

# Mapeamento da Idade de Florestas Secundárias: Estudo de Caso no Estado do Rio de Janeiro

## Mapping of Age of Secondary Forests: Case Study in Rio de Janeiro State

Rômulo Weckmüller<sup>i</sup>

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro, Brasil

Raúl Sánchez Vicens<sup>ii</sup>

Universidade Federal Fluminense  
Niterói, Brasil

**Resumo:** Mapear e monitorar o crescimento de florestas secundárias é fundamental para uma efetiva gestão do território. Além de detectar mudanças na cobertura vegetal através de técnicas de sensoriamento remoto, é fundamental conhecer as diferentes especificidades destas regenerações em cada porção do território. O objetivo principal deste artigo é contribuir metodologicamente para obter características sobre as florestas secundárias do estado do Rio de Janeiro como idade, magnitude e ocorrência no relevo. As recuperações florestais no estado são mais recorrentes no norte fluminense, possivelmente associadas a abandonos de terras agrícolas. As florestas secundárias mais antigas estão próximas ao litoral, com relevo mais plano e baixo (Região dos Lagos) enquanto que as mais recentes estão no interior, onde o relevo é mais ondulado e alto (Região do “Vale do Café” e Região Serrana).

**Palavras-chave:** Detecção de Mudanças; Séries Temporais; LandTrendr; Sensoriamento Remoto.

**Abstract:** Mapping and monitoring the growth of secondary forests is critical for effective land management. In addition to detecting changes in vegetation cover through remote sensing techniques, it is essential to identify how regeneration varies in each portion of a territory. The main objective of this paper is to methodologically contribute to characterizing secondary forests of Rio de Janeiro state with regard to age, magnitude and occurrence in relief. Forest recovery is more frequent in northern Rio de Janeiro, possibly associated to agricultural land abandonment. The oldest secondary forests are located near the coast in zones of flatter and lower relief (Região dos Lagos) while newer sec-

---

<sup>i</sup> Prof. Substituto do Departamento de Geografia. weckmuller@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8599-7211>.

<sup>ii</sup> Prof. Associado no Departamento de Geografia. rsvicens@id.uff.br. <https://orcid.org/0000-0002-4429-806X>.

ondary forest is found in inland regions where the relief is more undulating and higher (Região do “Vale do Café” and Região Serrana).

**Keywords:** Land Use Change Detection; Time-series; LandTrendr; Remote Sensing.

## Introdução

Os estudos de mudanças na cobertura da terra são fundamentais para ações de planejamento e/ou gestão do território. Eles contemplam a quantificação e localização de desmatamentos, urbanizações, antropizações, intensificações de cultivos, regenerações, entre outros fenômenos de mudanças (WECKMÜLLER, 2018). Ainda mais em um contexto em que a conversão de ecossistemas naturais para outros usos, causada pelos seres humanos, já atua em escala global. Mais da metade da superfície terrestre é utilizada como terras agrícolas ou pastagens (KAREIVA et al., 2007).

Neste contexto, as trajetórias evolutivas surgem como complemento dos estudos de mudanças, aprofundando as informações sobre o histórico da cobertura da terra. Esta perspectiva abre um horizonte maior de entendimento sobre a degradação da paisagem, que possibilita o pesquisador conhecer importantes informações sobre a paisagem, como por exemplo: a idade de uma pastagem e a classe que precedeu sua ocorrência; a intensidade da urbanização e em que classe ocorreu esta pressão; ou ainda o abandono de uma área de cultivo com recuperação para vegetação secundária (WECKMÜLLER, 2015).

Câmara et al. (2016) defendem as trajetórias evolutivas como uma quebra de paradigma nos estudos de mudança. Até agora a variável espaço era priorizada em relação ao tempo, ou seja, os mapeamentos eram feitos para cada data com comparação posterior dos seus resultados, o paradigma chamado de “*Space First*”. A partir desse momento há uma mudança importante neste paradigma, pois a variável tempo passa a ser a mais importante, com o uso de séries temporais, chamado de “*Time First*”. Desta maneira, o mapa deixa de ser um resultado absoluto, exigindo o complemento de uma assinatura espectral-temporal de suas classes de mudança (MAUS et al., 2016). Os mapeamentos das trajetórias evolutivas possibilitam a aplicação em uma grande diversidade de objetivos devido à sua natureza interdisciplinar. Estudos de mudanças na vegetação, como desmatamentos e revegetações, são os mais comuns na literatura, mas também se encontram estudos em áreas urbanas e agrícolas, por exemplo (WECKMÜLLER, 2018).

A detecção de mudanças com base em trajetórias vem ganhando espaço com a disponibilização de longas séries temporais, a partir da modelagem das curvas de trajetórias e a classificação da curva de cada pixel. O algoritmo de detecção de mudanças com base em trajetória, desenvolvido por Kennedy et al. (2010) e chamado de *LandTrendr* (*Landsat-based detection of Trends in Disturbance and Recovery*), fornece estimativas tanto sobre desvios bruscos da trajetória (como a intensidade e a data da perturbação) quanto de processos contínuos e lentos (como a revegetação). O método baseia-se no melhor ajuste da curva temporal de cada pixel em relação a trajetórias reconhecidas numa área de floresta.

Alguns trabalhos de trajetórias, assim como este, utilizaram métodos baseados nos algoritmos *LandTrendr*. Kennedy et al. (2012) analisaram padrões de desmatamentos e

recuperações vegetais em áreas protegidas públicas e privadas, além das ecorregiões de uma floresta temperada no noroeste dos Estados Unidos. Griffiths et al. (2012) adotaram as trajetórias evolutivas em uma cena *Landsat* que corresponde à parte da região dos Cárpatos, no leste da Romênia, para entender o comportamento da cobertura da terra nos principais acontecimentos na Europa entre 1984 e 2010, concluindo que o colapso do socialismo provocou uma diminuição drástica no desmatamento e o abandono de muitas terras agrícolas, enquanto que a ascensão da União Europeia contribuiu para a retomada de cultivos nestas áreas agrícolas. Fragal et al. (2016) utilizam as trajetórias para mensurar a perda de florestas de várzea num trecho do baixo rio Amazonas entre 1984 e 2009. Os autores concluíram que o *LandTrendr* obteve uma acurácia entre 65 e 70% de acerto nas classes propostas. Kennedy et al. (2018) implementaram os algoritmos *LandTrendr* na plataforma *Google Earth Engine*, devido ao grande acervo de imagens e capacidade de processamento em nuvem desta. Os autores conseguiram entre 85% e 95% de concordância entre os resultados do algoritmo no *Envi IDL* (lançado em 2010) e no *software* da *Google*. Weckmüller e Vicens (2019) mapearam as supressões e recuperações florestais no estado do Rio de Janeiro, entre 1984 e 2016.

