaço-temporais. A extrapolação desses limites, ou seja, a utilização de um modelo em faixas espaciais ou temporais, acima (ou abaixo) daquelas onde os dados foram obtidos, levará a resultados equivocados. Nesses casos, a culpa não será do modelo em si, mas do modelador por não ter respeitado os seus limites de validade, representando mais um exemplo de uso inadequado de um modelo.

Modelos Transientes e de Equilíbrio (steady-state)

Os modelos matemáticos podem também ser classificados de acordo como eles tratam a variável “tempo” nas simulações. Os modelos transientes representam simulações

que variam com o tempo, ou seja, que tratam a variável tempo explicitamente em suas equações. Os modelos em equilíbrio, também chamados de modelos tipo *steady-state*, por sua vez, não incluem a variável tempo em suas análises. Evidentemente, modelos transientes são matematicamente mais complexos do que os de equilíbrio.

De um modo geral, na geografia física queremos sempre trabalhar com modelos transientes uma vez que os processos analisados tendem a variar com o tempo. Seguindo essa lógica, modelos de equilíbrio irão produzir visões aproximadas do comportamento do sistema, dentro de uma abordagem reducionista, devendo ser evitados ao máximo. No entanto, em muitas situações modelos de equilíbrio podem ser muito úteis em estudos ambientais. Esse é o caso do modelo SHALSTAB, um dos mais utilizados em todo o mundo para se estimar a localização espacial de áreas susceptíveis a deslizamentos (Montgomery, 1994; Dietrich, 1995; Dietrich e Montgomery, 1998; Guimarães *et al.*, 2008). Esse modelo não simula, por exemplo, o processo de infiltração da água para o interior do solo durante um evento pluviométrico, aumentando continuamente a poro-pressão positiva da água do solo e diminuindo sua resistência ao cisalhamento. O modelo SHALSTAB é um modelo tipo *steady-state* porque não trabalha com a variável tempo, simulando apenas a máxima poro-pressão que ocorrerá durante um determinado evento pluviométrico. Mesmo não considerando a variação temporal da poro-pressão da água do solo, esse modelo é muito útil por ser matematicamente simples e simular a situação mais crítica em termos hidrológicos, ou seja, o pior cenário possível em termos de estabilidade da encosta (Fernandes *et al.*, 2004). Esse é um bom exemplo de que, em certas situações, modelos de equilíbrio que possuem estruturas matemáticas bem mais simplificadas, decorrentes de uma abordagem reducionista, podem ser muito úteis na análise de sistemas ambientais.

Parametrização, Calibração, Validação e Verificação

Existe ainda certa confusão na literatura quanto ao significado desses termos, em especial naquela associada à geografia física. A parametrização refere-se à etapa onde o modelador define os valores numéricos a serem utilizados em cada um dos parâmetros e variáveis do modelo naquela simulação. De um modo geral, nos modelos usados em geografia física esses valores são obtidos na literatura ou em estudos envolvendo mensurações, monitoramentos e/ou experimentos, seja em campo ou em laboratório. Sabemos, no entanto, que em muitos casos, a coleta desses dados em campo possui muitas limitações associadas a dificuldades de acesso, ao tempo (duração) necessário para as medições ou mesmo aos custos envolvidos, os quais podem ser muito elevados devido aos equipamentos e às frequentes idas a campo.

Um outro fator que tem se tornado importante e que gera limitações à parametrização, especialmente em modelos implementados em *grids*, refere-se ao fato de que, cada vez mais, temos a nossa disposição modelos digitais de elevação (MDTs), ou seja, representações da topografia, de alta resolução (por ex., 10m, 5m, 2m). No entanto, a nossa capacidade de amostragem e análise dos parâmetros em campo não avança na mesma velocidade. Isso faz com que, na maioria dos casos, não tenhamos medições dos parâmetros na quantidade que gostaríamos (Mulligan e Wainwright, 2013). Conforme

destacado por Beven (1992), no caso de modelos hidrológicos, em especial aqueles chamados de modelos precipitação-vazão, a sofisticação dos MDEs ultrapassou rapidamente a nossa capacidade de parametrização. Como consequência, muitos dos modelos hidrológicos considerados como distribuídos continuam, na prática, sendo modelos concentrados. Essa discussão nos remete de volta à questão da sensibilidade dos parâmetros de um modelo, discutida aqui anteriormente, uma vez que a melhor estratégia deva ser a de privilegiar a obtenção em campo dos parâmetros mais relevantes para o modelo, ou seja, aqueles que mais influenciam na sua resposta.

A etapa de calibração, quando necessária no modelo, refere-se à obtenção dos valores numéricos de parâmetros do modelo que não podem ser obtidos diretamente, como discutido acima. Esta etapa tende a ser mais frequente em modelos empíricos e concentrados. Nos modelos desenvolvidos com bases físicas e nos modelos distribuídos, essa etapa tende a ser minimizada. De um modo geral, como lembrado por Mulligan e Wainwright (2013), os parâmetros de calibração de um modelo devem ser, sempre que possível, aqueles sem significado físico e o banco de dados usado para a calibração deverá ser diferente daquele que será usado, posteriormente, na etapa de validação.

A validação é uma etapa importante uma vez que tende a definir o sucesso de um determinado modelo. De modo geral, a validação de um modelo é feita, sempre que possível, pela comparação do valor estimado com o medido para um certo parâmetro escolhido. No entanto, como os modelos possuem com frequência vários parâmetros e variáveis, pode ocorrer uma certa subjetividade na escolha daquele que será utilizado na validação. Como colocado por Mulligan e Wainwright (2013), os parâmetros e variáveis a serem usados na etapa de validação de um modelo devem ser aqueles que representam o propósito principal de resultado do modelo, ou seja, o objetivo final da modelagem definido pela variável de saída do modelo. A escolha do parâmetro correto para a validação é importante, mas, por si só, ainda não é uma garantia de que este relativo sucesso do modelo tenha sido obtido pelas razões corretas. Conforme destacado no hoje clássico artigo de Kirchner (2006), uma boa previsão não é garantia de boa explicação, de modo que um bom modelo deve gerar boas previsões pelas razões corretas. Um elevado acerto na comparação entre o medido e o estimado, por exemplo em um modelo de previsão da descarga em uma bacia, pode ter sido alcançado pela combinação específica dos parâmetros e variáveis usada na simulação. De modo a garantir que o modelo esteja indo além do apenas gerar boas previsões (como se isso fosse pouco!), alguns autores sugerem que se faça uma validação também com alguma outra variável interna (Mulligan e Wainwright, 2013).

Dependendo do fenômeno que esteja sendo modelado não temos como fazer uma validação pelo método tradicional, discutido acima, comparando o resultado estimado com o medido. Esse é o caso de modelos voltados para a predição de áreas susceptíveis a deslizamentos. Esses modelos, de um modo geral, produzem como resultado um mapa com a distribuição espacial das áreas críticas, hierarquizadas com base em algum critério, como por exemplo o cálculo do fator de segurança em cada célula do *grid* estudado (por ex., Fernandes *et al.*, 2001; Guimarães *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2005; Vieira *et al.*, 2010; Gomes *et al.*, 2013). Nesse caso, não temos como esperar a ocorrência de um deslizamento para que a validação possa ser feita, confirmando que ali

tínhamos uma área crítica. Em modelos de movimentos de massa, a etapa de validação (ou de verificação, como chamada por alguns autores) é geralmente feita comparando-se as áreas definidas como críticas com um banco de dados de eventos pretéritos na área (mapa de cicatrizes de deslizamentos), assumindo-se que se uma área já deslizou é porque era crítica, ou seja, de elevada susceptibilidade. Aqui, de forma semelhante a discutida para modelos hidrológicos, podemos ter modelos com elevado grau de acerto, sem que necessariamente representem “bons modelos”. É comum observarmos modelos que, durante a fase de definição das classes de susceptibilidade, “exageram” nas áreas definidas como de alta susceptibilidade, gerando, como consequência, um alto grau de acerto quando comparadas com as cicatrizes de deslizamentos antigos. Evidentemente, um modelo de susceptibilidade a deslizamentos que possui um excesso de classes “vermelhas” (em detrimento de outras classes) possui pouca utilidade para um gestor público.

Em várias outras situações, também não é possível realizar a validação de um modelo, seja porque não temos como mensurar todas as variáveis envolvidas, porque não temos como acessar todos os pontos para coleta amostras (por ex., áreas distantes, íngremes e sob densa vegetação) ou porque ocorrem limitações devido ao refinamento das escalas espaciais e/ou temporais envolvidas. Nesses casos, onde uma validação rígida está prejudicada, busca-se formas alternativas que garantam, pelo menos, que o modelo passe por etapas de verificação. Uma solução empregada com frequência é a verificação dos resultados com aqueles obtidos por outros modelos já consagrados. Há um grande número de textos voltados para a revisão dos métodos utilizados na avaliação de modelos ambientais (Beck *et al.*, 1993; Calver e Cammeraat, 1993; Oreskes *et al.*, 1994; Kirchner *et al.*, 1996; Hoey e Bishop, 2003; Iverson, 2003; Willgoose *et al.*, 2003; Cox, 2006; Jakeman *et al.*, 2006; Piñeiro *et al.*, 2008; Bredehoeft, 2010; Matthews *et al.*, 2011). Por último, deve-se destacar que a etapa de validação, ou mesmo de verificação, representa etapa fundamental no emprego de modelos na investigação científica de fenômenos naturais. Infelizmente, ainda é comum na geografia física a apresentação de trabalhos em congressos, ou mesmo a publicação de artigos, onde os resultados dos modelos não são validados. Como destacado por Mulligan e Wainwright (2013), modelos não validados são tão bons quanto hipóteses não testadas.

O nosso poder de validação de modelos está diretamente associado aos erros e incertezas existentes na pesquisa, seja na etapa de coleta das informações (por ex., cartas topográficas, imagens, mensurações e experimentos de campo, etc.), na de tratamentos dos dados ou mesmo na de modelagem. Embora esse tema não venha a ser abordado neste trabalho, deve-se ter em mente que há várias fontes possíveis de erros e incertezas que precisam ser levadas em consideração para que se alcance uma efetiva validação dos resultados obtidos pelos modelos (Refsgaard *et al.*, 2007; Weiler e McDonnell, 2007; Beven, 2013; Di Baldassarre *et al.*, 2016; Refsgaard *et al.*, 2016).

Alguns Problemas e Desafios

Embora grandes avanços tenham ocorrido no uso de modelos ao longa das últimas décadas, alguns problemas e desafios existem e precisam ser enfrentados para que a ferramenta modelagem possa ser efetivamente utilizada na geografia física.

Modelagem e Metodologia Científica

Um desafio, diretamente associado aos procedimentos de metodologia científica, refere-se à necessidade de uma maior reflexão teórica por parte daqueles que usam, ou pretendem usar modelos. Para o usuário comum da geografia física, o desenvolvimento do modelo, ou mesmo o seu uso, não representa a etapa final do trabalho, mas sim uma ferramenta auxiliar para se alcançar os objetivos da pesquisa. No entanto, observa-se uma falta de interesse em tentar compreender como o modelo escolhido funciona, ou seja, como ele se propõe a simular o fenômeno, quais as suas hipóteses e o significado delas em termos da interpretação dos resultados alcançados. Com frequência, observamos usuários que se limitam a rodar o modelo e a apresentar os resultados, sem desenvolver uma discussão mais profunda sobre o significado científico deles. Paralelamente, para que o usuário consiga tirar o máximo proveito da ferramenta modelagem é necessário que ele adquira uma visão crítica do modelo em uso, conhecendo no detalhe suas bases conceituais, as escalas espaciais e temporais mais adequadas para a sua implementação, os parâmetros e variáveis que são mais relevantes, assim como as suas principais potencialidades e limitações.

