



Sensoriamento Remoto na Análise do Alinhamento das Lagoas do Pantanal da Nhecolândia, MS
Remote Sensing in the Analysis of the Ponds Alignment in the Nhecolândia Pantanal, MS

Ana Paula Garcia Oliveira¹; Camila Leonardo Miotto¹; Alisson André Ribeiro¹;
Robson Jaquez¹; Edilce do Amaral Albrez²; Joel Barbujianni Sígolo²;
Mario Luis Assine³ & Antonio Conceição Paranhos Filho¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais,
Unidade 7A, Cidade Universitária, 78720-100, Campo Grande, MS, Brasil

² Universidade de São Paulo – USP, Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Geologia Aplicada,
Avenida 24^a, 1515, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil

Emails: apg.bio@gmail.com; ea.miotto@gmail.com; geotec.ribeiro@gmail.com;
robson-jaques@hotmail.com; edilce.albrez@gmail.com; jbsigolo@usp.br; assine@rc.unesp.br; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 20/05/2016 Aprovado em: 20/07/2016

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2016_3_63_70

Resumo

Dentre os diversos pantanais, a sub-região da Nhecolândia merece papel de destaque por apresentar paisagem peculiar. Sua característica principal é a presença de inúmeras lagoas, as quais podem ser divididas em baías e salinas. O trabalho objetivou quantificar e analisar a orientação e intensidade de alinhamento dos eixos maiores dessas lagoas, de modo a contribuir com dados que permitam melhor compreender a formação e o funcionamento ainda poucos conhecidos desta região tão intrigante. Para tanto, primeiramente adotou-se o método de classificação orientada a objeto sobre imagem do satélite Landsat 5, sensor TM. Em seguida, utilizou-se um algoritmo específico para a identificação do alinhamento das lagoas. Como resultado, foram reconhecidas 17.631 lagoas, das quais 17.050 são baías e 577 salinas. Observou-se que as lagoas estão alinhadas em duas direções - NE e NW -, as quais estariam associadas às direções dos ventos atuantes durante a gênese das lagoas Nhecolândia.

Palavras-chaves: Landsat 5; classificação orientada a objeto; baías; salinas

Abstract

Among the several kinds of pantanais, the Nhecolândia sub-region deserves prominent role for presenting peculiar landscape. Its main feature is the presence of numerous lakes, which are divided into “baías” and “salinas” (fresh and brackish, respectively). The study aimed to quantify and analyze the orientation and aligning intensity of the major axes of these water ponds, in order to contribute for understanding the formation and functioning of this intriguing and yet unknown region. Firstly, we adopted the object-oriented classification method on Landsat 5 satellite image, TM sensor. Then, we used a specific algorithm for identifying the alignment of the ponds. As results, we recognized 17,631 lakes, 17,050 being baías and 577 salinas. These ponds are aligned in two directions - NE and NW -, which would be associated to the directions of the winds prevailing during the origin of the Nhecolândia lakes .

Keywords: Landsat 5; object-oriented classification; baías; salinas

1 Introdução

O Pantanal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, fazendo parte da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. Constitui bacia sedimentar ativa, cuja superfície possui baixa declividade e é caracterizada pela presença de tratos deposicionais predominantemente aluviais, em meio aos quais são encontrados lagos de variadas dimensões e origens. O regime hidrológico é marcado por estações duas estações bem definidas, a de seca e a de cheia, com inundações sazonais. Os ecossistemas característicos são os cerrados, cerradões, campos inundáveis e ambientes aquáticos (rios e lagos).

Dentre as diversas sub-regiões do Pantanal, a Nhecolândia merece papel de destaque por ser um dos Pantanaís mais intrigantes devido à presença de inúmeras lagoas e por apresentar grande importância para a fauna e a pecuária local. Localizada entre os cursos do Rio Taquari e Rio Negro, essa sub-região ocupa a metade sul do megaleque do Taquari (Assine & Soares, 2004).

As lagoas encontradas na Nhecolândia são conhecidas pela terminologia regional de baías e salinas. As baías são lagoas de água doce, de formas alongadas e recebem contribuição das águas superficiais e do lençol freático. Podem estar alinhadas e conectadas umas às outras em forma de rosário e secar completamente nas estiagens. Já as salinas, com águas salobras alcalinas, são depressões mais rebaixadas do que as baías em seu entorno, sendo mais rasas que as baías (Galvão *et al.*, 2003; Almeida *et al.*, 2009). As salinas apresentam formas circulares ou ovais, são isoladas da drenagem, dificilmente sendo atingidas por águas de inundação e raramente secam no período de estiagem, apresentando uma faixa de areia sem vegetação em seu entorno.