Neste contexto, este trabalho objetiva mapear a idade das florestas secundárias do estado do Rio de Janeiro, entre 1984 e 2016, utilizando os resultados de Weckmüller e Vicens (2019) nos algoritmos *LandTrendr*. Como objetivo específico pretende-se analisar a ocorrência destas florestas secundárias em diferentes áreas do relevo, para entender seus padrões espaciais. Para recobrir a área de estudo são necessárias seis cenas do satélite *Landsat* (Figura 1). A escolha desta área justifica-se pelo alto dinamismo na cobertura da terra do estado nas últimas décadas, a carência de estudos desta natureza a nível estadual e a histórica pressão antrópica dos ciclos econômicos sobre a Mata Atlântica da região.

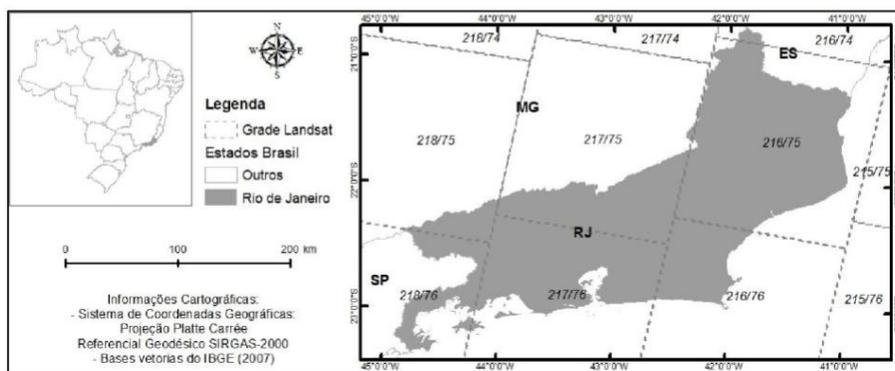


Figura 1 – Cenas Landsat no estado do Rio de Janeiro: órbitas 216, 217 e 218 com os pontos 075 e 076.  
Fonte: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

Os 92 municípios pertencentes ao estado do Rio de Janeiro estão divididos em regiões de governo de acordo com suas características socioeconômicas. Estas regiões foram estabelecidas em 1987 e de acordo com Saraça et al. (2007) não retratam mais a

realidade, pois as recentes mudanças na estrutura produtiva acarretaram em uma reordenação espacial que impôs a necessidade de se formular uma nova regionalização. Seguindo este raciocínio, a fundação CIDE (atual CEPERJ) propôs uma nova regionalização para o estado que leva em consideração as diferenças e particularidades mais atuais, baseada nas regiões de 1987, porém apresenta algumas modificações na forma de agrupamento dos municípios. Esta nova regionalização propõe a divisão do estado em 9 regiões e foi usada como base para nortear alguns resultados deste artigo (Figura 2).

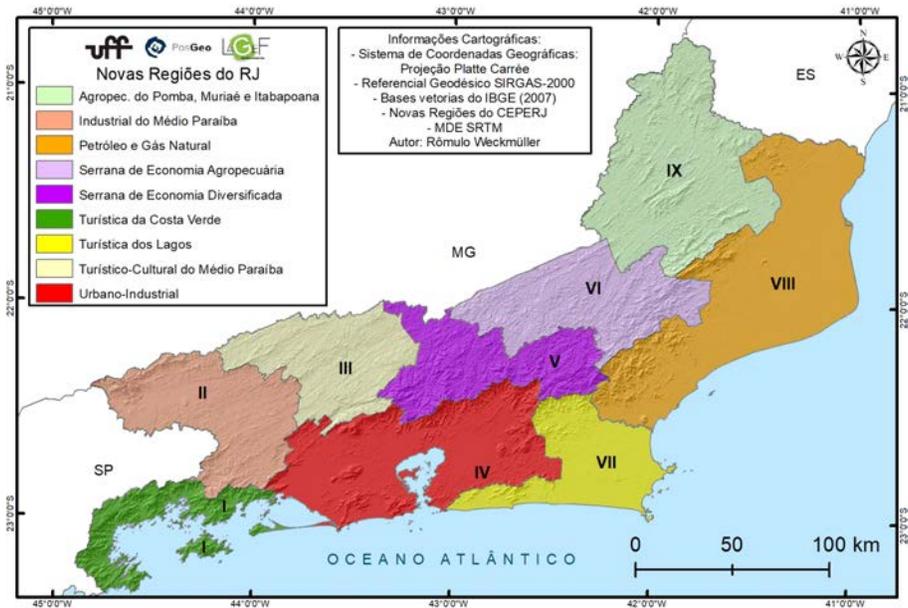


Figura 2 – Novas regiões político-administrativas do Rio de Janeiro (proposta da CEPERJ).  
Fonte: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

## Materiais e Métodos

### Materiais

Para o presente trabalho foram utilizadas imagens Landsat, dos sensores TM (1984 a 2011) e OLI (2013 a 2016). Tais imagens são atualmente disponibilizadas gratuitamente pelo USGS (*United States Geological Survey*, portal: <http://earthexplorer.usgs.gov/>), na forma do produto *Landsat Surface Reflectance Climate Data Record* (CDR).