Já que a modelagem pode ser vista como uma ferramenta voltada para o teste de hipóteses, para ultrapassar alguns desses desafios torna-se necessário que o usuário da geografia física rompa a tendência que tem de desprezo por maiores discussões sobre os métodos de pesquisa. Para que os modelos possam ser usados no teste de hipóteses o usuário precisar ter, efetivamente, uma(s) hipótese(s) associada(s) ao seu trabalho. Infelizmente, sabemos que nem sempre isso acontece pois ainda há um empirismo excessivo nas pesquisas que vêm sendo conduzidas na geografia física. Nessa mesma linha, vemos com frequência que muitos alunos de pós-graduação possuem apenas um “tema” de pesquisa e não uma “tese”, o que impede a geração de hipóteses que possam ser posteriormente testadas.

Na geografia física, em especial, este problema se reflete também na importância excessiva dada à área de estudo, uma vez que muitas vezes vemos uma inversão de valores, onde a área de estudo parece ser mais importante do que o tema a ser estudado. Isso se torna evidente quando nos deparamos com artigos que começam falando da área e não da questão central do trabalho. O fato é que sem essa maior rigidez teórico-metodológica, não teremos pesquisas com questões específicas bem definidas, o que impedirá a sugestão de hipóteses que poderão ser testadas através da implementação de modelos.

Para que mais dados?

Um outro problema que limita o avanço do uso da modelagem na geografia física parece estar associado à qualidade das mensurações, monitoramentos e experimentos de campo. Torna-se necessária uma maior reflexão sobre a representatividade dessas mensurações, tanto no espaço quanto no tempo. Com frequência, observa-se que as mensurações de campo são feitas em escala temporal diferente daquela relevante para os processos estudados (Sidle, 2006). Muitas vezes o sentimento que é passado durante apresentações de trabalhos em eventos é o seguinte: “fui ao campo e medi isso...”.

Evidentemente, isso limita a utilização combinada de mensurações e modelos na investigação dos sistemas (por ex., Thomaz, 2013; Blue e Brierley, 2016).

Além de problemas associados à qualidade das mensurações, há também outro problema ligado a uma tendência de diminuição, pelo menos em termos relativos, na quantidade dessas medidas feitas em campo (Sidle, 2006; Church, 2013), reduzindo a nossa compreensão dos processos atuantes a partir de observações diretas realizadas em campo. No entanto, como já argumentado aqui, a modelagem não deve ser vista como um substituto à observação. Embora trabalhar com modelos computacionais no laboratório seja, para muitos, mais atrativo do que sujar as botas em cansativos trabalhos de campo, não devemos, como destacado por Klemes (1997), colocar a “*carroça da modelagem*” na frente dos “*cavalos da observação*”. Embora os modelos tenham avançado muito nas últimas décadas eles continuam, e continuarão a precisar dos dados de campo (Silberstein, 2006; Soulsby *et al.*, 2008).

Equifinalidade e Incertezas

Uma discussão importante em estudos de modelagem, especialmente na geografia física, está associada ao conceito de equifinalidade, o qual sugere que, de forma geral, um sistema pode alcançar um determinado estágio final partindo de diferentes condições iniciais e/ou através da atuação de diferentes processos. Esse princípio, embora possa não parecer, assume grande importância em estudos ligados à aplicação de modelos, especialmente aqueles de cunho hidrológico, uma vez que permite que um ótimo ajuste entre modelo e dados seja alcançado (validação) a partir de várias combinações dos parâmetros internos (Beven, 1996). Isso torna-se importante uma vez que um modelo pode acertar uma previsão através de várias combinações de parâmetros.

Em estudos ligados à geomorfologia, por sua vez, o conceito de equifinalidade, originalmente introduzido por Culling (1957) e Chorley (1962), tem sido utilizado de uma forma um pouco diferente. Aqui, entende-se que feições de relevo similares podem ser geradas a partir de diferentes formas (condições) iniciais e/ou diferentes processos geomorfológicos controladores. Embora diversas discussões tenham sido travadas sobre os limites na aplicabilidade desse princípio (por ex., Haines-Young e Petch, 1983; Culling, 1987; Beven, 2006), é evidente a sua relação com a implementação de modelos, especialmente na questão da definição das incertezas associadas aos resultados gerados (Beven, 1996; Caers, 2011; Beven, 2015), gerando implicações importantes em estudos aplicados à reconstrução paleoambiental baseados na análise da topografia (por ex., Nicholas e Quine, 2010).

Considerações Finais

Embora o uso da modelagem na geografia física tenha crescido muito nas últimas décadas, alguns avanços precisam ser alcançados de modo a tornar os resultados obtidos mais confiáveis e representativos dos sistemas ambientais modelados. Dentre estes avanços, foram aqui discutidas a necessidade de uma visão mais crítica dos métodos científicos empregados, de uma melhora na qualidade e quantidade das mensurações e experimentos de campo, de uma constante preocupação com os conceitos de parcimônia e equifinalidade, de validar os modelos sempre que possível, entre outros.

A avaliação de modelos feita apenas pela comparação entre os resultados obtidos e os dados medidos pode ser problemática, como discutido para modelos hidrológicos e de susceptibilidade a deslizamentos. Vimos que podemos ter modelos com elevado grau de acerto, sem que necessariamente representem “bons modelos”. Para que o modelador possa ter esse poder de análise ele precisa se dedicar para compreender o modelo e o sistema em análise. Caso contrário, ele será apenas um “piloto de *software*”.

As discussões aqui colocadas atestam que a modelagem pode ser utilizada como ferramenta de aprendizado do funcionamento dos sistemas ambientais. Nessas situações, o modelo vai evoluindo continuamente, aumentando gradativamente sua complexidade ao longo do tempo, e nosso conhecimento sobre os processos que controlam o funcionamento do sistema vai se tornando mais amplo (Zheng *et al.*, 2006; Fenicia *et al.*, 2008; Lawler e Fairchild, 2010). Uma maior difusão no uso de modelos na geografia física requer, no entanto, uma expansão no conhecimento e na utilização dos métodos quantitativos disponíveis (Keylock e Dorling, 2004; Manduca *et al.*, 2008; Wenner *et al.*, 2009), assim como dos qualitativos (Yeager e Steiger, 2013). Algumas iniciativas nessa direção, seja na forma de painéis, laboratório virtuais ou de ferramentas computacionais interativas vêm sendo propostas e difundidas (por ex., Beven *et al.*, 2012; Campbell *et al.*, 2013; Neves *et al.*, 2013).

Da mesma forma que realizar mensurações, em campo ou laboratório, não é uma garantia de que estejamos fazendo ciência (Blue e Brierley, 2016), utilizar modelos na análise de problemas ambientais, semelhantemente, não é uma garantia de que estejamos avançando no conhecimento científico sobre aquele tema. Devemos ter em mente que modelar não deve ser visto como sinônimo de prever o futuro. Ao invés de garantia da resposta correta, conforme destacado por Doherty (2011), um bom modelo deve garantir que a resposta correta esteja entre os seus limites de incerteza, fazendo com a modelagem seja mais uma expressão científica de nossa ignorância do que uma afirmativa do conhecimento que ainda não possuímos.

Agradecimentos

O autor agradece a William Dietrich (Universidade da Califórnia, Berkeley) por ter aberto o caminho percorrido nos estudos de modelagem, tanto no campo teórico quando aplicado. As discussões sobre modelos realizadas com os colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ foram de grande aprendizado, em especial com Roberto Lobato Corrêa, Maria Célia Nunes Coelho, Iná Elias de Castro, Maria Naíse de Oliveira Peixoto e Paulo César da Costa Gomes. O autor agradece a Telma Mendes da Silva, João Paulo de Araújo, Lúcia Maria da Silva, Maria Fernanda Affonso Penna e Mariza Ramalho Franklin pelos comentários e revisão do texto.

Referências Bibliográficas

ACEVEDO, M. A.; MARCANO, M.; FLETCHER JR, R. J. A diffusive logistic growth model to describe forest recovery. *Ecological Modelling*, 244, 13-19, 2012.

AHNERT, F. The role of the equilibrium concept in the interpretation of landforms of fluvial erosion and deposition. In: *L'Evolution des Versants*. MACAR, P. (Ed.). Liège: Université De Liège, 23-41, 1967.

_____. Quantitative slope models. *Zeist. Geom. Supplementband*, 25, 1976.

_____. Approaches to dynamic equilibrium in theoretical simulations of slope development. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 12, 3-15, 1987.

_____. Modelling landform change. In: *Modelling Geomorphological Systems*. ANDERSON, M. G. (Ed.). New York: John Wiley, 375-400, 1988

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64(2-3), 247-271, 2005.

ALLEN, J. R. L. Reaction, relaxation and lag in natural sedimentary systems: general principles, examples and lessons. *Earth-Science Reviews*, 10, 263-342, 1974.

ARAÚJO, J. P. C., SILVA, L. M., ALVEAR, M. L. S., ARRAES, T., DOURADO, F. e FERNANDES, N. F. Análise Morfométrica de Escorregamentos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro: O Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Córrego D'Antas. *Anais do 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, UGB, 1-5, 2012.

ARMSTRONG, A. C. Slopes, boundary conditions, and the development of convexo-concave forms - some numerical experiments. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 12, 17-30, 1987.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. A continuous catchment-scale erosion model. In: *Modelling soil erosion by water*. BOARDMAN, J. e FAVIS MORTLOCK, D. (Ed.). Berlin: Springer Verlag, 413-427, 1998.

BAIRD, A. J. Soil and Hillslope (Eco)Hydrology. In: *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Wiley-Blackwell, 165-181, 2013.

BARNES, C. J. The art of catchment modeling: What is a good model? *Environment International*, 21, 5, 747-751, 1995.

BAUER, B. O.; VELEN, T. T.; WINKLER, J. A. Old methodology sneakers: fashion and function in a cross-training era. *Annals of the Association of American Geographers*, 89, 4, 679-687, 1999.

BECK, M. B.; JAKEMAN, A. J.; MCALLEER, M. J. Construction and Evaluation of Models of Environmental Systems. In: *Modelling Change In Environmental Systems*. JAKEMAN, A. J.; BECK, M. B., et al (Eds). Chichester: John Wiley Sons, 3-35, 1993.

BENNETT, R. J.; CHORLEY, R. J. *Environmental Systems: Philosophy, Analysis and Control*. Londres: Methuen, 1978.

BERTOLINO, A. V. F. A., FERNANDES, N. F., MIRANDA, J. P., SOUZA, A. P., LOPES, M. S., PALMIERI, F. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau. *Jour. of Hydrology*, 393, 94-104, 2010.

BEVEN, K. Changing Ideas in Hydrology - The Case of Physically-Based Models. *Journal of Hydrology*, 105, 157-172, 1989.

_____. Future of Distributed Modelling. *Hydrological Processes*, 6, 279-298, 1992.

_____. Equifinality and Uncertainty in Geomorphological Modelling. In: *The Scientific Nature of Geomorphology*. RHOADS, B. L. e THORN, C. E. (Ed.). Chichester: John Wiley, 1996, 289-313, 1996.