A bimodalidade das areias da Nhecolândia foi identificada por Almeida (1945), que interpretou sua origem por processos de deposição eólica. A hipótese mais citada para a origem dos lagos é de que estes se formaram preenchendo antigas superfícies de deflação interdunas, depressões erosivas construídas em condições semiáridas do último máximo glacial do final do Pleistoceno. Tal ponto de vista é defendido por Tricart (1982), Soares *et al.* (2003) e Assine (2003), que associaram as elevações interlagos, conhecidas como cordilheiras, a feições produzidas por processos eólicos.

Trabalhos já foram desenvolvidos no âmbito de espacializar as lagoas da Nhecolândia através de sensoriamento remoto. Como exemplo, cita-se o estudo de Evans & Costa (2013), o qual apresentou a cobertura do solo da região, trazendo que 14% da área de estudo correspondem às lagoas.

Nesse sentido, os objetivos deste trabalho são caracterizar a forma e o padrão espacial das lagoas, tanto das baías como das salinas, bem como quantificar a distribuição e orientação espacial das lagoas, por meio da análise de suas diferentes características fisiográficas e espectrais.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área estudada compreende o Pantanal da Nhecolândia, com área de 20.210 km², aproximadamente 14% de todo o Pantanal (Miotto *et al.*, 2012) (Figura 1). Segundo Assine (2003), a origem da paisagem dessa região é bastante complexa, estando relacionada a processos aluviais e eólicos.

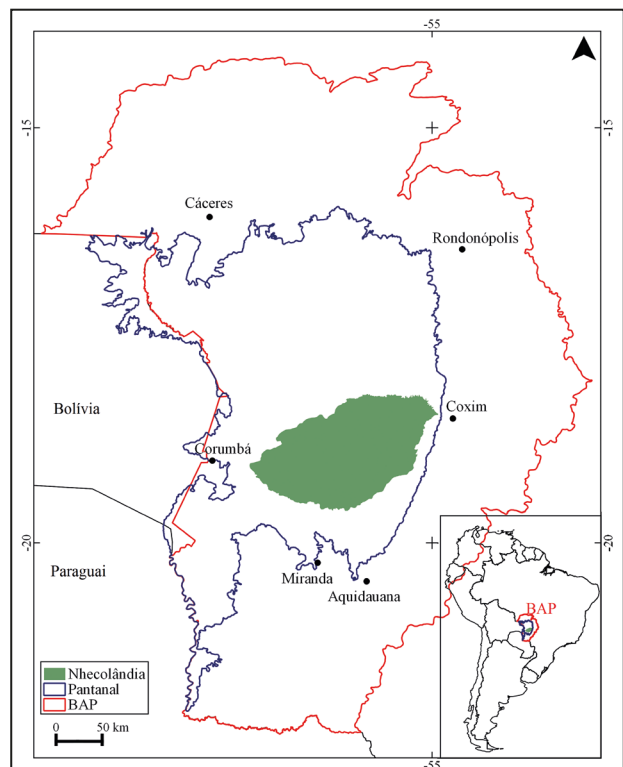


Figura 1 Localização da Nhecolândia (em verde) em relação ao Pantanal (limite em azul) e à Bacia do Alto Paraguai (BAP – limite em vermelho).

2.2 Sensoriamento Remoto

Para a realização deste trabalho utilizou-se imagem do satélite Landsat 5, sensor TM (INPE, 2008) do período de seca, época em que o contraste entre as fitofisionomias é maior, possibilitando melhor identificação das lagoas através do classificador. Primeiramente, realizou-se o pré-processamento da imagem, com união das bandas, correção atmosférica e georreferenciamento, procedimentos estes realizados no *software* PCI Geomática (PCI, 2003).

Para a identificação e classificação das lagoas, empregou-se a classificação orientada a objeto, escolhida por ser eficiente no processo de segmentação e identificação da cobertura do solo. Tal tipo de classificação não leva em conta somente o *digital number* do *pixel* classificado, mas também dos *pixels* ao seu redor, procurando por similaridades estatísticas, agrupando os grupos similares em conjuntos separados (Paranhos Filho *et al.*, 2008).

Para o processo de classificação orientada a objeto fez-se o *software* eCognition 2.0 (Definiens, 2002), sendo a imagem segmentada com o algoritmo *Multiresolution Segmentation*. Com esse procedimento criaram-se polígonos para a separação das lagoas, vegetação e de outros elementos. Posteriormente, com a aplicação do algoritmo *Standard nearest neighbor*, foi criada uma série de classes: baías, salinas, vegetação, vazante e rios.