Para a classificação das trajetórias foi utilizado o algoritmo *Landsat-based Detection of Trends in Disturbance and Recovery*. O *LandTrendr* é um pacote de algoritmos de detecção de mudanças baseado em *pixels*, desenvolvido por Kennedy et al. (2010),

que objetiva gerar trajetórias espectro-temporais que expressam os eventos ocorridos no *pixel* no decorrer do tempo, resumidamente em três fases: pré-processamento, segmentação temporal e classificação das trajetórias. Este pacote de algoritmos também possibilita a obtenção de características dos eventos florestais, como seu ano inicial, magnitude e duração do distúrbio. Em Kennedy et al. (2018), o *LandTrendr* foi adicionado ao *Google Earth Engine* (disponível em: <https://github.com/KennedyResearch/LandTrendr-2012>).

### *Pré-Processamento*

As imagens Landsat do produto CDR obtidas no portal eletrônico do USGS, de acordo com seus metadados, já vem ortorretificadas com precisão sub-pixel e corrigidas segundo a atmosfera utilizando o modelo 6S. Porém numa detecção de mudanças, o mais importante seria a pouca variação das imagens entre si. Por isso optou-se pela realização de uma normalização radiométrica, objetivando diminuir a variação radiométrica dentro da série temporal (CRONEMBERGER, 2014). Esta normalização foi realizada por Weckmüller (2018), com base no algoritmo em R desenvolvido por Fernandes et al. (2017).

### *LandTrendr*

#### Segmentação temporal

O conceito de segmentação temporal é importante, pois se difere do uso da palavra segmentação usada até então na literatura, de cunho estritamente espacial. A segmentação temporal do algoritmo *LandTrendr* consiste em identificar quebras estatísticas do comportamento linear entre a imagem inicial e a final da série, simplificando a série espectro-temporal. Esta série ajustada pode ser relacionada a eventos ocorridos com a cobertura florestal, como supressões e regenerações. Ambos podem ser observados pelos segmentos das trajetórias, que mostram os momentos críticos de cada mudança (KENNEDY et al., 2010; WECKMÜLLER, 2018).

Por meio desses segmentos são gerados os atributos de duração, magnitude e ano de início da perda ou regeneração da cobertura florestal. Assim, o atributo de duração indica o tempo levado para a perda ou regeneração da floresta, o atributo de magnitude expressa a amplitude de variação do índice espectral, então, quanto maior a magnitude mais abrupta foi a perda da cobertura florestal e por fim, o ano de início expressa quando o evento de supressão ou regeneração teve início, fundamental para mapear a idade das mudanças (FRAGAL et al., 2016).

Dos vários descritores disponíveis para o processo de segmentação temporal, foi utilizado o NDVI, devido ao seu melhor desempenho na detecção de mudanças em florestas tropicais, testado na área de estudo por Weckmüller et al. (2018). Os principais parâmetros que influenciam na qualidade da segmentação temporal são: *kernel size*, *pval* e *max segments* (FRAGAL, 2015). Weckmüller e Vicens (2019) definiram, respectivamente, 3x3, 0.05 e 6 como os valores mais adequados para estes parâmetros.

## Classificação das trajetórias florestais

A fase de classificação é a última do processo de detecção de trajetórias utilizando os algoritmos *LandTrendr*. Neste momento são inseridos os parâmetros de controle de mudanças (limiares) e as classes que representam as trajetórias da paisagem, através do algoritmo chamado *labelfit*. As classes apresentam perdas e ganhos de vegetação em duas velocidades distintas: abrupta (menos de 5 anos) e gradual (mais de 5 anos).

Weckmüller e Vicens (2019) definiram os limiares: para uma mudança ser considerada distúrbio (perda) na vegetação tem que apresentar variação negativa anual de 0.22 e variação negativa numa série de 20 anos de 0.18 no NDVI. Já para ser considerada uma recuperação da vegetação, basta variação positiva de 0.27 no NDVI.

## Mapeamento das características das trajetórias

Para cada classe do *LandTrendr*, o algoritmo gera um arquivo *raster* com oito bandas, onde cada uma delas apresenta uma característica diferente sobre aquela classe de trajetória. As três primeiras bandas (ano inicial, duração e magnitude do evento) foram utilizadas e possibilitaram gerar mapas que auxiliaram na descrição e entendimento das trajetórias.

O mapeamento de ano inicial permite obter a idade dos fenômenos observados. Já a magnitude expressa a inclinação do segmento de mudança. Quanto mais inclinado, mais abrupta foi a mudança, quanto menos inclinado, mais gradual. A duração contém a quantidade de tempo (em anos) que o fenômeno durou até a sua estabilização. A associação entre estes três mapeamentos permite entender o grau de degradação, estabilidade ou recuperação da paisagem.

## Idade das Florestas Secundárias

A regeneração da floresta é definida como o processo pelo qual a floresta perturbada atinge características da floresta madura. A velocidade de regeneração da floresta tropical depende da intensidade da perturbação sofrida (WHITMORE, 1990). Consultando a literatura, observa-se que o tempo estimado para regeneração de algumas florestas tropicais americanas fica entre 150 e 200 anos (UNESCO/PNUMA/FAO, 1980). Já Saldarriaga e Uhl (1991) estimaram que são necessários, aproximadamente, 140 a 200 anos para que a floresta tropical de terra firme, estabelecida em áreas de cultivo abandonadas, apresente valores de biomassa similares aos da floresta madura na Amazônia venezuelana. Mesmo as florestas tropicais de terras baixas, que crescem num ritmo mais rápido que as montanhas e semidecíduas, levam um tempo parecido ao supracitado para se regenerarem (EWEL, 1980; TABARELLI e MANTOVANI, 1999).

Sendo assim, de acordo com a literatura, fica inviável a recuperação total de florestas no tempo de análise deste trabalho (entre 1984 e 2016 – no máximo 32 anos). Logo, consideraram-se todas as recuperações florestais observadas (exceto silvicultura)

como sendo florestas secundárias. Veloso et al. (1991) reforçam esta constatação quando definem as florestas secundárias como sendo “as áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária”, definição esta condizente com os estágios sucessionais previstos na Resolução CONAMA nº 6/1994.