_____. A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology*, 320, 1-2, 18-36, 2006.

_____. So how much of your error is epistemic? Lessons from Japan and Italy. *Hydrological Processes*, 27, 11, 1677-1680, 2013.

_____. Facets of uncertainty: epistemic uncertainty, non-stationarity, likelihood, hypothesis testing, and communication. *Hydrological Sciences Journal*, 61, 9, 1652-1665, 2016.

BEVEN, K.; BUYTAERT, W.; SMITH, L. A. On virtual observatories and modelled realities (or why discharge must be treated as a virtual variable). *Hydrological Processes*, 26, 12, 1906-1909, 2012.

BEVEN, K. J. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, 16-17, 117-151, 1965.

BLÖSCHL, G. Hydrologic Synthesis: Across Processes, Places and Scales. *Water Res. Res.*, 42, W03S02, 2006.

BLUE, B.; BRIERLEY, G. 'But what do you measure?' Prospects for a constructive critical physical geography. *Area*, 48, 2, 190-197, 2016.

BORGA, M., STOFFEL, M., MARCHI, L., MARRA, F. e JAKOB, M. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518, 194-205, 2014.

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Geomorphological equilibrium: myth and metaphor? *Transactions of the Institute of British Geographers*, 31, 2, 167-178, 2006.

BRASINGTON, J.; RICHARDS, K. Reduced-complexity, physically-based geomorphological modelling for catchment and river management. *Geomorphology*, 90, 3-4, 171-177, 2007.

BREDEHOEFT, J. Models and Model Analysis. *Ground Water*, 48, 3, 328-328, 2010.

BROOKS, S. M.; RICHARDS, K. S. Establishing the Role of Pedogenesis in Changing Soil Hydraulic Properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 573-578, 1993.

BRUNET, R. *Sustainable Geography*. London: John Wiley, 2011.

BRUNSDEN, D.; LIN, J.-C. The concept of topographic equilibrium in neotectonic terrains. In: *Neotectonics and Resources*. COSGROVE, J. e JONES, M. (Ed.). London: Belhaven Press, 120-143, 1991.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape sensitivity and change. *Trans. Inst. Brit. Geogr.*, 4, 4, 1979.

BURTON, I. The quantitative revolution and theoretical geography. In: *The Conceptual Revolution in Geography*. DAVIES, W. K. D. (Ed.). Univ. London Press, 140-156, 1972.

CAERS, J. *Modeling Uncertainty in the Earth Sciences*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

CALVER, A.; CAMMERAAT, L. H. Testing a Physically-Based Runoff Model Against Field Observations on a Luxembourg Hillslope. *Catena*, v. 20, p. 273-288, 1993.

CAMPBELL, K.; OVEREEM, I.; BERLIN, M. Taking it to the streets: The case for modeling in the geosciences undergraduate curriculum. *Computers & Geosciences*, 53, 123-128, 2013.

CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V. e REICHENBACH, P. Gis Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 5, 427-445, 1991.

CHAVES, H. M. L. Adaptação do Modelo WEPP para as Condições Brasileiras. In: *Solos Altamente Susceptíveis à Erosão*. PEREIRA, V. P. e FERREIRA, M. E. (Ed.). Jaboticabal: UNESP/SBCS, 213-221, 1994.

CHORLEY, R. J. Climate and Morphometry. *Journal of Geology*, 65, 628-638, 1957.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 500-B, 1962.

CHORLEY, R. J. Geography and Analogue Theory. *Annals of the Association of American Geographers*, 54, 2, 127-137, 1964.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Eds.) *Models In Geography*. Londres: Methuen, 816p., 1967.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: A Systems Approach*. London: Prentice-Hall International, 370p., 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec, 1979.

_____. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: *Perspectivas da Geografia*. CHRISTOFOLETTI, A. (Ed.). São Paulo: DIFEL, 11-36, 1982.

_____. Desenvolvimento da Quantificação em Geografia. *Geociências*, Vol. Esp., 67-78, 1990.

CHRISTOFOLLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher, 236p., 1999.

CHURCH, M. Refocusing geomorphology: Field work in four acts. *Geomorphology*, 200, 184-192, 2013.

CHURCH, M.; MARK, D. M. On size and scale in geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 4, 3, 342-390, 1980.

CODILEAN, A. T.; BISHOP, P.; HOEY, T. B. Surface process models and the links between tectonics and topography. *Progress in Physical Geography*, 30, 3, 307-333, 2006.

COELHO NETTO, A. L. Overland flow production in a tropical rainforest catchment : the role of litter cover. *Catena*, 14, 213-231, 1987.

COX, N. J. Assessing agreement of measurements and predictions in geomorphology. *Geomorphology*, 76, 3-4, 332-346, 2006.

COX, P. M. et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408, 9, 184-187, 2000.

CROSS, M.; MOSCARDINI, A. O. *Learning the Art of Mathematical Modelling*. Chichester: John Wiley & Sons, 1985.

CULLING, W. E. H. Multicyclic streams and the equilibrium theory of grade. *Journal of Geology*, 65, p. 259-274, 1957.

_____. Analytical theory of erosion. *J. Geol.*, 68, 336-344, 1960.

_____. Theory of erosion on soil-covered slopes. *J. Geol.*, 73, 230-254, 1965.

_____. Equifinality: modern approaches to dynamical systems and their potential for geographical thought. *Trans. Inst. Br. Geogr.*, 12, 57-72, 1987.

CYR, A. J.; GRANGER, D. E. Dynamic equilibrium among erosion, river incision, and coastal uplift in the northern and central Apennines, Italy. *Geology*, 36, 2, 103-106, 2008.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. *Geographical Journal*, 14, 481-504, 1899.

DI BALDASSARRE, G.; BRANDIMARTE, L.; BEVEN, K. The seventh facet of uncertainty: wrong assumptions, unknowns and surprises in the dynamics of human–water systems. *Hydrological Sciences Journal*, 61, 9, 1748-1758, 2015.

DIETRICH, W. E., BELLUGI, D., SKLAR, L., STOCK, J., HEIMSATH, A. e ROERING, J.. Geomorphic transport laws for predicting landscape form and dynamics. In: *Prediction in Geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington: American Geophysical Union, 103-132, 2003.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. *SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential*. Nat. Council for Air and Stream Improvement, 26p., 1998.

DIETRICH, W. E., REISS, R., HSU, M.-L., AND MONTGOMERY, D.R. A Process- Based Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*, 9, 383-400, 1995.

DOHERTY, J. Modeling: Picture Perfect or Abstract Art? *Ground Water*, 49, 4, 455, 2011.

DONNER, L. J.; LARGE, W. G. Climate Modeling. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 1, 1-17, 2008.

DUNNE, T. Stochastics Aspects of The Relations between Climate, Hydrology and Landform Evolution. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*. 12, 1-24, 1991.

EGNER, H.; VON ELVERFELDT, K. A bridge over troubled waters? Systems theory and dialogue in geography. *Area*, 41, 3, 319-328, 2009.

ELSHORBAGY, A.; PARASURAMAN, K. On the relevance of using artificial neural networks for estimating soil moisture content. *Journal of Hydrology*, 362, 1-2, 1-18, 2008.

FATICHI, S. et al. An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology. *Journal of Hydrology*, 537, 45-60, 2016.

FENICIA, F.; MCDONNELL, J. J.; SAVENIJE, H. H. G. Learning from model improvement: On the contribution of complementary data to process understanding. *Water Resour. Res.*, 44, W06419, 2008.

FERNANDES, N. F. Modelagem Matemática em Geomorfologia: Potencialidades e Limitações. *Sociedade e Natureza*, 15, 222-227, 1996.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; DEUS, C. E. Monitoramento dos fluxos d'água no solo : instrumentação alternativa. *Anais do II Simpósio de Geografia Física e Aplicada, Nova Friburgo, Rio de Janeiro*, 71-97, 1989.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys - south-eastern Brazil. *Earth Surface Processes & Landforms*, 19, 7, 609-626, 1994.

FERNANDES, N. F.; DIETRICH, W. E. Modeling Hillslope Evolution Under Cyclic Climatic Oscillations: The Time Required to Steady-state. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68, Supl. 1, Special Vol. of the Regional Conf. on Global Change, 157-162, 1996.

FERNANDES, N. F.; DIETRICH, W. E. Hillslope evolution by diffusive processes: the time scale for equilibrium adjustments. *Water Resources Research*, 33, 6, 1307-1318, 1997.

FERNANDES, N. F. et al. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: Field evidence and modeling. *Catena*, 55, 2, 163-181, 2004.

FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2, 1, 51-71, 2001.

FISCHER, M. M. Expert Systems and Artificial Neural Networks for Spatial Analysis and Modelling. *Geographical Systems*, 1, 3, 221-235, 1994.

FORD, A. *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. Washington, D.C.: Island Press, 2a, 401p., 2010.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, C. T. Haan, H. P. Johnson, and D. L. Brakensiek (Eds.), New York: ASAE, 297-380, 1982.

FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G., PRESTON, N., SPENCER, J. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. *Geomorphology*, 84, 3-4, 297-316, 2007.

FUKUNAGA, D. C., CECÍLIO, R., ZANETTI, S., OLIVEIRA, L. CAIADO, M. A. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena*, 125, 206-213, 2015.

FURLANI, S.; NINFO, A. Is the present the key to the future? *Earth-Science Reviews*, 142, 38-46, 2015.

GAUCH JR., H. G. Prediction, parsimony and noise. *American Scientist*, 81, 468-478, 1993.

GILBERT, G. K. *Report on the Geology of the Henry Mountains (Utah)*. U. S. Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountains Region, Washington, D.C., 1877.

_____. The Convexity of Hilltops. *Journal of Geology*, v. XVII, n. 4, 344-350, 1909.

GILCHRIST, A. R. On Appraising Classical Models of Landscape Evolution for Passive Continental Margins. In: *Steepland Geomorphology*. SLAYMAKER, O. (Ed.), Chichester: John Wiley & Sons, 7-26, 1995.

GIORDANO, F. R., FOX, W., HORTON, W., WEIR, M. *A First Course in Mathematical Modeling*. Belmont: BROOKS/COLE, 4a, 620p., 2009.

GOMES, R. A. T. et al. Combining Spatial Models for Shallow Landslides and Debris-Flows Prediction. **Remote Sensing**, v. 5, p. 2219-2237, 2013. Disponível em: <>.

GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R.F., CARVALHO Jr., O., FERNANDES, N. F., VARGAS Jr., E. Identification of the Affected Areas by Mass Movement Through a Physically Based Model of Landslide Hazard Combined with an Empirical Model of Debris Flow. *Natural Hazards*, 45, 197-209, 2008.

GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R.F., CARVALHO Jr., O., FERNANDES, N. F. Análise de um Modelo de Previsão de Deslizamentos (SHALSTAB) em Diferentes Escalas Cartográficas. *Solos e Rochas*, 28, 1, 85-97, 2005.

GOVERS, G. Misapplications and Misconceptions of Erosion Models. In: *Handbook of Erosion Modelling*. MORGAN, R. P. C. e NEARING, M. (Ed.), New York:Wiley-Blackwell, 117-134, 2011.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. Predicting Soil Loss and Runoff from Forest Roads and Seasonal Cropping Systems in Brazil Using WEPP. In: *Handbook of Erosion Modelling*. MORGAN, R. P. C. e NEARING, M. (Ed.). New York:Wiley-Blackwell, 186-194, 2011.

