

## Detecção de Supressões Florestais em Imagens Bitemporais de Alta Resolução no Estado do Rio de Janeiro

Camilla Bandeira da Silva <sup>1\*</sup>, Felipe Gonçalves Amaral <sup>2</sup>, Carla Bernadete Madureira Cruz <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. (\*Autor correspondente: camillabandeira22@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutorando em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup>Professora Titular do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 07/06/2022 – Revisado em: 02/07/2022 – Aceito em: 26/08/2022

### RESUMO

O monitoramento dos ambientes naturais e antropizados auxiliam consideravelmente no planejamento e gestão ambiental dessas áreas, além de contribuir para um melhor entendimento da dinâmica e cobertura do solo. A detecção de mudanças, uma das formas de monitorar o ambiente por Sensoriamento Remoto, considera diferentes métodos e técnicas para qualificar e quantificar as transformações nas características da cobertura ao longo do tempo. O objetivo do presente trabalho é contribuir para a realização do monitoramento de áreas florestais da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro por meio da avaliação de descritores dinâmicos criados a partir de imagens bitemporais de alta resolução. Essa proposta metodológica se baseia nas diferentes condições de relevo, iluminação, umidade e degradação da Mata Atlântica, além de considerar diferentes fitofisionomias presentes no estado do RJ. Como a detecção de mudanças é uma forma bem estabelecida e importante de identificar, mapear e monitorar mudanças no espaço, amplamente utilizada no monitoramento de ecossistemas, espera-se alcançar a identificação de áreas de supressão florestal em escala de grande detalhe. Descritores dinâmicos serão construídos neste trabalho a partir de índices encontrados na revisão da literatura que tendem a descrever a dinâmica florestal com base nas bandas visíveis de sensores de alta resolução. Este método difere dos clássicos por não utilizar a banda do infravermelho próximo, normalmente indisponível a baixo custo, buscando contribuir para a proposição de um método diferenciado que atenda a escala de monitoramento em detalhe.

**Palavras-Chaves:** Detecção de Mudanças; Supressão Florestal; Mata Atlântica; Alta Resolução; Rio de Janeiro.

### Detection of Forest Suppressions in High Resolution Bitemporal Images in the State of Rio de Janeiro

### ABSTRACT

The monitoring of natural and anthropic environments helps considerably in the planning and environmental management of these areas, in addition to contributing to a better understanding of the dynamics and land cover. The detection of changes, one of the ways to monitor the environment by Remote Sensing, considers different methods and techniques to qualify and quantify the transformations in the characteristics of the roof over time. The objective of the present work is to contribute to the monitoring of forest areas in the Atlantic Forest of the state of Rio de Janeiro through the evaluation of dynamic descriptors created from high resolution bitemporal images. This methodological proposal is based on the different conditions of relief, lighting, humidity and degradation of the Atlantic Forest, in addition to considering different phytophysionomies present in the state of RJ. As change detection is a well-established and important way of identifying, mapping and monitoring changes in space, widely used in ecosystem monitoring, it is expected to achieve the identification of areas of forest suppression in a great detail scale. Dynamic descriptors will be constructed in this work from indices found in the literature review that tend to describe forest dynamics based on the visible bands of high resolution sensors. This method differs from the classic ones in that it does not use the near-infrared band, normally unavailable at low cost, seeking to contribute to the proposition of a differentiated method that meets the monitoring scale in detail.

**Keywords:** Change Detection; Forest Suppression; Atlantic Forest; High Resolution; Rio de Janeiro.

Bandeira da Silva, C., Gonçalves Amaral, F., Madureira Cruz, C. (2022). Detecção de Supressões Florestais em Imagens Bitemporais de Alta Resolução no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.3, n.2, p.01-13.



## 1. Introdução

O consumo desordenado de recursos naturais pela população humana, como a retirada de vegetação do meio ambiente, é uma preocupação característica da expansão populacional e das atividades relacionadas a essa expansão, fazendo-se necessário um planejamento para essas áreas. Planejar é pensar no futuro, levando-se em conta os limites, restrições e potencialidades envolvidas. De acordo com Ribeiro & Silveira (2006), o planejamento voltado ao território proporciona a organização espacial, social e ambiental a partir da necessidade de organização deste espaço dinâmico e em constante transformação.