O mapeamento de ano inicial das recuperações florestais possibilitou a obtenção das idades das florestas secundárias do estado do Rio de Janeiro. A definição de uma legenda apropriada levou em conta opinião de especialistas da área e o histograma do ano inicial das recuperações (Tabela 1). Todos os fragmentos de regeneração florestal têm uma informação de “ano inicial” associada. Aqueles encontrados entre 1984 e 1995, por exemplo, foram considerados como recuperações antigas no mapa da idade das florestas secundárias.

Tabela 1: Definição da legenda da idade das florestas secundárias.

<b>Legenda Ano Inicial das Recuperações</b>	<b>Legenda Idade Florestas Secundárias</b>
1984 – 1990	Antiga (mais de 20 anos)
1991 – 1995	
1996 – 2000	Média (entre 11 e 20 anos)
2001 – 2005	
2006 – 2010	Recente (10 anos ou menos)
2011 – 2016	

Como complemento à análise da idade das florestas secundárias, estas foram relacionadas às características morfométricas do relevo, geradas a partir do MDE, do SRTM. Dois subprodutos deste MDE foram gerados no módulo *3D Analyst* do *ArcGis*: a declividade e a orientação das encostas. Posteriormente, os polígonos com as classes predominantes de idade da floresta secundária foram convertidos em *rasters* com *pixels* de 30 por 30 metros, e depois convertidos em um *shape* de pontos. Através da ferramenta do *ArcGis* “*extract value to points*”, os valores de altitude, declividade e orientação da encosta foram extraídos. Histogramas com a distribuição das médias desses pontos foram feitos para auxiliar a interpretação destes dados.

Para a altitude foram criados intervalos de 200 metros. Para a orientação da encosta foram criadas 8 classes, com intervalo de 45 graus, representando os pontos cardeais e colaterais. A declividade foi dividida em 6 classes de acordo com legenda desenvolvida pela Embrapa (2006), onde o relevo é considerado plano, de 0 a 3%; suave, de 3 a 8%; ondulado, de 8 a 20%; fortemente ondulado, de 20 a 45%; montanhoso, de 45 a 75%; e escarpado, acima de 75%. A Figura 3 resume as etapas metodológicas deste trabalho.

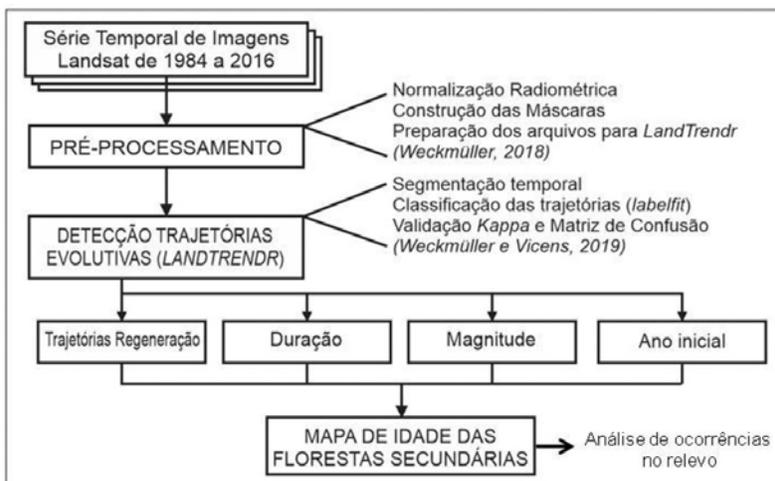


Figura 3 – Etapas metodológicas resumidas do trabalho.

## Resultados

### Trajetoórias de Recuperações Florestais do Estado do Rio de Janeiro

Após o processo de segmentação temporal, classificação pelo *labelfit*, aplicação das máscaras e edição manual realizado por Weckmüller e Vicens (2019), foram geradas as trajetórias florestais. Os autores apontam que 58.969 ha de áreas florestais no estado do Rio de Janeiro apresentaram algum tipo de trajetória associada a mudanças na cobertura vegetal. Estas representam aproximadamente 6% das florestas observadas em 1984, ou seja, nos 32 anos de análise o predomínio na área foi de invariância de florestas. Agrupando as classes de desmatamentos e de recuperações, percebe-se que as trajetórias de perdas florestais correspondem a 34.419 ha (64% do total da área que apresentam mudanças), enquanto que as de recuperações a 19.699 ha (36%). A Tabela 2 detalha as trajetórias de recuperações. Note que a classe “Recuperação (Silvicultura)” não foi computada no cálculo da proporção, pois a mesma não foi considerada como uma regeneração efetiva de áreas de floresta pelo seu comportamento cíclico, representando uma área de cultivo (WECKMÜLLER e VICENS, 2019).

Tabela 2 – Área em hectares das classes de trajetórias florestais do Rio de Janeiro.

Classes de Trajetórias Florestais	Área (ha)	Áreas (ha) agrupadas
Desmatamento seguido de recuperação	53	19.699
Recuperação Abrupta	19.341	
Recuperação Gradual	305	4.850
Recuperação (Silvicultura)	4.850	

Fonte: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

## Características das Trajetórias de Regeneração Florestal

### Ano Inicial

Os anos iniciais das recuperações se concentram em dois extremos: aquelas mais antigas, entre 1985 e 1990, têm aproximadamente 3.600 ha; enquanto que os mais recentes, a partir de 2011, têm cerca de 2.000 ha. O ano de 2011 se destaca entre os demais, pois sozinho representa 2.000 ha de recuperações (Figura 4).

No predomínio das idades das recuperações também se observam dois extremos. As mais antigas, da década de 1980, predominam nas Regiões Urbano-Industrial (IV) e Turística dos Lagos (VII). Já as mais recentes, ao longo dos anos 2000, estão majoritariamente nas Regiões III, VI e V, nesta ordem. Interessante ressaltar também que ao longo da década de 1990 surgiram muitas recuperações na Região IX (Figura 4).