GUIMARÃES, R. F., CARVALHO Jr., O., GOMES, R. A. T., FERNANDES, N. F. Movimentos de Massa. In: *Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais*. FLORENZANO, T. G. (Ed.).São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUIMARÃES, R. F., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M., FERNANDES, N. F., GOMES, R. A. T., CARVALHO Jr., O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: Application to Rio de Janeiro. *Engineering Geology*, 69, 1-2, 98-108, 2003.

HACK, J. T. Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions. *American Journal of Science*, 258A, 80-97, 1960.

_____. The equilibrium concept of landscape. *USGS Prof. Paper*, 484, 5-9, 1965.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Models, Paradigmes and The New Geography. In: *Models In Geography*. CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. (Ed.), Londres: Methuen & Co., 1967.

HAGHIPOUR, N., BURG, J. P., IVY-OCHS, S., HAJDAS, I. KUBIK, P. CHRISTI, M. Correlation of fluvial terraces and temporal steady-state incision on the onshore Makran accretionary wedge in southeastern Iran: Insight from channel profiles and ¹⁰Be exposure dating of strath terraces. *Geological Society of America Bulletin*, 127, 3-4, 560-583, 2015.

HAINES-YOUNG, R. H.; PETCH, J. R. Multiple working hypotheses: equifinality and the study of landforms. *Trans. Inst. Br. Geog. N. S.*, 8, 458-466, 1983.

_____. *Physical Geography: Its Nature and Methods*. London: Harper & Row, 217p., 1986.

HAN, J.; GASPARINI, N. M.; JOHNSON, J. P. L. Measuring the imprint of orographic rainfall gradients on the morphology of steady-state numerical fluvial landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 10, 1334-1350, 2015.

HARRISON, S. P.; BARTLEIN, P. J.; PRENTICE, I. C. What have we learnt from palaeoclimate simulations? *Journal of Quaternary Science*, 31, 4, 363-385, 2016.

HARTE, J. *Consider a Spherical Cow*. Mill Valley: University Science Books, 283p., 1988.

HARVEY, D. *Explanation in Geography*. Londres: Edward Arnold, 521p., 1969.

HILL, M. C. The Practical Use of Simplicity in Developing Ground Water Models. *Ground Water*, 44, 6, 775-781, 2006.

HOEY, T. B.; BISHOP, P. Testing Numerical Models in Geomorphology: How Can We Ensure Critical Use of Model Predictions? In: *Prediction in Geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington:AGU, 241-256, 2003.

HOOSBEEK, M. R.; BRYANT, R. B. Towards the quantitative modeling of pedogenesis -- a review. *Geoderma*, 55, 3-4, 183-210, 1992.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. *Trans. of the Am. Geophys. Union*, 13, 350-361, 1932.

_____. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. of the Am. Geophys. Union*, 14, 446-460, 1933.

_____. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Soc. of America*, 56, 2, 275-370, 1945.

HOWARD, A. D. Geomorphological systems - equilibrium and dynamics. *Am. J. Sci.*, 263, 302-312, 1965.

_____. A detachment-limited model of drainage basin evolution. *Water Resource Research*, 30, 7, 2261-2285, 1994.

HSU, L.; DIETRICH, W. E.; SKLAR, L. S. Experimental study of bedrock erosion by granular flows. *J. Geophys. Res.*, 113, n. F02001, 2008.

HUGGETT, R. J. *Modelling the Human Impact on Nature*. Oxford Univ. Press, 202p., 1993.

INKPEN, R. J. *Science, Philosophy and Physical Geography*. London:Routledge,164p., 2005.

IVERSON, R. M. How Should Mathematical Models of Geomorphic Processes be Judged? In: *Prediction in geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington: AGU, 83-94, 2003.

JAKEMAN, A. J.; LETCHER, R. A.; NORTON, J. P. Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models. *Env. Modelling & Software*, 21, 602-614, 2006.

JØRGENSEN, S. E. Overview of the model types available for development of ecological models. *Ecological Modelling*, 215, 1-3, 3-9, 2008.

KAMPF, S. K.; BURGESS, S. J. A framework for classifying and comparing distributed hillslope and catchment hydrologic models. *Water Resour. Res.*, 43, n. W05423, 2007.

KETTNER, A. J.; SYVITSKI, J. P. M. Modeling for environmental change. *Computers & Geosciences*, 53, 1-2, 2012.

KEYLOCK, C. J.; DORLING, D. What kind of quantitative methods for what kind of geography? *Area*, 36, 4, 358-366, 2004.

KIRCHNER, J. W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Res. Res.*, 42, W03S04, 2006.

KIRCHNER, J. W., FINKEL, R., RIEBE, C., GRANGER, D., CLAYTON, J., KING, J., MEGAHAN, W. Mountain erosion over 10 yr, 10 k.y., and 10 m.y. time scales. *Geology*, 29, 591-594, 2001.

KIRCHNER, J. W., HOOPER, R., KENDALL, C., NEAL, C., LEAVESLEY, G. Testing and validating environmental models. *Science of The Total Environment*, 183, 1-2, 33-47, 1996.

KIRKBY, M. J. A Role for Theoretical Models in Geomorphology. In: *The Scientific Nature of Geomorphology*. RHOADS, B. L. e THORN, C. E. (Ed.). Chichester:Wiley, 257-272, 1996.

_____. Measurement and theory of soil creep. *Jour. Geology*, 75, 4, 359-378, 1967.

_____. Hillslope process-response models based on the continuity equation. *Trans. Inst. British Geographers, Spec. Publ.*, 3, 15-30, 1971.

_____. Models in Physical Geography. In: *Horizons in Physical Geography*. CLARK, M. J.; GREGORY, K. J., et al (Ed.), London: Macmillan, 47-61, 1987.

_____. A Consistent Framework for Modelling Geomorphic Processes and Landform Evolution. In: *Prediction in Geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington: AGU, 95-102, 2003.

KIRKBY, M. J., NADEN, P. S., BURT, T. P., BUTCHER, D. P. *Computer Simulation in Physical Geography*. Chichester: John Wiley, 227p., 1987.

KLEMES, V. Of Carts and Horses in Hydrological Modelling. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1, 43-49, 1997.

LANCASTER, S. T.; GRANT, G. E. You Want Me to Predict What? In: *Prediction in geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington: AGU, 41-50, 2003.

LAWLER, D. M.; FAIRCHILD, I. J. New developments in process understanding and modelling in geomorphology: introduction and overview. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 10, 1247-1250, 2010.

LEOPOLD, L. B. Downstream change of velocity in rivers. *American Journal of Science*, 251, 8, 606-624, 1953.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. J. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 252, 57p., 1953.

LEOPOLD, L. B.; MILLER, J. P. Ephemeral Streams - Hydraulic Factors and Their Relation to the Drainage Net. *U. S. Geological Survey Prof. Paper*, 282A, 16-24, 1956.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River channel patterns: braided, meandering and straight. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 282B, 39-85, 1957.

MACMILLAN, B. (Ed.) *Remodelling Geography*. Oxford: Basil Blackwell, 348p., 1989.

MANDUCA, C. A., BAER, E., HANCOCK, G. MACDONALD, R., PATTERSON, S., SAVINA, M., WENNER, J. Making Undergraduate Geosciences Quantitative. *EOS*, 89, 16, 149-150, 2008.

MARCHIORO, E., FERNANDES, N. F., MACEDO, J. R., BHERING, S. B., GONÇALVES, A. O., ALVES, L. O., CAIADO, M. A. C. Modelagem da Produção de Sedimentos no Noroeste Fluminense como Subsídio ao Planejamento Ambiental: Um Estudo de Caso da Bacia do Córrego Santa Maria. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12, 29-38, 2011.

MATTHEWS, K. B., RIVINGTON, M., BLACKSTOCK, K., McCRUM, G., BUCHAN, K., MILLER, D. Raising the bar? - The challenges of evaluating the outcomes of environmental modelling and software. *Environmental Modelling & Software*, 26, 3, 247-257, 2011.

MEERVELD, I. T.-V.; WEILER, M. Hillslope dynamics modeled with increasing complexity. *Journal Of Hydrology*, 361, 1-2, 24-40, 2008.

MENNIS, J.; GUO, D. Spatial data mining and geographic knowledge discovery--An introduction. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 6, 403-408, 2009.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18, 761-799, 2003.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil formation and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. *Geoderma*, 103, 1-2, 161-179, 2001.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; SALVADOR-BLANES, S. Quantitative models for pedogenesis -- A review. *Geoderma*, 144, 1-2, 140-157, 2008.

MINSHULL, R. *An Introduction to Models in Geography*. London: Longman, 162p., 1975.

MOEYERSONS, J.; DE PLOEY, J. Quantitative data on splash erosion, simulated on unvegetated slopes. *Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband*, 25, 120- 131, 1976.

MONTGOMERY, D. R., AND DIETRICH, W.E. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Res. Research*, 30, 1153-1171, 1994.

MOORHEAD, D. L., SINSABAUGH, R., LINKINS, A., REYNOLDS, J. Decomposition processes: modelling approaches and applications. *Science of The Total Environment*, 183, 1-2, 137-149, 1996.

MOREIRA, I. C.; MELLO, C. L.; FERNANDES, N. F. Aplicação de Modelos Matemáticos de Evolução do Relevo (GOLEM) na Simulação do Recuo da Borda de Falha da Bacia de Resende". *Anais do 44o Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba (PR), Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

_____. Modeling Long-Term Landscape Evolution in Southeastern Brazil: The Retreatment of the Mantiqueira Escarpment. *2009 EGU - European Geosciences Union General Assembly*, Viena, Áustria, 12315p., 2009.

_____. Aplicação de Modelo Matemático de Evolução do Relevo na Simulação do Recuo da Escarpa de Porção da Serra da Mantiqueira, Resende/Itatiaia (RJ). *Anais do 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia*, UGB, Rio de Janeiro, 1-5, 2012.

MORGAN, R. P. C.; NEARING, M. *Handbook of Erosion Modelling*. Wiley-Blackwell, 416p., 2011.

MUCHER, H. J.; DE PLOEY, J. Experimental and micromorphological investigation of erosion and redeposition of loess by water. *Earth Surface Processes*, 2, 117-124, 1977.

MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J. Modelling and Model Building. In: *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. 2nd WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2a., 7-26, 2013.

MURRAY, A. B. Reducing model complexity for explanation and prediction. *Geomorphology*, 90, 3-4, 178-191, 2007.

NASH, D. Forms of bluffs degraded for different lengths of time in Emmet County, Michigan, U.S.A. *Earth Surf. Proc.*, 5, 331-345, 1980.

NASH, D. B.; BEAUJON, J. S. Modeling degradation of terrace scarps in Grand Teton National Park, USA. *Geomorphology*, 75, 3-4, 400-407, 2006.

NDIAYE, B. et al. Effects of agricultural practices on hydraulic properties and water movement in soils in Brittany (France). *Soil and Tillage Research*, 93, 2, 251-263, 2007.

NEARING, M. A. et al. A process-based soil erosion model for USDA - Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions ASAE*, 32, 1587-1593, 1989.

NEARING, M. A. et al. Measurements and Models of Soil Loss Rates. *Science*, 290, 5495, 1300-1301, 2000.

NELSON, B. L. *Stochastic Modeling: Analysis & Simulation*. New York: Dover, 1995.