Para a fotointerpretação da vegetação e das lagoas empregou-se a combinação falsa-cor RGB 453 e para auxiliar na individualização das baías e salinas optou-se pela composição RGB 425. Em seguida, executou-se a classificação visual das lagoas

em salinas ou baías de acordo com as respostas espectrais e fisiográficas presentes na imagem Landsat TM (INPE, 2008) (Tabela 1). Para auxiliar na distinção entre lagoas e salinas foi utilizado adicionalmente o Google Earth (Google, 2010).

2.3 Análise Espacial

A extensão e a orientação azimutal para cada lagoa foram definidas pelo seu eixo maior, identificado automaticamente com um algoritmo próprio desenvolvido neste trabalho. A direção predominante foi obtida com a análise de diagramas de rosetas.

Em um ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) foi estruturado um banco de dados com as informações de cada lagoa: área, perímetro, azimute e comprimento do eixo maior, além do tipo de lagoa. Os azimutes dos eixos maiores foram agrupados em intervalos de classe de 10°, analisados estatisticamente e de acordo com a frequência de eixos em cada direção. Os eixos foram analisados também considerando a soma dos comprimentos dos eixos em cada direção. Para a representação da distribuição dos eixos de acordo com frequência e comprimento foram utilizadas rosetas, geradas pelo *software* *Open Stereo* (Grohmann *et al.*, 2011).

O Índice de Circularidade (IC) para cada lagoa foi calculado, tendo sido realizado um Teste-t para comparar os valores médios obtidos entre os ICs. Este índice de circularidade, também chamado de Índice de Forma, foi proposto por Miller (1953) e relaciona a área de um polígono com a área do círculo de perímetro equivalente, isso com o intuito de caracterizar as formas das lagoas estudadas. O IC é calculado através da Equação 1:

Salinas	Baías
Forma elíptica ou arredondada.	Forma diversificada
Borda de areia exposta (praia).	Apresenta vegetação em todo o seu entorno. Em alguns casos apresenta faixa de areia, que não é tão nítida como a das salinas e é coberta por vegetação rasteira.
Não apresenta vegetação flutuante. Em Landsat RGB 453 a água pode ser negra, azul, verde escuro ou ciano. Porém sem resposta no infravermelho próximo (cor preta).	Frequente presença de macrófitas que fornecem, na composição RGB 432 - Landsat, tons de vermelho vivo, azul esbranquiçado ou verde claro. Na ausência de vegetação aquática, a água aparece preta.
Geralmente localizadas em regiões isoladas da drenagem.	Geralmente em grupos alinhados em forma de rosário, comumente conectadas, por canais por onde fluem as águas durante as cheias (vazantes e corixos).

Tabela 1 Características morfológicas e respostas espectrais de baías e salinas em análise visual de imagens Landsat.

$$IC = (4 \times \pi \times A) / (P^2) \quad \text{Equação 1}$$

Onde IC é o índice de circularidade ($0 < IC < 1$); A é a área do polígono e P é o perímetro do polígono.

O valor do índice tenderá a 1 à medida que a lagoa se aproximar da forma circular e a zero à medida que se tornar mais alongada e irregular. Assim, quanto mais próximo de 1 for o valor do IC, mais próxima de um círculo perfeito será a lagoa.

2.4 Análise Estatística

Com o intuito de demonstrar o tipo de distribuição de cada população de lagoas e verificar se há diferença significativa entre o tamanho dos seus eixos e, em caso afirmativo, qual é o eixo maior, realizou-se a análise estatística dos eixos maiores das baías e das salinas utilizando-se o software R (R Foundation, 2013).

Como a distribuição dos dados não é normal foi realizado ainda um teste comparativo

não paramétrico entre as médias e medianas do comprimento dos eixos, isso para dois conjuntos de dados de uma variável dependente e tipos de amostras independentes. Para tal, foi aplicado o teste Mann-Whitney-Wilcoxon, recomendado para esse tipo de dados e distribuição.

3 Resultados

Através da classificação da imagem do satélite Landsat TM, identificaram-se 17.631 lagoas em toda a Nhecolândia, das quais 17.050 (96,70% do total) foram classificadas como baías e 577 como salinas (3,30%) (Figura 2).

Ao gerar as rosetas foi verificado que 62,49% dos eixos maiores tem direção NE, concentrados no intervalo entre 20° a 50° , com a moda em N30-40E como mostrado na Figura 3, havendo uma segunda concentração de eixos com direção NW (N30-40W).