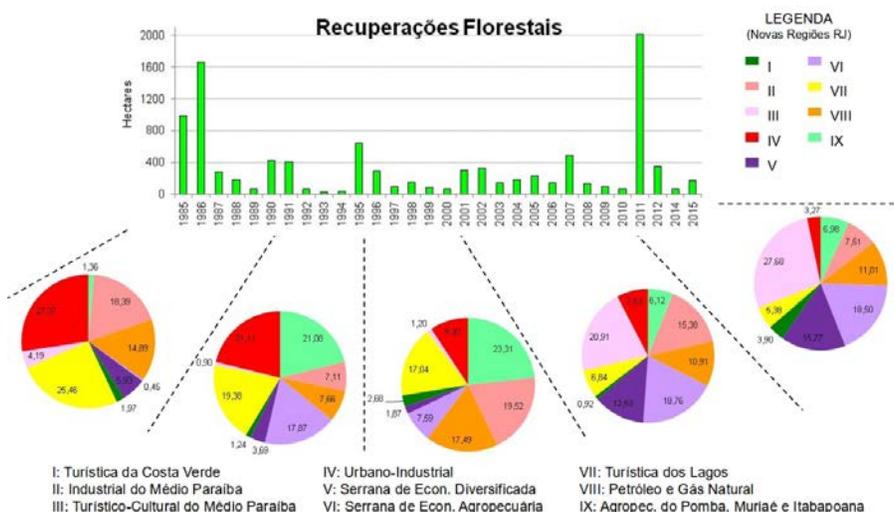


Figura 4 – Ano inicial das recuperações e proporção por região do RJ.

Adaptado de: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

Localizando as informações mencionadas acima sobre os extremos de recuperação, nos municípios de Guapimirim (Região IV), Silva Jardim e São Pedro da Aldeia (Região VII) predominam as recuperações mais antigas do estado. Já as mais recentes estão em Rio das Flores (III), Sapucaia (VI) e a oeste de Nova Friburgo (V); isto porque ao leste deste município e ao longo de suas fronteiras com Macaé e Casimiro de Abreu observa-se recuperações datadas da década de 1980. Por fim, na Região IX, ganhos florestais na década de 1990 ocorrem, em sua maioria, em Cambuci e Varre-Sai.

Magnitude

A magnitude predominante das recuperações no estado esteve entre 0.3 e 0.4 de NDVI, com cerca de 5.000 ha. Excetuando-se as recuperações de pequena magnitude (entre 0.1 e 0.2) que predominaram quase que majoritariamente na Região II, todas as outras classes estiveram distribuídas de maneira parecida em 8 das 9 regiões do estado (a Região I obteve percentuais bem menores que as demais). Vale observar que a Região Turística dos Lagos (VII) aumentou percentualmente sua participação em direção às recuperações de alta magnitude (Figura 5).

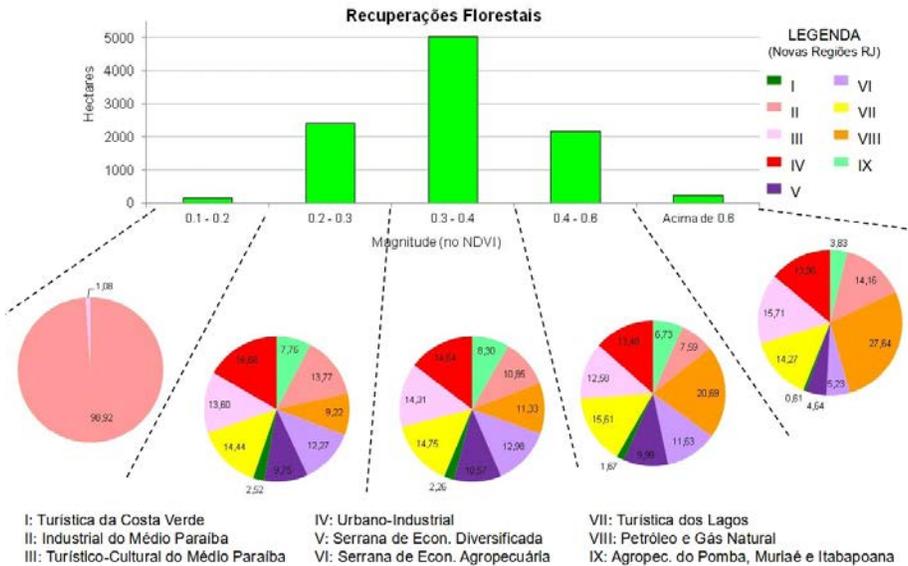


Figura 5 – Magnitude das recuperações e proporção por região do RJ.  
 Adaptado de: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

A pequena magnitude de recuperações da Região II concentra-se no município de Volta Redonda. As de média magnitude têm destaque em Rio das Flores (III), São Pedro da Aldeia (VII), Teresópolis e Nova Friburgo (V), nesta ordem. As grandes magnitudes de recuperações da Região do Petróleo e Gás (VIII) foram encontradas em Rio das Ostras e São Francisco de Itabapoana.

Duração

A duração das recuperações florestais concentra-se em três classes. Na ordem, destacam-se aquelas mais curtas (até 5 anos) com cerca de 5.000 ha, consideradas recuperações

mais abruptas; as médias (de 6 a 10 anos) com quase 2.400 ha e as muito longas (mais de 26 anos), consideradas mais graduais, apresentaram cerca de 1.000 ha (Figura 6).

De uma maneira geral, as recuperações de curta e média duração foram predominantes nas Regiões III, VIII, VI e V, nesta ordem. Vale destacar o aumento de participação percentual da Região IX da primeira para a segunda classe. Já nas recuperações graduais há um amplo domínio de três Regiões: II, IV e VII (Figura 6).