NEVES, R. G. M.; NEVES, M. C.; TEODORO, V. D. Modelling: Interactive computational modelling to improve teaching of physics in the geosciences. *Computers & Geosciences*, 56, 119-126, 2013.

NICHOLAS, A. P.; QUINE, T. A. Crossing the divide: Representation of channels and processes in reduced-complexity river models at reach and landscape scales. *Geomorphology*, 90, 3-4, 318-339, 2007.

_____. Quantitative assessment of landform equifinality and palaeoenvironmental reconstruction using geomorphic models. *Geomorphology*, 121, 3-4, 167-183, 2010.

NIEMANN, J. D. et al. A quantitative evaluation of Playfair's law and its use in testing long-term stream erosion models. *Earth Surf. Proc. and Landforms*, 26, 12, 1317-1332, 2001.

ORESQUES, N.; SHRADER-FRECHETTE, K.; BLITZ, K. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science*, 263, 641-645, 1994.

OWEN, J. J. et al. The sensitivity of hillslope bedrock erosion to precipitation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 1, 117-135, 2011.

PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J.; LIN, H. S. Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma*, 131, 3-4, 308-316, 2006.

PAOLA, C. Is it possible to predict the past? *Lithosphere*, 5, 4, 450-451, 2013.

PARKER, G. et al. A new framework for modeling the migration of meandering rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 1, 70-86, 2011.

PELLETIER, J. D. *Quantitative Modeling of Earth Surface Processes*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 295p., 2008.

PELLETIER, J. D.; RASMUSSEN, C. Geomorphically based predictive mapping of soil thickness in upland watersheds. *Water Resour. Res.*, 45, 2009.

PEREIRA, A., SHOCK, C., FEIBERT, E., FLOCK, R., LIMA, L., FERNANDES, N. F. Monitoramento da Irrigação Por Meio da Tensão de Água do Solo: Guia Prático. Ponta Grossa, PR: Editora da UEPG, 20p., 2006.

PERRON, J. T., RICHARDSON, P. W., FERRIER, K. L., LAPOTRE, M. The root of branching river networks. *Nature*, 492, 7427, 100-103, 2012.

PETERSON, A. E.; SWAN, J. B. (Eds.) *Universal Soil Loss Equation: Past, Present, and Future*. Soil Sci. Soc. Am. Special Publication. Califórnia, 53p., 1979.

PHILLIPS, J. D. The end of equilibrium? *Geomorphology*, 5, 195-201, 1992.

_____. Nonlinear dynamical systems in geomorphology: revolution or evolution? *Geomorphology*, 5, 219-229, 1992.

_____. Emergence and pseudo-equilibrium in geomorphology. *Geomorphology*, 132, 3-4, 319-326, 2011.

PHILLIPS, J. D.; RENWICK, W. H., Eds. *Geomorphic Systems*. 23rd Binghamton Symposium in Geomorphology. Amsterdam: Elsevier, 1992.

PIÑEIRO, G., PERELMAN, S., GUERSCHMAN, J., PARUELO, J. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *Ecological Modelling*, 216, 316-322, 2008.

RANATUNGA, K.; NATION, E. R.; BARRATT, D. G. Review of soil water models and their applications in Australia. *Environmental Modelling & Software*, 23, 9, 1182-1206, 2008.

REFSGAARD, J. C. et al. Climate change impacts on groundwater hydrology – where are the main uncertainties and can they be reduced? *Hydrological Sciences Journal*, 1-13, 2016.

REFSGAARD, J. C., VAN DER SLUIJS, J., HOJBERJ, A. VANROLLEGHEM, P. Uncertainty in the environmental modelling process - A framework and guidance. *Environmental Modelling & Software*, 22, 11, 1543-1556, 2007.

REID, S. C., LANE, S., MONTGOMERY, D., BROOKES, C. Does hydrological connectivity improve modelling of coarse sediment delivery in upland environments? *Geomorphology*, 90, 3-4, 263-282, 2007.

REMPE, D. M.; DIETRICH, W. E. A bottom-up control on fresh-bedrock topography under landscapes. *PNAS - Proc. Nat. Acad. Sciences*, 111, 18, 6576-6581, 2014.

RENARD, P.; ALCOLEA, A.; GINSBOURGER, D. Stochastic versus Deterministic Approaches. In: *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2a, 33-149, 2013.

RENEAU, S. L.; DIETRICH, W. E. Erosion Rates In The Southern Oregon Coast Range - Evidence For An Equilibrium Between Hillslope Erosion And Sediment Yield. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 4, 307-322, 1991.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, 14, 69-77, 2001.

ROVIRA, P.; ROVIRA, R. Fitting litter decomposition datasets to mathematical curves: Towards a generalised exponential approach. *Geoderma*, 155, 3-4, 329-343, 2010.

SALMUN, H.; MOLOD, A. Progress in modeling the impact of land cover change on the global climate. *Progress in Physical Geography*, 30, 6, 737-749, 2006.

SCANLON, T. M., CAYLOR, K. LEVIN, S., RODRIGUEZ-ITURBE, I. Positive feedbacks promote power-law clustering of Kalahari vegetation. *Nature*, 449, 13, 2007.

SCHEINGROSS, J. S.; LAMB, M. P. Sediment transport through self-adjusting, bedrock-walled waterfall plunge pools. *Jour. of Geophys. Res.: Earth Surface*, 121, 5, 939-963, 2016.

SCHERTZ, D. L. *Use and Abuse of the Universal Soil Loss Equation*. USDA-SCS, Agronomy Technical Note, 36, 1-2. 1978

SCHUMM, S. A.; KHAN, H. R. Experimental study of channel patterns. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 83, 1755-1790, 1972.

SHOCK, C. C. Soil water potential measurement by granular matrix sensors. In: *Encyclopedia of Water Sciences*. STEWART, B. A. e HOWELL, T. A. (Ed.), Marcel Dekker, 899-903, 2003.

SIDLE, R. C. Field Observations and Process Understanding in Hydrology: Essential Components in Scaling. *Hydrological Processes*, 20, 1439-1445, 2006.

SILBERSTEIN, R. P. Hydrological models are so good, do we still need data? *Environmental Modelling & Software*, 21, 9, 1340-1352, 2006.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E. A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. *Water Resources Research*, 40, 6, 2004.

SMITH, J.; SMITH, P. *Environmental Modelling: An Introduction*. Oxford: Oxford Univ. Press, 2007.

SOHL, T.; SAYLER, K. Using the FORE-SCE model to project land-cover change in the southeastern United States. *Ecological Modelling*, 219, 1-2, 49-65, 2008.

SOULSBY, C. et al. Catchment data for process conceptualization: simply not enough? *Hydrological Processes*, 22, 12, 2057-2061, 2008.

SOUZA, L.. CARBONO, A., MARTHA, L. F., MELLO, C. L., FERNANDES, N.F. Simulação Numérica da Influência da Litologia no Recuo Diferencial da Escarpa da Serra da

Mantiqueira em Resende e Itatiaia (RJ). *Anais do 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, UGB, 1-5, 2012.

STOLAR, D. B.; WILLET, S. D.; MONTGOMERY, D. R. Characterization of topographic steady state in Taiwan. *Earth & Planetary Science Letters*, 261, 421-431, 2007.

STRAHLER, A. N. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis - Part I. *Am. Jour. Sci.*, 248, 673-696, 1950a.

_____. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis - Part II. *Am. Jour. Sci.*, 248, 800-814, 1950b.

_____. Dynamic Basis of Geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 63, 923-938, 1952a.

_____. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 63, 1117-1142, 1952b.

STRAHLER, A. N. Statistical analysis in geomorphic research. *Journal of Geology*, 62, 1-25, 1954.

_____. Quantitative Slope Analysis. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 67, 571-596, 1956.

_____. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *American Geophysical Union, Transactions*, 38, 6, 913-920, 1957.

STRANGEWAYS, I. *Measuring the Natural Environment*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 365p, 2000.

SUNDE, M., HE, H., HUBBART, J., SCROGGINS, C. Forecasting streamflow response to increased imperviousness in an urbanizing Midwestern watershed using a coupled modeling approach. *Applied Geography*, 72, 14-25, 2016.

THOMAZ, E. L. Experimentação, Monitoramento e Tratamento de Dados como Fundamento à Modelagem em Geografia Física. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Vitória, ES, 1, 1-7, 2013.

THOMAZ, E. L.; PEREIRA, A. A. Performance assessment of a microsprinkler. *Acta Scientiarum*, 36, 2, 315-321, 2014.

TONINI, R., ARMIGLIATO, A., PAGNONI, G., TINTI, S. Modeling the 2004 Sumatra tsunami at Seychelles Islands: site-effect analysis and comparison with observations. *Natural Hazards*, 70, 2, 1507-1525, 2014.

TUCKER, G. E.; HANCOCK, G. R. Modelling landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1, 28-50, 2010.

VAN DER BEEK, P. Modelling Landscape Evolution. In: *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.), 2a, Chichester: Wiley-Blackwell, 309-331, 2013.

VAN STEIJN, H. The development of a laboratory set-up to measure creep induced by freeze-thaw cycles. *Earth Surface Processes*, 2, 247-250, 1977.

VAN WESTEN, C. J.; CASTELLANOS, E.; KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 112-131, 2008.

VANWALLEGHEM, T., STOCKMANN, U., MINASNY, B. McBRATNEY, A. A quantitative model for integrating landscape evolution and soil formation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118, 2, 331-347, 2013.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F.; AUGUSTO FILHO, O. Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 9, 1829-1837, 2010.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Modelos em Geografia Física: Conceitos e Aplicações na Previsão de Escorregamentos. *Geosp - Espaço e Tempo (online)*, 20, 1, 194-206, 2016.

VILES, H. A.; GOUDIE, A. S. Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews*, 61, 1-2, 105-131, 2003.

WAINWRIGHT, J.; MULLIGAN, M. (Eds.). *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. Chichester:Wiley-Blackwell, 475p., 2nd ed., 2013.

WEILER, M.; MCDONNELL, J. J. Conceptualizing lateral preferential flow and flow networks and simulating the effects on gauged and ungauged hillslopes. *Water Resour. Res.*, 43, 3, W03403, 2007.

WENNER, J. et al. The Case For Infusing Quantitative Literacy Into Introductory Geosciences Courses. *Numeracy*, 2, 1, 1-25, 2009.

WHIPPLE, K. X. Fluvial Landscape Response Time: How Plausible Is Steady-State Denudation? *American Journal of Science*, 301, 4-5, 313-325, 2001.

WILCOCK, P. R.; IVERSON, R. M. Prediction in Geomorphology. In: *Prediction in Geomorphology*. WILCOCK, P. R. e IVERSON, R. M. (Ed.). Washington: AGU, 3-11, 2003.

WILKS, D. S.; WILBY, R. L. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress In Physical Geography*, 23, 3, 329-357, 1999.

WILLGOOSE, G. Mathematical Modeling of Whole Landscape Evolution. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 1, 443-459, 2005.

WILLGOOSE, G. R.; HANCOCK, G. R.; KUCZERA, G. A Framework for the Quantitative Testing of Landform Evolution Models. In: *Prediction in geomorphology*. WILCOCK PETER, R. e IVERSON RICHARD, M. (Ed.). Washington: AGU, 195-216, 2003.

WISCHMEIER, W. H. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, 1, 5-9, 1976.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains; guide for selection of practices for soil water conservation*. USDA. Agricultural Handbook, Washington, D.C., 282, 1965

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.; UHLAND, R. E. Evaluation of Factors in the Soil-Loss Equation. *Agricultural Engineering*, 39, 458-462, 1958.