Analisando-se as lagoas separadamente (Figura 4), as baías apresentam maiores frequências

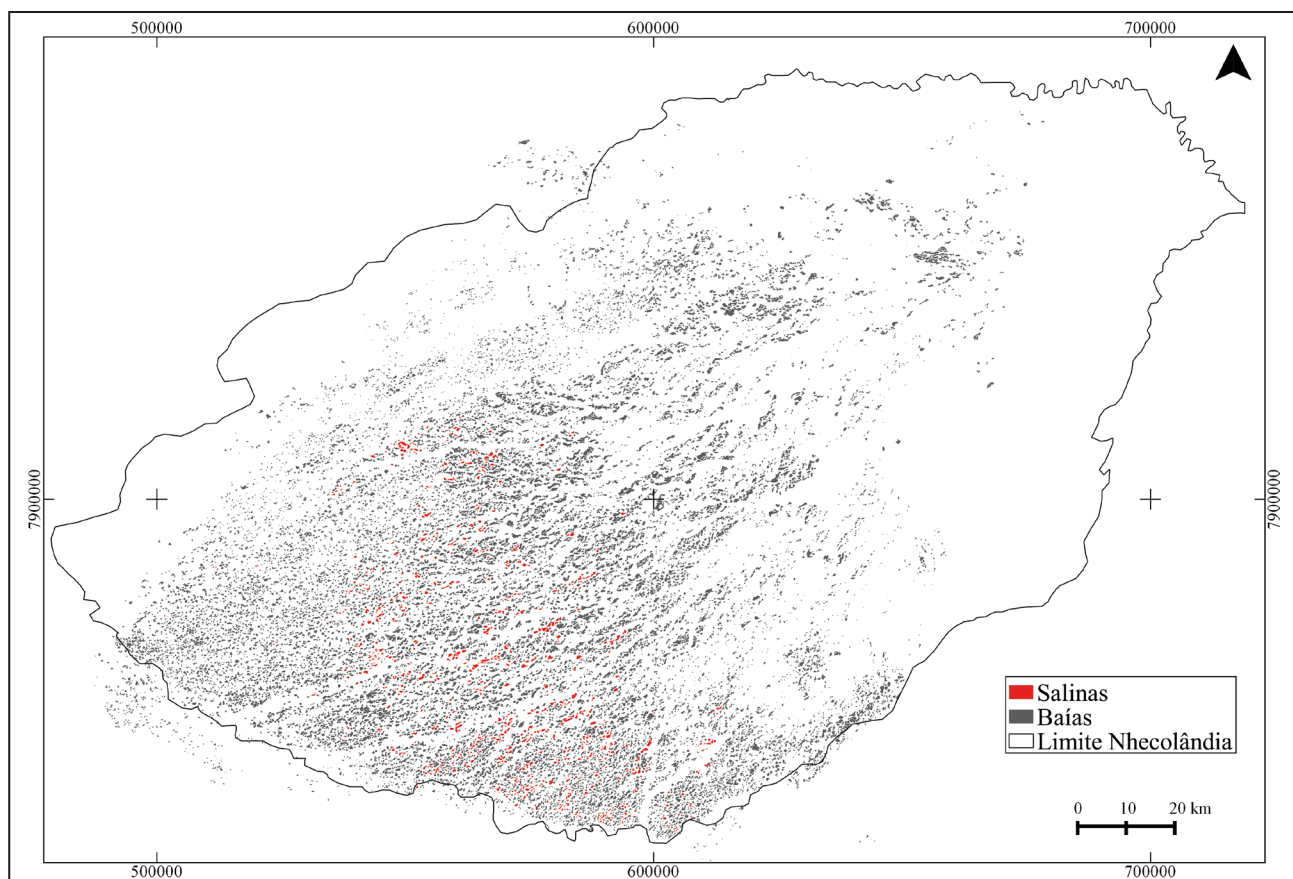


Figura 2 Resultado da classificação orientada a objeto da Nhecolândia, diferenciando-se baías (em cinza) e salinas (em vermelho).

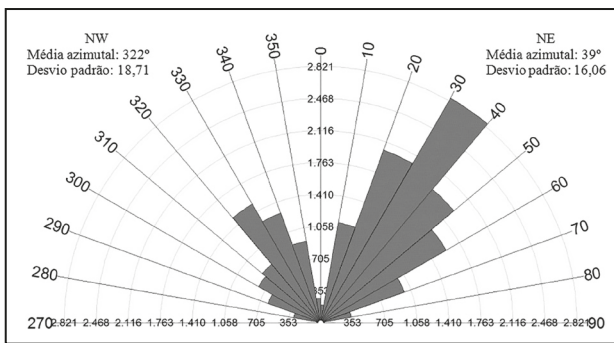


Figura 3 Diagrama de Roseta identificando o alinhamento de todas as lagoas da Nhecolândia em duas direções preferenciais: N30-40E (62,5 % entre 20° e 50° NE) e N40-50W.

no intervalo compreendido entre 20° e 50° NE e 30-40 NW e as salinas no intervalo de 20° a 40° NE e 30° a 40° NW. Ou seja, as salinas possuem alinhamento levemente diferente quando comparado ao das baías.