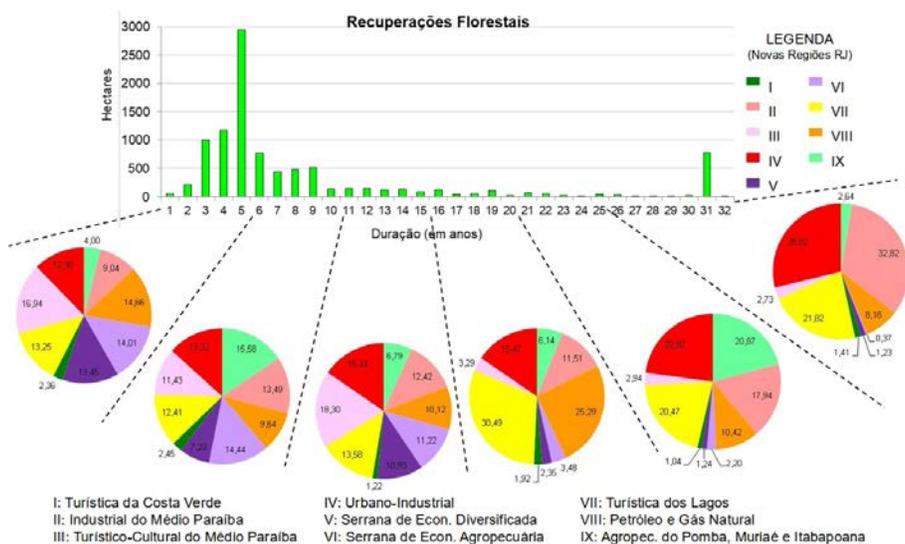


Figura 6 – Duração das recuperações e proporção por região do RJ.

Adaptado de: WECKMÜLLER e VICENS (2019).

As curtas e médias durações das recuperações nas Regiões III, VIII, VI e V foram destaque nos municípios de Rio das Flores, Campos, Sapucaia e Bom Jardim, respectivamente. Na Região II, o município de Resende tem grandes áreas de recuperações graduais, principalmente perto de sua fronteira com Itaitiaia. Nas Regiões IV e VII, estas recuperações de longa duração têm uma presença predominante em Cachoeiras de Macacu e Maricá, respectivamente (Figura 6).

### Idade das Florestas Secundárias

Para entender melhor a degradação ou recuperação de uma paisagem é muito importante saber a idade da mesma. Apesar deste mapeamento ser derivado dos dados apresentados, pretende-se aprofundá-los aqui, visto a importância de se conhecer mais sobre as características das florestas secundárias do estado do Rio de Janeiro.

Como visto anteriormente, há dois picos de regeneração observados no período de análise: um onde as florestas secundárias podem ser consideradas antigas, com mais de 20 anos; e um recente, com 10 anos ou menos. As recuperações florestais médias, entre 11 e 20 anos, apesar da menor ocorrência, completam a legenda do mapeamento deste fenômeno.

A Figura 7 contempla um resumo de ocorrências (em %) de todas as três classes de idade das florestas secundárias na área de estudo, por região. De uma maneira geral quatro regiões apresentam predomínio de florestas secundárias antigas (IV, VII, II e VIII, nesta ordem), quatro apresentam maioria de recuperações recentes (III, I, VI e V) e uma região apresenta números parecidos entre as classes predominantes (IX).

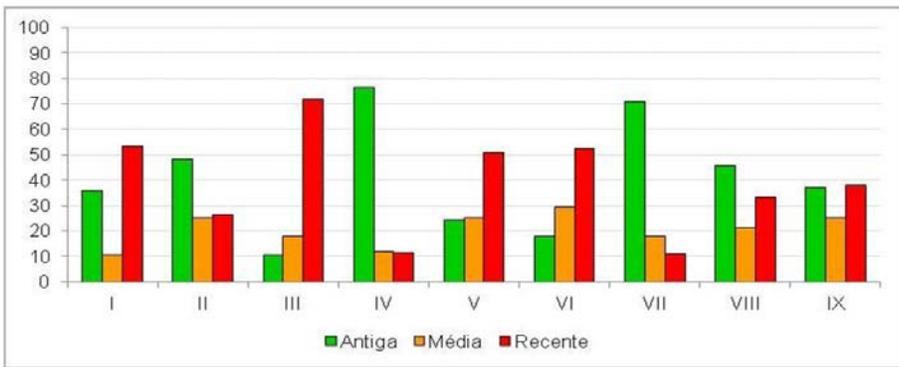


Figura 7 – Porcentagem por região da idade de florestas secundárias.

Quanto à ocorrência das recuperações florestais no relevo, a Figura 8 apresenta os histogramas de frequência das 2 classes predominantes (florestas secundárias antigas e recentes) relacionadas às três características morfométricas do relevo analisadas (altitude, declividade e orientação da encosta). A Figura 9 localiza estas recuperações por idade. Visto a dificuldade na visualização dos dados nesta escala, segue o link em alta resolução: <https://bityli.com/kHNbl>.

Em relação às recuperações antigas observa-se que estas estão bem distribuídas entre as orientações de encosta, tendo um pouco de destaque naquelas voltadas para norte. Acredita-se que por esta orientação apresentar uma característica climática mais seca, não tenha tanto interesse comercial, permitindo o desenvolvimento de uma recuperação florestal. Quase 60% desta classe antiga ocorreu em áreas baixas (entre 0 e 200 metros de altitude). Vale destacar também 20% de ocorrência na faixa entre 400 e 600 metros. A declividade desta classe concentra-se, em sua maioria, em relevos fortemente ondulados e ondulados, respectivamente, que somados representam quase 70% das ocorrências.

Já nas recuperações mais recentes também se observa uma distribuição mais homogênea entre as orientações de encosta, tendo um pouco de destaque naquelas

voltadas para norte. Acredita-se nos mesmos motivos supracitados para esta predominância. Diferentes da classe anterior, as vegetações secundárias mais recentes têm uma maior ocorrência em áreas mais altas, na faixa entre 400 e 800 metros de altitude, com cerca de 50% do fenômeno. A declividade desta classe também se concentra em relevos fortemente ondulados e ondulados, respectivamente, mas que somados representam mais que a classe de florestas secundárias antigas, com quase 80% do total de ocorrências.