WOLDENBERG, M. (Ed.). *Models in Geomorphology*. Boston: Allen & Unwin, 434p., 1985.

WOLMAN, M. G. The More Things Change. *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 4, 723-728, 2004.

WOLMAN, M. G.; GERSON, R. Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes*, 3, 2, 189-208, 1978.

WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *The Journal of Geology*, 68, 1, 54-74, 1960.

XAVIER DA SILVA, J., GOES, M.H.B., FERREIRA, A.L., BERGAMO, R.B.A.A., IERVOLINO, P., ROCHA, E.N., PACHECO, E.A., SILVEIRA, R.S., MACHADO, R.D., COSTA, W.P. Estimativa de Riscos de Deslizamentos/Desmoronamentos no Maciço do Tinguá e Arredores. Anais do XXXIX Congr. Bras. de Geologia, Salvador, 273-276, 1996.

YEAGER, C. D.; STEIGER, T. Applied geography in a digital age: The case for mixed methods. *Applied Geography*, 39, 1-4, 2013.

ZHENG, C., POETER, E., HILL, M. DOHERTY, J. Understanding through Modeling. *Ground Water*, 44, 6, 769-770, 2006.

Recebido em: 15/6/2016

Aceito em: 30/6/2016

Sessão de Clássicos

O artigo selecionado para constituir a “Sessão de Clássicos” deste número da revista *Espaço Aberto* refere-se a uma reflexão sobre o papel do Geógrafo “Físico” na academia e na sociedade feita pela saudosa professora Maria Regina Mousinho de Meis (Depto. Geografia – IGEO/UFRJ). Este artigo foi resultado de sua participação em uma mesa-redonda sobre *A Geografia Física e a Análise Ambiental* que ocorreu no I Simpósio de Geografia Física Aplicada, realizado no período de 3 a 7 de dezembro de 1984, nas dependências do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, situada na cidade de Rio Claro (SP).

Este evento teve como coordenação geral o saudoso professor Antônio Christofolletti e o professor Helmut Troppmair e procurou reunir, pela primeira vez, os especialistas e interessados em “Geografia Física” para avaliar o desenvolvimento ocorrido naqueles anos neste setor da Ciência Geográfica e nas pesquisas realizadas nas várias instituições brasileiras. É importante ressaltar que, após a regulamentação da *Profissão de Geógrafo* (Lei 6.664/79), os profissionais da área de “Geografia Física” ainda não tinham tido oportunidade para se reunir, debater e definir o modo de ação mais consubstanciado para a realidade brasileira. O evento teve assim uma importância fundamental para congregar estes profissionais, tendo sido a continuidade dos encontros dada a cada dois anos, ininterrupta desde então, sendo o último evento realizado na cidade de Teresina (PI) em 2015 (XVI SBGFA).

O artigo da Prof^ª Maria Regina refere-se, portanto, a uma contribuição histórica e ainda atual sobre a discussão do papel e da importância do geógrafo e da própria Geografia na organização e planejamento de ocupação e uso do solo. E, para resgatar a história da saudosa professora, será utilizado o material produzido pelo Grupo de Pesquisa Geografia Brasileira: História e Política (Instituto de Geografia, UERJ) que foi devidamente autorizado de reprodução pela coordenadora do referido grupo de pesquisa, Prof^ª Dra. Mônica Sampaio Machado. As informações contidas no relato, apresentado em forma de questões de entrevistas, foram reunidas pelo geógrafo Jorge Pereira dos Santos, no período de maio a agosto de 2015, através de contatos estabelecidos com os professores do PPGG/UFRJ Josilda Rodrigues da Silva de Moura, Jorge Xavier-da-Silva, Telma Mendes da Silva e estão disponibilizadas no seguinte endereço: http://www.grupogeobrasil.com.br/usuario//maria_regina_mousinho//maria_regina_mousinho_geobiografia_0.pdf.

Os Editores

Maria Regina Mousinho de Meis: Geografia, Geomorfologia e os Estudos do Quaternário do Brasil



Jorge Paulo Pereira dos Santos
Geógrafo/UFRJ; Msc. Em Geografia UERJ;
Doutorando em Geografia PPGeo/UERJ)

A proposta deste trabalho é apresentar um breve perfil profissional da geógrafa Maria Regina Mousinho de Meis. A importância para ciência geográfica, particularmente a geomorfologia, relaciona-se a suas empreitadas iniciais, juntamente com outros profissionais, na investigação acerca do Período Quaternário no Brasil.

1. Quais profissionais a influenciaram? Com quem estagiou? Com quem desenvolveu os primeiros trabalhos?

R. A principal influência nacional na carreira da Prof^a Maria Regina Mousinho de Meis é atribuída ao Prof. João José Bigarella (UFPR – 1949/1980; atualmente Prof. Visitante UFSC), com quem desenvolveu importantes referências bibliográficas sobre a evolução geomorfológica dos trópicos úmidos.

2. Quando ela trabalhou na UFRJ?

R. 1968 até sua morte em 1985.

3. Quais os estudos iniciais feitos pela geógrafa?

R. Alguns trabalhos são clássicos dentro da literatura nacional, demonstrando toda seriedade e profundidade de suas pesquisas em Geomorfologia, tais como os artigos publicados pelo famoso *Boletim Paranaense de Geografia* n^{os} 16/17.

Os trabalhos publicados neste clássico volume do Boletim mostram como os autores foram influenciados pela escola climática de pensamento na interpretação do relevo derivada de King (1956). E, assim, Bigarella, Mousinho e Xavier (1965) criaram para as regiões Sudeste e Sul do Brasil modelos de evolução das encostas e dos sistemas de drenagem que se baseiam na alternância de climáticas no período Quaternário.

Os trabalhos publicados neste volume foram:

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. 1965. Significado paleogeográfico e paleoclimático dos depósitos rudáceos. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 7-16.

____; _____. 1965. Contribuição ao estudo da Formação Pariquera-Açu (Estado de São Paulo). *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 17-42.

____; _____. 1965. Movimentos de massa no transporte de detritos da meteorização das rochas. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 43-84.

____; ____; XAVIER, J. 1965. Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 85-116.

____; ____; _____. 1965. Pediplanos, Pedimentos e seus depósitos correlativos. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 117-152.

____; _____. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16-17, p. 153-196.

No ano de 1968, a convite do Prof. Fernando Barata, da então Universidade do Brasil (antiga UFRJ) e do Clube de Engenharia, participou juntamente com o Prof. Jorge Xavier do I Simpósio sobre Calamidades Públicas, no qual apresentaram o trabalho sobre os desmoronamentos e deslizamentos ocorridos em 1967, após inspecionarem cerca de 30 locais afetados por movimentos de massa na área urbana do Rio de Janeiro. Este trabalho foi premiado pela empresa de engenharia Christiani/Nielsen e teve bastante repercussão na comunidade científica nas áreas afins à temática.

Os trabalhos referenciados acima foram os seguintes:

XAVIER-DA-SILVA, J.; MOUSINHO, M. R. Mouvements de Masse Récent à Rio de Janeiro - Une Étude de Geomorphologie Dynamique. *Revue de Geomorphologie Dynamique*, France, Stranbourg, v. 18, n. 4, 1968.

____; _____. Considerações Geomorfológicas. A Propósito dos Movimentos de Massa Ocorridos no Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 30, jan./mar., p. 55-73, 1968.

Na década de 1970, a Prof^ª Maria Regina implementou na UFRJ duas linhas de pesquisa: uma dentro da perspectiva histórica da geomorfologia versando sobre a evolução geomorfológica do Planalto Sudeste do Brasil, iniciando as pesquisas no médio vale do rio Doce e a partir de 1980 voltando-se para o médio vale do rio Paraíba do Sul. A incorporação da estratigrafia do Quaternário aos estudos geomorfológicos contou com a colaboração de dois cientistas, o Prof. Roland Paepe (Vrije Universiteit Brussel – VUB – Bélgica) e o Prof. Josué de Camargo Mendes (USP e UERJ). A linha de pesquisa sobre a evolução geomorfológica do Planalto Sudeste do Brasil foi consolidada na UFRJ com a criação em 1994 do NEQUAT (Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno) sob a coordenação da Prof^ª Josilda Moura, contribuindo para a geomorfologia brasileira com a formação de pesquisadores, em diferentes instituições de ensino e pesquisa. A outra linha de pesquisa, a da geomorfologia dos processos, contou com intercâmbios científicos iniciados com o Prof. Jan de Ploey (Katholieke Universiteit Leuven – Bélgica). A perspectiva da dinâmica atual dos processos erosivos ancora-se numa abordagem multidisciplinar integrativa da geomorfologia, hidrologia e ecologia, tendo como principal colaboradora a Prof^ª Ana Luiza Coelho Netto (Depto. de Geografia/UFRJ). Dando continuidade a esta linha de pesquisa, a Prof^ª Ana Netto fundou em 1992 o GEOHECO (Laboratório de GeoHidrologia), onde desenvolve pesquisas fundamentais sobre hidrologia, erosão e instabilidade de encostas em ambiente fluvial, urbano e/ou rural, como suporte ao entendimento dos mecanismos evolutivos do modelado no domínio da região tropical. O GEOHECO/UFRJ constitui-se num laboratório de formação de pesquisadores fixados em diversas instituições de ensino e pesquisa com elevada produção e intercâmbios com pesquisadores nacionais e internacionais.

4. Qual a contribuição da geógrafa para o Departamento de Geografia da UFRJ? E qual a contribuição para a Geografia?

R. Segundo depoimento dado pelo Prof. Jorge Xavier, a Prof^ª Maria Regina obteve a indicação do catedrático em Geomorfologia Víctor Ribeiro Leuzinger para aceitá-la como professora da UFRJ, o que aconteceu com a concordância também de outros profissionais que já conheciam seu tino para a pesquisa e o ensino. E, assim, ela entrou para o quadro da Universidade do Brasil em 1968. Nesta época, o Prof. Xavier-da-Silva foi contatado pelo diretor *pro-tempore* do então criado Instituto de Geociências da UFRJ, Prof. Othon Leonardos, a ir, junto com Maria Regina, para o citado instituto, deixando a Geografia (que poderia ir para as Ciências Sociais). Mas o Prof. disse que iria, se toda a Geografia fosse junta, o que acabou acontecendo. E, assim, a Prof^ª Maria Regina continuou sendo a dedicada pesquisadora e professora. Com a formação do curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia em 1972, a Prof^ª Maria Regina participou ativamente do Programa, com orientação de inúmeros orientandos; além de orientar pesquisas de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geologia. Uma de suas maiores contribuições para a Geografia foi sua contribuição para a consolidação das áreas pioneiras dentro da ciência geomorfológica, como a Geomorfologia Histórica (Geomorfologia do Quaternário), que procura enfatizar as relações existentes entre Estratigrafia e Geomorfologia, e Geomorfologia de Processos, onde se busca o entendimento da ocorrência de processos erosivos atuais e pretéritos dentro de uma abordagem inter-

disciplinar da geomorfologia, hidrologia e ecologia. Além da formação de quadros de pesquisadores importantes no cenário da Geografia Brasileira.

5. Quais as referências bibliográficas de trabalhos produzidos por ela?

R. Alguns trabalhos mais relevantes da Prof^ª Maria Regina Mousinho de Meis:

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. 1965. Slope Development In Southeastern And Southern Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Stuttgart. v. 10, p. 150-160.