Quando comparados os dados de frequência de alinhamentos de baías e salinas, não existem diferenças ao acaso. Quando comparados separadamente, os alinhamentos de baías e salinas apresentam uma maior frequência de alinhamentos entre os azimutes 10° e 60° para ambas, descartando a possibilidade das lagoas estarem distribuídas de forma aleatória.

Outro teste, com a frequência de lagoas por direção foi efetuado e pode-se assim ver a intensidade, em porcentagem, de lagoas por intervalos de alinhamentos (azimutes). Assim, nota-

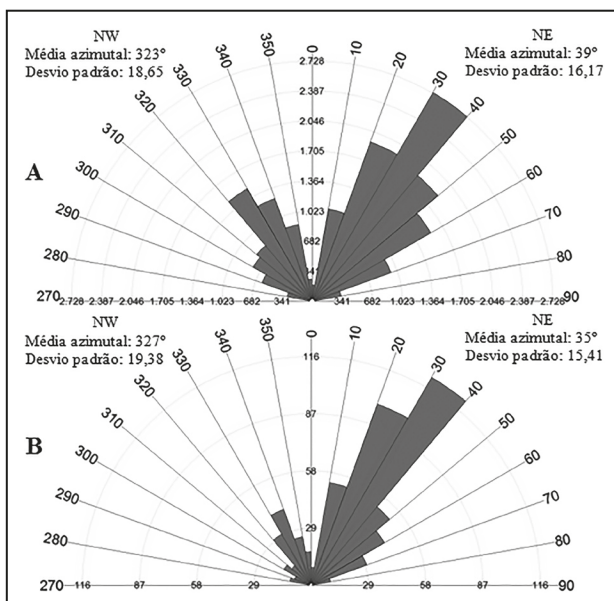


Figura 4 Diagramas em rosa do eixo maior de baías (a) e salinas (b).

se que há uma intensidade maior de baías e salinas alinhadas no intervalo das direções entre 30° a 40° NE (Figura 5), 10° a 30° NW (Figura 6).

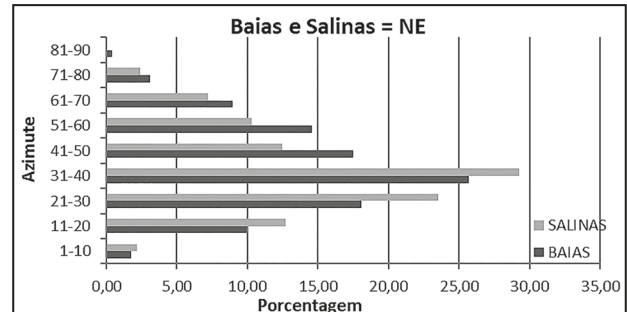


Figura 5 Percentagem de comprimentos de eixo por direção NE de alinhamentos, baías e salinas.

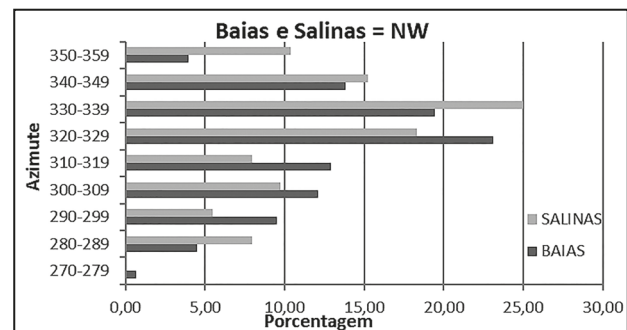


Figura 6 Percentagem de comprimentos de eixo por direção NW de alinhamentos, baías e salinas.

Através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, tanto a distribuição dos tamanhos dos eixos das baías como a das salinas não é normal, $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$. Para a comparação entre as duas populações de eixos foi utilizado um teste não paramétrico, o teste Mann-Whitney-Wilcoxon e a um nível de significância de 0,05 ($p < 2,2 \cdot 10^{-16}$), concluiu-se que há diferença significativa entre os tamanhos de eixo entre baías e salinas e que a média e mediana do tamanho eixos das salinas é maior que as das baías (Tabela 2).

	Média (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)	População
Eixos das Baías	476	383	331	17050
Eixos das Salinas	704	622	349	581

Tabela 2 Descrição estatística dos eixos das baías e salinas

4 Discussão

O número encontrado de lagoas é duas vezes maior do que o esperado considerando-se os autores

que trabalharam anteriormente na região, como Fernandes (2007) que descreveu haver mais de 9.000 lagoas, ou Furquim *et al.* (2010) que propuseram serem 8.500, com 7.000 baías e 1.500 salinas, mostrando uma relação baías/salinas também diversa da encontrada.

Além disso, a análise dos contornos das lagoas e de seus eixos maiores indicam que as lagoas estão alinhadas e que as salinas não estão distribuídas ao acaso ou homogeneamente.