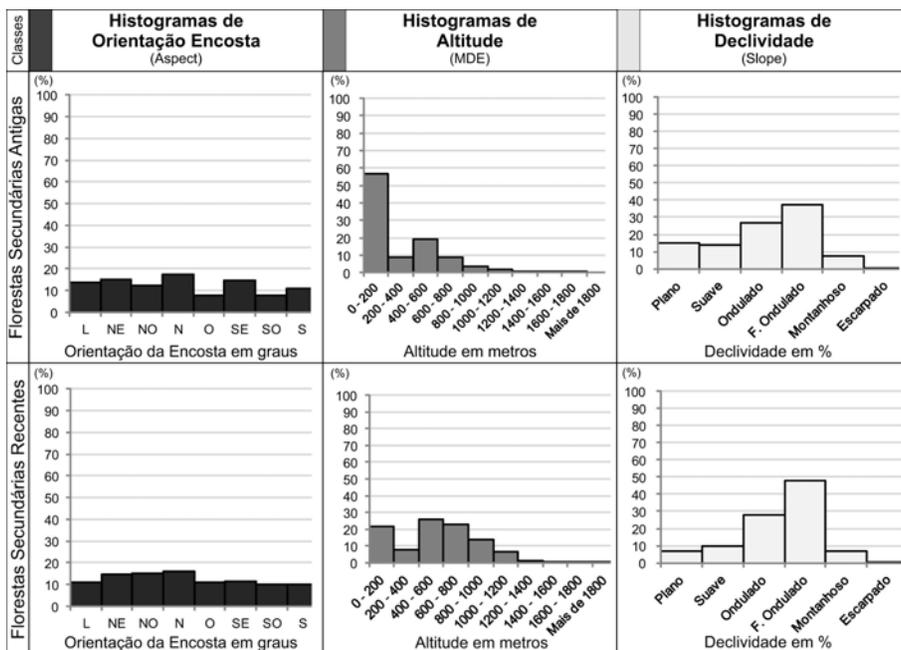


Figura 8 – Histogramas de frequência das florestas secundárias antigas e recentes relacionadas às características morfométricas do relevo.

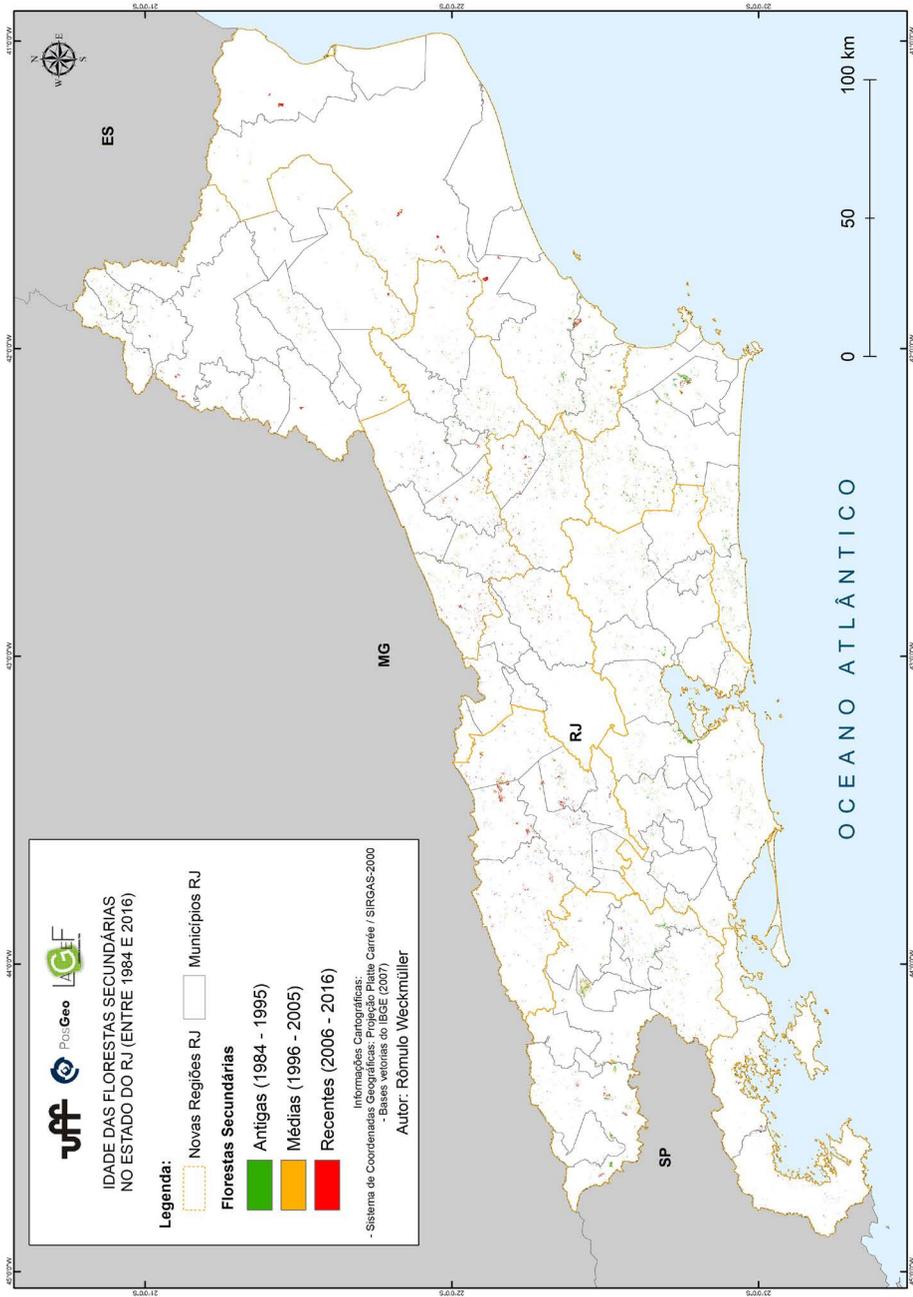


Figura 9 – Idade das florestas secundárias no estado do Rio de Janeiro.

Analisando o mapa de idade das florestas secundárias no estado (Figura 9) observa-se uma predominância de recuperações florestais recentes no interior do estado, enquanto que as mais antigas estão, em sua maioria, mais próximas ao litoral. Observação esta totalmente condizente com os resultados obtidos relacionando a idade das florestas secundárias com suas características morfométricas do relevo, visto que o relevo próximo ao litoral é mais plano e baixo, e no interior mais ondulado e alto, devido à presença da Serra do Mar, suas escarpas e os planaltos em seu reverso.