MEIS, M. R. M.; XAVIER-DA-SILVA, J. Mouvements de massa recentes, à Rio de Janeiro: une étude de géomorphologie dynamique. *Revue de géomorphologie dynamique* n.4. Paris: CDU-SEDES, p. 145-152, 1968.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; XAVIER-DA-SILVA, J. Processes and environments of the Brazilian Quaternary. *The Periglacial Environment*, McQueens University, Montreal, v. 1, p. 411-487, 1969.

MEIS, M. R. M. Upper Quaternary Process Changes of the Middle Amazon Area. *Geological Society of America Bulletin*, New York. p. 1073-1078, 1971.

____; AMADOR, E. S. Note on wethered arkosic beds. *Journal of Sedimentary Research*, Virgínia, v. 44, p.727- 737, 1974.

____. 1976. Nota prévia sobre a sedimentação neo-quaternária no médio vale do rio Doce. 24f. mimeogra.: Rio de Janeiro.

____; FERREIRA, A. M. M. Upper quaternary ‘rampas’: Doce river valley, Southeastern Brazilian plateau. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Stuttgart. v. 23, n. 2, p. 132-151, 1979.

____; MACHADO, M. B. A morfologia de rampas e terraços no planalto sudeste do Brasil: médio vale do rio Doce. *Finisterra*, Lisboa. n. 13, p. 201-218, 1979.

MOURA, J. R. S.; MEIS, M. R. M. Insight into the morphometry of drowned valley. *Brazil Geographic Studies – UGI*, Belo Horizonte - MG, v. 1, p. 78-100, 1978.

____; ____ . Litoestratigrafia preliminar dos depósitos de encosta médio vale do rio Paríba do Sul. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro. v. 40, p. 257-267, 1980.

MEIS, M. R. M.; MOURA, J. R. S.; SILVA, T. J. O. . Os “complexos de rampa” e a evolução das encostas no Planalto SE do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro. v. 53, n. 3, p. 605-615, 1981.

6. Qual a relevância de sua contribuição para Geografia Física? Para Geomorfologia? Geologia?

R. Assumi posição de destaque no cenário científico nacional e internacional como Pesquisadora IA do CNPq, Membro da Academia Brasileira de Ciências e Membro da Geological Society of America, representando o Brasil junto à International Association for Quaternary Research (INQUA) e no Programa de Correlação Geológica, Unesco – IUGS.

A Prof^ª Maria Regina deixou um legado ao estudo e compreensão do Quaternário Continental Brasileiro onde se destacam avanços teórico-conceituais sobre a evolução do relevo no Planalto Sudeste do Brasil, além dos desdobramentos de sua obra feitos através da continuidade de suas ideias desenvolvidas pelos seguidores de sua escola. Sua Tese de Doutorado intitulada *Contribuição ao Estudo do Terciário Superior e Quaternário da Baixada de Guanabara* foi um marco na introdução dos estudos em Geomorfologia do Quaternário Continental no Brasil. Cabe destacar ainda a notória busca de integração de natureza interdisciplinar que já na década de 1980, norteava suas preocupações científicas, desenvolvendo trabalhos em colaboração com especialistas de áreas afins, tais como a Liminologia, Arqueologia, Pedologia, Engenharia Geotécnica, Geologia Regional, dentre outras. Nos estudos da geomorfologia, dentro perspectiva histórica, a Prof^ª Maria Regina buscou a integração de argumentos estratigráficos no entendimento da dinâmica evolutiva da paisagem dos trópicos úmidos durante o Quaternário, inicialmente contando com intercâmbio científico com o Prof. Roland Paepe (Vrije Universiteit Brussel – VUB – Bélgica) e, posteriormente, com o Prof. Josué de Camargo Mendes (USP e UERJ). Na década de 1980, passou a investigar a dinâmica quaternária no vale do rio Paraíba do Sul, tendo como colaboradora a Prof^ª Josilda Moura, e como grande desafio a elaboração de uma coluna estratigráfica para os depósitos quaternários, integrando os depósitos de encostas e fluviais, consolidando-se assim as bases do estudo do Quaternário Continental e da Geomorfologia Histórica. Além desta contribuição, introduziu as investigações geomorfológicas numa visão integrativa da Geomorfologia Histórica e a dinâmica dos processos erosivos atuais, posicionando o papel da dinâmica paleoambiental como um condicionante importante no desenvolvimento dos processos erosivos atuais. Esta área de sua pesquisa em geomorfologia foi base para a formalização em 1994 do Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno (NEQUAT), coordenado pela Prof^ª Josilda Moura, e que tem em sua linha de pesquisa a Geomorfologia Histórica ou Geomorfologia do Quaternário.

Podem ser citados alguns trabalhos de grande destaque na literatura nacional e internacional de seus trabalhos o seguinte artigo:

MEIS, M. R. M.; MOURA, J. R. S. . Upper Quaternary sedimentation and hillslope evolution; southeastern Brazilian Plateau. *Journal Science*, Washington. v. 284, p. 241-254, 1984.

Este trabalho correspondeu a um marco na interpretação teórico-conceitual da evolução de feições geomorfológicas.

E o trabalho:

MOURA, J. R. S.; MEIS, M. R. M. Contribuição à estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do Sul – Bananal, SP. *An. Acad. Bras. Ciên.*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 89-102, 1986.

Este trabalho marcou o início da formalização da estratigrafia do Quaternário no Sudeste do Brasil.

Na perspectiva da geomorfologia dos processos houve intercâmbios científicos com Prof. Jan de Ploey (Katholieke Universiteit Leuven – Bélgica), implementando esta a pesquisa sobre a dinâmica atual dos processos erosivos numa abordagem multidisciplinar, integrativa da geomorfologia, hidrologia e ecologia, e que vem até hoje produzindo trabalhos pioneiros sob a coordenação da profa. Ana Luiza Coelho Netto (Depto. de Geografia /UFRJ).

Trabalhos produzidos nesta linha de pesquisa tendo a participação da Prof^a Maria Regina:

MONTEIRO, A. M. F.; COELHO NETTO, A. L.; MEIS, M. R. M. Formação Macacu: Variações Texturais e Aproveitamentos Econômicos. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, v. 49, p. 45-63, 1974.

COELHO NETTO, A. L.; SANTOS, A. M. N.; MEIS, M. R. M. Os Solos e Hidrologia das Encostas no Maciço da Tijuca (RJ): um Estudo Preliminar. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 42, p. 585-611, 1980.

MEIS, M. R. M.; COELHO NETTO, A. L.; OLIVEIRA, P. T. T. Ritmos e Variabilidade das Precipitações no Vale do Rio Paraíba do Sul: o Caso de Resende. *Revista Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos*, ABHRH, v. 3, n.1, p. 43-56, 1981.

7. Quais os profissionais ela formou e atualmente estão em atividade na Geografia ou em outras áreas?

R. Ana Luiza Coelho Netto (Orientanda Mestrado – 1979; Prof^a Titular – Depto. de Geografia/UFRJ; Coordenadora do GEOHECO – Laboratório de Geo-Hidroecologia, criado em 1992).

Josilda Rodrigues da Silva de Moura (Orientanda de Mestrado – 1979; Prof^a Titular - Depto. de Geografia/UFRJ; Coordenadora do NEQUAT – Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno, criado em 1994).

Antônia Maria Martins Ferreira (Orientanda de curso de Especialização – 1979; Pesquisador Titular 'A' do IBGE; Prof^a Auxiliar da Faculdade de Geologia/UERJ).

Luiz Renato Vallejo (Orientando de Mestrado – 1982; Prof. Titular - Depto. de Geografia/UFF).

Nelson Ferreira Fernandes (Prof. Titular – Depto. de Geografia/UFRJ; Coordenador do NEMPHE – Núcleo de Estudos de Monitoramento e Modelagem de Processos Hidrológicos e Erosivos).

Alexandre Antônio de Mello Santos (Prof. Adjunto – Instituto de Geografia/UERJ).

8. Pode-se dizer que a área de estudo dela foi o Rio de Janeiro? Quais as particularidades ela encontrou nessa área? (Caso não tenha sido o Rio de Janeiro, onde e por quê?)

R. Sim; sua tese de doutoramento em Geografia intitulada *Contribuição ao Estudo do Terciário Superior e Quaternário da Baixada de Guanabara*, apresentada na Universidade de Lisboa em 1976, é um importante documento sobre a distribuição espacial da sedimentação quaternária no entorno da Baía da Guanabara, bem como do mapeamento de feições morfológicas deste período geológico. Além disso, os estudos sobre a evolução geomorfológica do Planalto Sudeste do Brasil se desenvolveram no médio vale do Paraíba incluindo os municípios de Barra Mansa, Pirai, Resende, Volta Redonda, entre outros.

9. Pode, também, falar de aspectos sobre Maria Regina Mousinho de Meis que não sejam contemplados nesse questionário.

R. A Prof^ª Maria Regina Mousinho de Meis coordenou projetos sobre o Quaternário no médio vale do rio Doce, integrado ao Programa de Correlação Geológica – Unesco/IUGS a partir de 1976.

Geógrafo Físico: Generalista ou Especialista?ⁱ

The Physical Geographer: Generalist or Particularist?

Maria Regina Mousinho de Meis

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: Estudos ambientais não se encaixam em uma determinada disciplina. Os próprios problemas aparecem para fornecer o campo ou o foco de trabalho. Preencher a lacuna existente entre problema e disciplina é um desafio enfrentado por todos os pesquisadores e planejadores ambientais. Este desafio envolve um compromisso contínuo da tensão entre a amplitude exigida pelos problemas ambientais e a profundidade do conhecimento ou especialização exigido na solução de tais problemas.

Palavras-chave: Questões Ambientais; Conhecimento e Especialização Científica.

Abstract: Environmental studies do not fit into a particular discipline. The problems themselves appear to provide the working field, or the focus. To bridge the gap between problem and discipline is a challenge faced by all environmental researchers and planners. This challenge involves a continuous compromise in the tension between the breadth required by the environmental problems, and the depth of knowledge or specialization demanded in the solution of such problems.

Keywords: Environmental Issues; Knowledge and Scientific Expertise.

A Geografia Física, dizem os compêndios clássicos, envolve o estudo e a integração de uma série de ciências da terra, capazes de nos darem uma visão geral da natureza do ambiente à disposição do homem; não é um ramo específico do conhecimento científico, porém abrange um corpo de princípios básicos das ciências da terra, *selecionados* tendo em vista a compreensão das influências ambientais sobre o homem, e deste sobre o ambiente. Sublinho o termo selecionados, porque imagino que o segredo do sucesso do pesquisador estará diretamente associado à sua capacidade de executar esta seleção.

Dentro desta mesa-redonda, pretendo abordar a problemática ligada ao campo de ação da Geografia Física sob uma perspectiva que chamaria, pretensiosamente talvez, de realista ou pragmática. Na análise procurarei não me deter em demasia sobre considerações de nível teórico ou idealista a respeito do imenso potencial de ação da Geografia Física, a serem discutidas com maior detalhe nas mesas-redondas subsequentes, porém enfatizarei principalmente alguns aspectos dialéticos para não dizer simplesmente pro-

ⁱ Artigo originalmente publicado em 1985 no *Boletim de Geografia Teórica* (I Simpósio de Geografia Física Aplicada). v. 15, n. 29-30. p. 41-45.

blemáticos, envolvidos no assunto. Não me deterei em raciocínios do tipo “deveria ser assim, mas não é”, e me prenderei à visão que adquiri de uma realidade, visão calcada na experiência pessoal.