Na interpretação deste alinhamento das lagoas um ponto a se considerar é o de que o megaleque do Taquari, sobre o qual se localiza completamente a Nhecolândia, foi formado por um fluxo radial a partir de seu ponto de entrada na planície pantaneira ao longo do tempo (Figura 7).

Assim, se o alinhamento das lagoas fosse radial no trecho da Nhecolândia, o alinhamento das lagoas seria relacionável à sua gênese sobre as

estruturas fluviais do leque do Taquari (paleocanais e paleodiques marginais, por exemplo).

Considerando-se as vazantes da Nhecolândia, foi testado o alinhamento paralelo das lagoas, como mostrado na Figura 8. Assim o alinhamento para as lagoas é paralelo entre si (Figura 6), orientado principalmente na direção NE e, secundariamente, na direção NW.

São observadas lagoas alinhadas a NE e NW. Testou-se ainda a possibilidade de que as lagoas com índices de circularidade próximos a 1,0 (quase circulares) pudessem indicar uma falsa direção, pois o eixo maior em um círculo perfeito é o diâmetro do círculo em qualquer direção.

Com objetivo de se eliminar as lagoas com alta circularidade, a fim de evitar um falseamento de direções, a análise com as direções dos eixos maiores das lagoas foi repetida eliminando-se todas as lagoas com IC maior do que 0,75. Os diagramas