## Considerações Finais

Os mapeamentos das características de trajetórias oferecidas pelo algoritmo *LandTrendr* (ano inicial, duração e magnitude) se mostraram úteis para auxiliar no entendimento destes fenômenos, além de condizentes com as particularidades de cada região. A associação destas recuperações com alguns parâmetros de relevo foi fundamental para detectar diferentes características das regenerações no estado do Rio de Janeiro.

Acredita-se que a metodologia desenvolvida e validada neste artigo possui grande potencial para o mapeamento da idade de florestas secundárias, apresentando resultados sólidos e condizentes com a realidade da área de estudo e dos materiais utilizados, podendo ser replicada para outras áreas, com outras realidades. Assim, fica a necessidade de estudos mais aprofundados com relação a essa temática, que possam, a partir das contribuições do presente trabalho, desenvolver futuras pesquisas analisando, elaborando e propondo medidas que ajudem a compreender as trajetórias evolutivas de recuperações florestais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF), da Universidade Federal Fluminense (UFF); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio a esta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

CÂMARA, G.; MACIEL, A.; MAUS, V.; VINHAS, L.; SANCHEZ, A. Using dynamic geospatial ontologies to support information extraction from big Earth observation data sets. *GIScience 2016 Conference*, Montreal, Canadá, 2016.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 6, 4 de maio de 1994*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF.

CRONENBERGER, F. M. 2014. 159f. *Paisagens da Serra do Mar: uma análise geocológica da dinâmica da paisagem*. Tese (Doutorado em Geografia) – POSGEO. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF, 2. ed. 2006. 353p.

EWEL, J. Tropical succession: manifold routes to maturity. *Biotropica*, n.12, p.2-7, 1980.

FERNANDES, P. J. F.; VICENS, R. S.; FURTADO, L. F. A. Modelo automático de normalização radiométrica de série multitemporal Landsat-5 usando pontos pseudoinvariantes (PIF). *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 2, p. 241-251, 2017.

FRAGAL, E.H. *Reconstrução histórica de mudanças na cobertura florestal em várzeas do baixo Amazonas utilizando o algoritmo Landtrendr*. 2015. 126f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

\_\_\_\_\_; SILVA, T. S. F.; NOVO, E. M. L. M. Reconstructing historical forest cover change in the Lower Amazon floodplains using the LandTrendr algorithm. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 1, p. 13-24, 2016.

GRIFFITHS, P.; KUEMMERLE, T.; KENNEDY, R. E.; ABRUDAN, I. V.; KNORN, J.; HOS-  
TERT, P. Using annual time-series of Landsat images to assess the effects of forest restitu-  
tion in post-socialist Romania. *Remote Sensing of Environment*, v. 118, p. 199-214, 2012.

KAREIVA, P.; WATTS, S.; McDONALD, R.; BOUCHER, T. Domesticated nature: Shaping  
landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, v. 316, p. 1866-1869, 2007.

KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; COHEN, W. B. Detecting trends in forest disturbance and  
recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algo-  
rithms. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 2897-2910, 2010.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. PFAFF, E.; BRAATEN, J.; NELSON, P. Spatial and temporal pat-  
terns of forest disturbance and regrowth within the area of the Northwest Forest Plan.  
*Remote Sensing of Environment*, v. 122, p. 117-133, 2012.

KENNEDY, R.E.; YANG, Z.; GORELICK, N.; BRAATEN, J.; CAVALCANTE, L.; COHEN,  
W.B.; HEALEY, S. Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine.  
*Remote Sensing*, v. 10, n. 691, p. 1-10, 2018.

MAUS, V.; CÂMARA, G.; CARTAXO, R.; SANCHEZ, A.; RAMOS, M.; QUEIROZ, G. R. A  
Time-Weighted Dynamic Time Warping Method for Land-Use and Land-Cover Mapping.  
*IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 9,  
n. 8, p. 3729-3739, 2016.

SALDARRIAGA, J. G.; UHL, C. Recovery of forest vegetation following slash-and-burn  
agriculture in the upper rio Negro. In: *Tropical rain forest: regeneration and management*.  
Nova York: Blackwell, 1991. p. 303-312.

SARAÇA, C. E. S.; RAHY, I. S.; SANTOS, M. A.; COSTA, M. B.; ALENCAR, R. S.; PERES,  
W.R. A propósito de uma nova regionalização para o estado do Rio de Janeiro. In: BER-

GALLO, H. G.; FIDALGO, E. C. C.; ROCHA, C. F. D.; UZÊDA, M. C.; COSTA, M. B.; ALVES, M. A. S.; VAN SLUYS, M.; SANTOS, M. A.; COSTA, T. C. C.; COZZOLINO, A. C. R. (Orgs.). *Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Instituto Biomás, 2007. p. 33-40.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (SP). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, n. 2, p. 239-250, 1999.

UNESCO/PNUMA/FAO. *Ecosistemas de los bosques tropicales*. Paris, 1980, 771p.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE/DERNA, 1991. 123p.

WECKMÜLLER, R. *Proposta metodológica para detecção de mudanças na cobertura da terra, através de análise multitemporal de imagens RapidEye*. 2015. 89f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – POSGEO. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

\_\_\_\_\_. *Trajétórias evolutivas das coberturas florestais do estado do Rio de Janeiro utilizando os algoritmos LandTrendr*. 2018. 123f. Tese (Doutorado em Geografia) – POSGEO. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

\_\_\_\_\_; VICENS, R. S. Detecção de mudanças florestais em séries temporais utilizando os algoritmos Landtrendr: estudo de caso no estado do Rio de Janeiro. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 44-57, 2019.

WECKMÜLLER, R.; ZEBENDE, J.V.J.; VICENS, R.S. Escolha do melhor descritor para a detecção de trajetórias em florestas tropicais utilizando os algoritmos LandTrendr. *Revista Continentes*, v. 7, n. 13, p. 68-84, 2018.

WHITMORE, T. C. *An introduction to tropical rain forests*. Londres: Oxford University Press/Blackwell, 1990. 296 p.

Recebido em: 27/01/2022    Aceito em: 08/03/2022