Há algum tempo atrás, um conhecido pesquisador no domínio da Física Experimental nos fazia o seguinte comentário: a Geografia caberia muito melhor no Centro de Tecnologia da nossa Universidade, do que no Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, onde se encontra posicionada no momento. Isto porque a Geografia, se enfocada no seu contexto global, é fundamentalmente uma ciência aplicada. A afirmação causou, como seria de esperar, uma certa reação de espanto entre os geógrafos presentes. Na realidade, o geógrafo não abre mão da sua posição de pesquisador, no âmbito das ciências básicas, ainda que consciente de que trabalha em um domínio onde inexitem barreiras entre o campo básico e aplicado; pelo contrário, ambos estão continuamente a se interceptar. O geógrafo teria, de fato, uma vocação para construir pontes entre a pesquisa fundamental e o campo tecnológico.

A comunidade científica, hoje em dia, não questiona apenas a dicotomização radical das ciências básicas e aplicadas. Questiona também qualquer rigidez no que concerne a delimitação dos campos de ação dos pesquisadores, em função de suas diferentes formações. Não apenas a multidisciplinaridade, mas a interdisciplinaridade torna-se cada dia mais necessária. O espírito da abolição da cátedra universitária (feudal) e a reestruturação da nossa instituição universitária refletiram uma ideia, importada dos países desenvolvidos, de que os campos de ação das diferentes especialidades devem inevitavelmente se cruzar, superpor e inter-fertilizar desde o momento em que se conceba o conhecimento científico como algo não apenas acadêmico, porém largamente voltado à resolução de problemas práticos. Entretanto, esta integração somente se tornaria possível caso envolvesse o encaadeamento vertical do conhecimento especializado, mantendo-se o tráfego aberto nas interfaces abrangidas pelos diferentes níveis do espectro horizontal das integrações.

Em vista do exposto, como abordar o tema proposto para esta mesa-redonda: o campo de ação da Geografia Física? Vou evitar me alongar em considerações que seriam extenuantes e, por sinal, sempre incompletas a respeito da natureza das interfaces, as interfaces das interfaces etc. Vou tentar fazer um breve retrospecto de como vejo a postura do geógrafo face a esta problemática.

As décadas de 1930 e 1950 podem ser consideradas como áureas para a Geografia no Brasil. Foi então criado o IBGE, como instituição modelar, sob forte influência europeia. A AGB desempenhava o papel de “fórum” integrador dos especialistas advindos de inúmeros ramos das ciências da terra. Nos congressos da AGB eram discutidos problemas ligados ao meio físico, enquanto a *Revista Brasileira de Geografia* e outros periódicos geográficos também divulgavam ampla gama de informações sobre o assunto. Apareceram alguns geógrafos brasileiros capacitados a selecionar princípios básicos no domínio das ciências da terra e, portanto, obterem elementos para a melhor compreensão dos problemas ambientais. A existência desta pequena elite fez com que, na época, o geógrafo detivesse posição de destaque na nossa comunidade científica embrionária. Em recente entrevista ao *Jornal do Geólogo*, o Prof. Josué Camargo Mendes rememora que na década de 1940 os geólogos eram poucos e consideravam a AGB como a sua associação. Na mesma entrevista, ele declarou que o fechamento da AGB aos não-geógrafos

precipitou a criação da Sociedade Brasileira de Geologia. Não me compete discutir aqui as razões de momento que levaram a AGB a abdicar do seu papel de associação integradora dos cientistas da terra; é evidente que mais cedo ou mais tarde a SBG viria a ser criada, com a proliferação das escolas de geologia e os incentivos à pesquisa mineral. Ter-se-á tentado moldar a Geografia Física a partir de um campo de ação altamente abrangente na horizontal, em desprestígio à verticalização dos conhecimentos dos seus setores componentes, ou especializações?

Com o decorrer do tempo, porém, as preocupações dos geógrafos nacionais, refletidas pela AGB, flutuaram: quantificação, o caráter social da Geografia, etc. O ponto fundamental é que os problemas ambientais deixaram de pertencer ao “centro” das preocupações dos geógrafos, sendo relegados à periferia. Praticamente deixou de existir a figura do geógrafo físico, o generalista, florescendo desigualmente os diferentes campos mais especializados, considerados tradicionalmente como componentes do corpo das ciências da terra englobados pela Geografia Física. Com raras exceções, não ocorreram maiores preocupações pela integração dos problemas do ambiente físico com o homem. Tal fato tem gerado discussões intermináveis sobre a unidade da Geografia. Enquanto os geógrafos físicos e humanos se desgastam na busca da sua identidade, na verdade, o tempo está passando e o mundo evoluindo.

A década de 1970 pode ser considerada como a década da explosão ambiental do hemisfério norte. Com o devido atraso, chegam agora ao Brasil as consequências da tomada de consciência ambientalista. A realidade está aí, exigindo reações rápidas e vigorosas. Exemplificando: percebe-se que a concessão de empréstimos internacionais para a construção de grandes obras de engenharia (barragens, estradas) tende a ser condicionada à existência de estudos prévios equacionando os benefícios e problemas ambientais derivados das alternativas de aproveitamento. De acordo com as normas impostas pelo exterior, tais estudos seriam indispensáveis à definição das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos, minimizando possíveis danos. Em função desta exigência recente dos bancos, sabe-se que a Eletrobras (por exemplo) já elaborou um manual, distribuído às empresas de consultoria, norteando os estudos do meio ambiente físico nas fases de inventário e viabilização dos projetos. Foge ao escopo da mesa redonda de hoje uma análise mais detalhada destes novos rumos para a pesquisa ambiental. O importante, a meu ver, é que tentemos ultrapassar as nossas crises de identidade e enfrentemos a realidade que nos desafia.

Na década de 1970, juntamente com o *boom* ambientalista no hemisfério norte, surgiu a chamada Geologia Ambiental ou Aplicada. No seu contexto mais amplo seria a parte das ciências da terra que enfatiza todo o espectro das interações do homem com o meio ambiente físico. De acordo com Keller, Coates e outros autores, ela engloba não apenas subdisciplinas da Geologia, como outras ciências físicas, biológicas, sociais, e tem caráter iminentemente interdisciplinar. Procura compreender o processo normal, em harmonia com o sistema ambiental, para poder avaliar as influências da ação do homem e prever o tipo, a direção e a magnitude das transformações infringidas pelo homem aos sistemas naturais. Fornece lugar ao especialista, e ao generalista capacitado a construir pontes e entender problemas complexos de múltiplas facetas. Propõe-se ao uso do conhecimento para solucionar conflitos, minimizar possível degradação ambiental e

maximizar as condições vantajosas resultante do uso do ambiente natural (e já modificado) tendo em vista a seleção de sítios para as obras civis, planejamento do uso do solo, análise dos impactos ambientais etc.

A Geologia Ambiental parece não ter sido, porém, bem compreendida à época da sua importação pelos brasileiros. Cito como exemplo o edital do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT) deste ano, que, quando trata do assunto, vincula a aplicação de subsídios à capacitação de recursos humanos nos centros de Geologia de Engenharia. Evidentemente, tais distorções devem ser rapidamente sanadas, no momento em que a Geologia Ambiental passe a ser melhor conhecida entre nós.

Na realidade, os campos de ação da Geografia Física e da Geologia Ambiental se superpõem já que ambas se propõem a trabalhar dentro da mesma problemática. Porém, a constatação prioritária é de que os problemas ambientais são reais, existem e precisam ser solucionados. A Geografia Física e a Geologia Ambiental compartilham das mesmas aflições, pois a *rationale* para os estudos interdisciplinares se baseia na observação de que os problemas do mundo real não são seccionáveis por campos de ação de disciplinas. As disciplinas, como diz Wolman (Science, 1977) são conveniências administrativas para fornecer bases para a educação e pesquisa especializada. Os problemas, mais do que as disciplinas, representam o *core*, o foco ou a orientação. Os problemas, infelizmente, não fornecem a estrutura ou os conceitos filosóficos-chaves, em torno dos quais se poderia moldar, por exemplo, uma educação. Para estabelecer pontes entre problemas e disciplinas há perspectivas de abordagem (sistêmica, análise espacial etc.), nenhuma delas representando uma solução ideal para o estudo ambiental: fornecem, porém, maneiras de pensar e instrumentos para a solução dos problemas. Evidentemente os instrumentos não substituem a teoria em relação à estrutura do problema e, por conseguinte, haverá sempre tendência à simplificação, utilização de modelos generalizados, etc. Ainda de acordo com Wolman (Chairman do Departamento de Geografia e Engenharia Ambiental da Universidade John Hopkins, e atualmente Presidente da *Geological Society of America*) os estudantes engajados nestes campos devem ser encorajados a se aprofundarem em áreas de especialização, facilitando-se entretanto a eles a contínua exposição e interação com os demais ramos. Ocorre uma constante tensão entre a horizontalidade requerida pelos problemas ambientais e a especialização necessária à sua atuação sobre os mesmos. Isto porque, sem dúvida alguma, a expansão dos conhecimentos, contribuição à pesquisa, e resolução dos problemas continuam a ocorrer nos domínios mais especializados, e menos generalistas.

Como se pode ver, os campos de ação da Geografia Física e da Geologia Ambiental seriam altamente abrangentes em termos horizontais, e somente podem ser definidos em termos dialéticos. Na realidade, a própria especialização no domínio da Geografia Física, já envolve normalmente elevada integração interdisciplinar. Não é por acaso que Fairbridge (1968) menciona que “um bom geomorfólogo deve ser um bom estratígrafo”; Dunne menciona que “um bom geomorfólogo deve ser um bom hidrologista”, e assim por diante. Isto explica algo que, apesar de não se constituir em monopólio da Geografia Física ou Geologia Ambiental, muito aflige os seus pesquisadores: a necessidade de verticalizarem seus conhecimentos, especializaram-se, limitando o seu campo de atuação. Isto gera as fortes tensões descritas por Wolman, entre o que chamou de *width* (largura)

e *depth* (profundidade). Tal aflição encontramos frequentemente nos nossos alunos de Pós-Graduação em Geografia: na busca às bases eles devem recorrer (e, muitas vezes, alfabetizarem-se) nos fundamentos das ciências geológicas, engenharia civil, meteorologia, biologia etc. Infelizmente a chave mágica para a resolução do conflito entre o horizontal e o vertical ainda não foi encontrada aqui no Brasil, nem no exterior.

O que se percebe claramente é que, dentro deste contexto, o raio de ação na pesquisa irá depender essencialmente do pesquisador, em nível individual. É o pesquisador quem procura formar o seu próprio substrato teórico-conceitual, o seu *know-how*, que o qualificará a atuar, de uma ou de outra forma, em determinado ou determinados tipos de pesquisa. A busca do “equilíbrio” entre a horizontal e a vertical toma caráter inteiramente pessoal, e os resultados alcançados por uns não podem ser generalizados aos demais. Haverá lugar para a atuação simultânea de muitos, porém os raios de atuação serão sempre altamente variáveis, a nível do indivíduo.

Concluindo, acredito encontrar-se a problemática da Geografia Física intimamente associada ao estudo dos problemas ambientais, relações do ambiente físico com o homem. Entretanto, acredito também, que cada geógrafo físico é livre para forjar individualmente o seu campo de atuação, como generalista ou especialista.