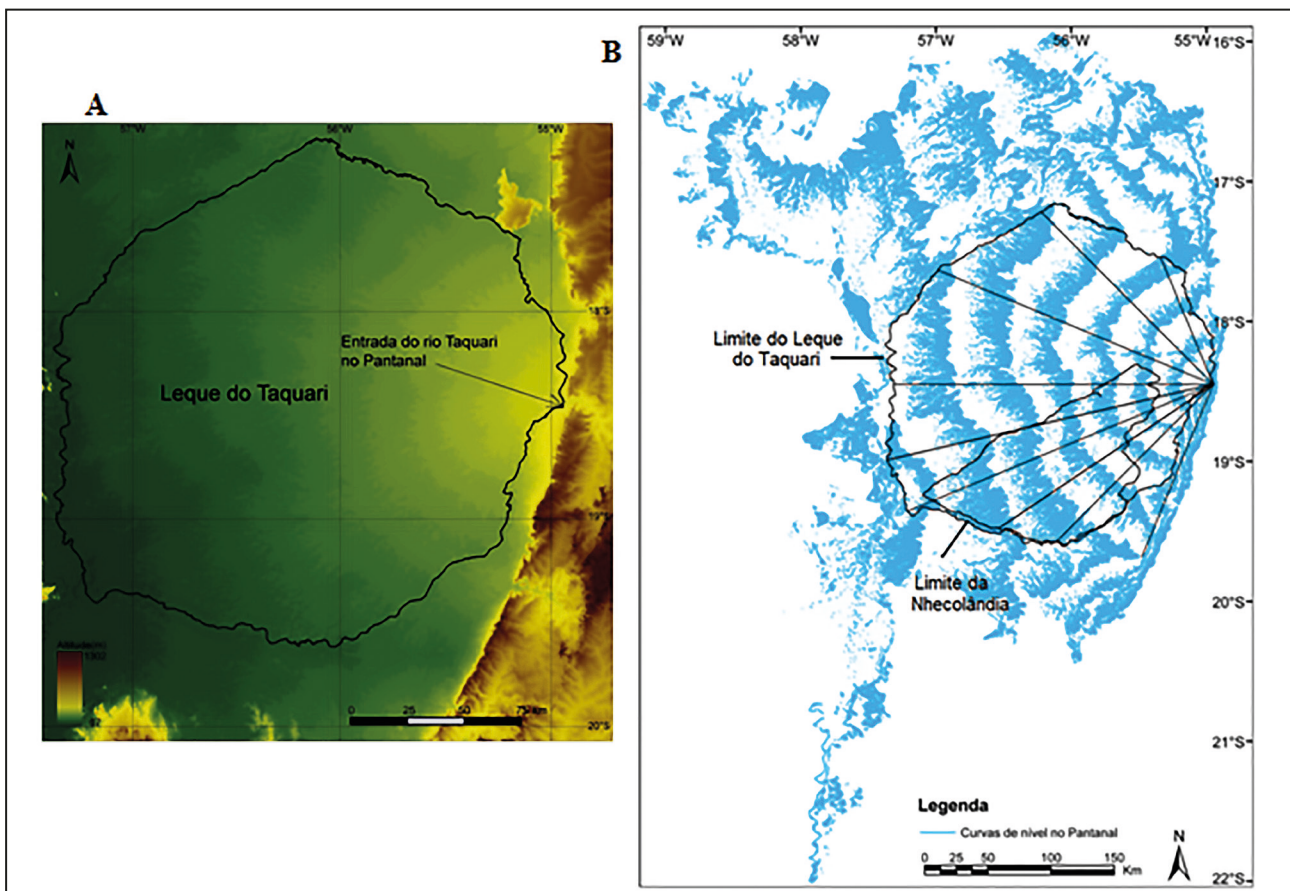


Figura 7 Em “a”: hipsometria do Pantanal do Taquari mostrando o padrão radial do relevo à partir da desembocadura do Rio Taquari no Pantanal. E em “b”: um adensamento de curvas de nível mostrando os eixos radiais à partir da desembocadura do Rio Taquari. Ambos os mapas foram derivados do modelo digital de elevação SRTM.

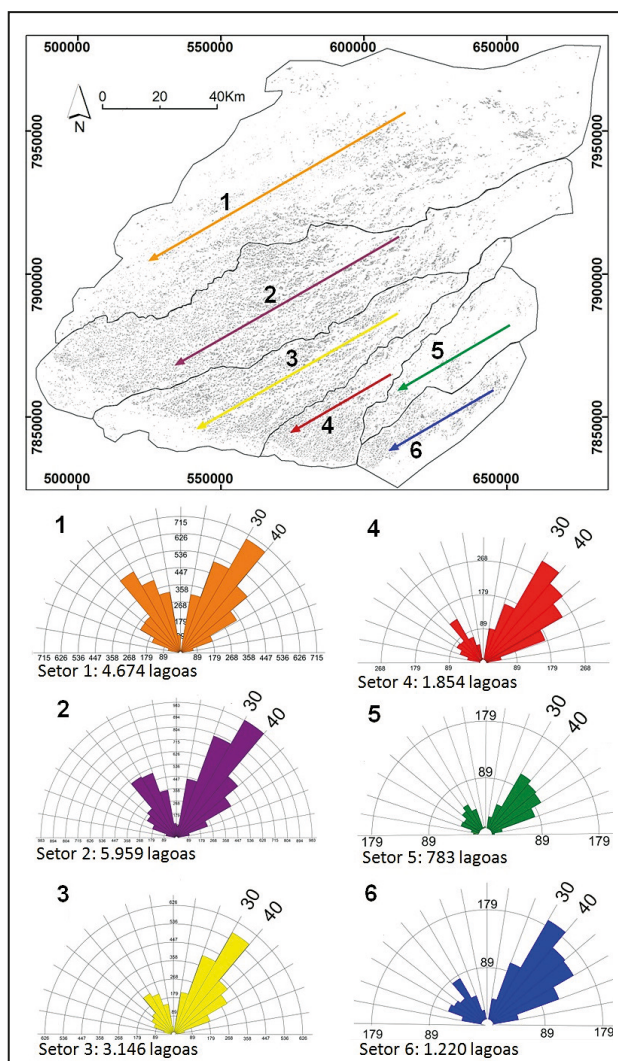


Figura 8 Dividindo-se a Nhecolândia em faixas homogêneas pode-se demonstrar que o alinhamento entre as lagoas é paralelo e não radial.

de roseta com os resultados desta análise (Figura 9) mostram clara tendência para a direção NE, mais precisamente no intervalo entre 20° e 40° e mantém-se um agrupamento na direção NW, validando os resultados anteriores, obtidos com o processamento dos dados de todas as lagoas.

5 Conclusão

Foram identificadas 17.631 lagoas, sendo 17.050 (96,70%) baías e 577 (3,30%) salinas.

O alinhamento das lagoas é presente e não é aleatório. As direções NE e NW estariam associadas aos ventos predominantes durante a gênese das lagoas da Nhecolândia.

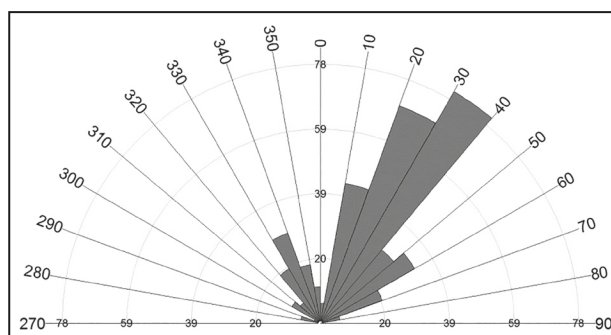


Figura 9 Eixos de lagoas com $IC \leq 0,75$; mostrando que mesmo se desconsiderando as lagoas próximas a um círculo perfeito, o padrão de orientação se mantém, não havendo confusão com a direção dos eixos das lagoas circulares.

6 Agradecimentos

Ao CNPq pelos recursos do edital Universal (processo 481645/2011-0) e pela bolsa PIBIC de AAR, bolsa de Mestrado de CLM e pelas bolsas PQ de ACPF, de MLA e de JBS.

A CAPES pela bolsa de doutorado de APGO.

Ao Lucas e à Marina da Fazenda/Pousada Barranco Alto, pela amizade e carinho com que sempre nos acolheram.

7 Referências

- Abdon, M.M.; Silva, J.S.V.; Pott, V.J.; Pott, A. & Silva M.P. 1998. Utilização de dados analógicos do Landsat-Tm na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33(13): 1799-1813.
- Almeida, F.F.M. 1945. Geologia do sudoeste Matogrossense. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral/Diretoria de Geologia e Recursos Minerais*, 116: 1-118.
- Almeida, C.M.; Souza, I.M.E.; Alves, C.D.; Pinho, C M.D. & Feitosa, R.Q. 2009. Métodos cognitivos de classificação aplicados a imagens QuickBird para a detecção de áreas residenciais homogêneas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 61(1): 1-12.
- Assine, M.L. 2003. *Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil*. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 106p.
- Assine, M.L. 2010. Pantanal Mato-Grossense: uma paisagem de exceção. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V. CARNEIRO, C.D.R. & LISBOA, M. B.A.L. (Org.). *A Obra de Aziz Nacib Ab Saber*. 1 ed. São Paulo: Beca-BALL Edições, p. 464-489.
- Definiens Imaging. 2002. *Ecognition version 2.0*. Munchen, Alemanha. 1 CD-ROM.
- Evans, T.L. & Costa, M. 2013. Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal

Sensoriamento Remoto na Análise do Alinhamento das Lagoas do Pantanal da Nhecolândia, MS

Ana Paula Garcia Oliveira; Camila Leonardo Miotto; Alisson André Ribeiro; Robson Jaquez;
Edilce do Amaral Albrez; Joel Barbujiari Sigolo; Mario Luis Assine & Antonio Conceição Paranhos Filho

- Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery. *Remote Sensing of Environment*, 128: 118-137.
- Fernandes, E. 2000. *Caracterização dos elementos do meio físico e da dinâmica da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense*. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. *Dissertação de Mestrado*, 195p.
- Fernandes, E. 2007. *Organização espacial dos componentes da paisagem da Baixa Nhecolândia – Pantanal do Mato Grosso do Sul*. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. *Tese de Doutorado*, 177p.
- Furquim, S.A.C.; Graham, R.; Barbiéro, L.; Queiroz Neto, J.P. de & Vidal-Torrado, P. 2010. Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of the Pantanal wetland, Brazil. *Geoderma*, 154(3): 518-528.
- Galvão, L.S.; Pereira Filho, W.; Abdon, M.M.; Novo, E.M.L.M.; Silva, J.S.V. & Ponzoni, F.J. 2003. Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21): 4093-4112.
- Google Earth. 2013. Versão disponível em: <http://www.google.com.br/earth/download/ge/agree.html>.
- Grohmann, C.H.; Campanha, G.A.C. & Soares Junior, A.V. 2011. OpenStereo: Programa Livre e multiplataforma. Análise de Dados Estruturais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 13, Campinas, 2011. *Anais*, Campinas, p. 26-28.
- INPE. 2008. Landsat 5 TM. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Canais 4, 5 e 3. Órbita 226 ponto 073. CD ROM. 19/08/2008.
- Miotto, C.L.; Paranhos Filho, A.C. & Albrez, E.A. 2012. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. *Revista Entre-Lugar*, 3(6): 165-180.
- Müller, V.C. 1953. *A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area*. New York: Virginia and Tennessee. Department of Geology, 3, 30p.
- Paranhos Filho, A.C.; Lastoria, G. & Torres, T.G. 2008. *Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias*. Campo Grande: Ed. UFMS, 198p.
- Paranhos Filho, A.C.; Nummer, A.R.; Albrez, E.A.; Ribeiro, A.A. & Machado, R. 2013. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, 85(3): 913-922.
- PCI Geomatics. 2003. *Geomatica version 9.1 for Windows*. Ontário, Canadá. CD-ROM.
- R Foundation for Statistical Computing. 2013. *R version 3.0.1*. Disponível em: <http://cran-r.c3sl.ufpr.br/>.
- Soares, A.P.; Soares, P.C. & Assine, M.L. 2003. Areias e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2): 211-224.
- Tricart, J. 1982. *Paisagem e ecologia*. São José do Rio Preto: IBILCE, UNESP, 55p.
- Zani, H.; Assine, M.L. & Mcglue, M.M. 2012. Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: Method development and application to the Taquari megafan, Pantanal (Brazil). *Geomorphology*, 161: 82-92