O monitoramento dos ambientes naturais e antropizados por satélites artificiais, feito de forma sinóptica e ágil, auxiliam consideravelmente no planejamento e gestão ambiental. Em ambientes naturais, contribui para o melhor entendimento de dinâmicas e da cobertura, tais como supressão, regeneração, degradação e conservação. Nas últimas duas décadas, várias entidades, principalmente as de cunho governamental, estão fazendo uso massivo de dados provindos do sensoriamento remoto para gestão e monitoramento do território, minimizando custos, maximizando o tempo de trabalho e atuando de forma eficiente em casos que precisam de trabalhos complementares de campo (Longley et. al. 2013).

O sensoriamento remoto, de acordo com Jensen (2009), é um conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre, através da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizada por sensores remotos. Lillesand & Kiefer (1987) consideram ainda que é “(...) a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno”. Dong e Chen (2018) afirmam que a expressão “sensoriamento remoto” foi salientada na década de 1950 por Evelyn Pruitt e Walter Bailey que definiram como a “ciência e a arte de identificar, observar e/ou inferir medições sobre um objeto a distância, sem estar em contato direto com ele”. Nos anos 90, Forster (1994) já afirmava que o sensoriamento remoto surgia como uma técnica alternativa e bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Para Khorram et al. (2012), o início do ciclo do sensoriamento remoto inicia com o lançamento da Sputnik-1. Essa tecnologia é composta por uma grande abundância e variedade de sistemas sensores.

De acordo com Meneses e Almeida (2012) o Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Com a evolução do Sensoriamento Remoto, os sensores estão se tornando cada vez mais eficientes. Para Meneses e Almeida (2012),

“as técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas que desempenham um papel importante no processo de planejamento e reestruturação do ambiente urbano, pois as imagens permitem identificar as características dos objetos e correlacioná-los às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas.”

De acordo com Florenzano (2011), as imagens provenientes de satélites, permitem o alcance de inúmeros estudos de focos ambientais, sendo eles para o mapeamento de uso do solo, averiguar áreas que sofreram o processo de combustão de queimas, e áreas que sofreram desmatamentos, promovendo ao pesquisador uma visão mais sistêmica e detalhada por meio de avaliações multitemporais da superfície da Terra. Ou seja, permitindo ainda mostrar, em diferentes escalas, os níveis de degradação ambiental causada por pressões antrópicas no meio natural.

A importância do Sensoriamento Remoto para a detecção de desflorestamento data desde o século passado, onde, por exemplo, na década de 70 ocorreu o primeiro grande levantamento sistemático da cobertura vegetal no Brasil, com o objetivo de conhecer a vegetação, a cartografia, a geologia e o solo da Amazônia e do Nordeste brasileiro. Já em 2006, o Ministério do Meio Ambiente, a partir do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) mapeou na escala de

1:250.000 dos remanescentes da cobertura vegetal dos biomas brasileiros (Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Pantanal, Cerrado, Caatinga e Campos Sulinos).

O projeto RADAMBRASIL foi realizado a partir de imagens de radar, já o PROBIO utilizou imagens de média resolução do *Landsat-5*. Nesta pesquisa deu-se preferência para o uso de imagens de alta resolução, pois o trabalho focou em detecções que normalmente acontecem em recortes muito pequenos e espaços de tempo muito curtos, provavelmente não detectados em imagens de média resolução.

A detecção de mudanças, uma das formas de se monitorar o ambiente a partir do Sensoriamento Remoto, considera diferentes métodos e técnicas para qualificação e quantificação de alterações nas características da cobertura ao longo do tempo (Singh, 1989; Santos, et al, 2004). Sendo assim, considerada uma forma consagrada e importante para identificar, mapear e monitorar transformações no espaço, muito usada no monitoramento de ecossistemas, podendo-se alcançar com ela a identificação de áreas de supressão da floresta. Nas últimas décadas é crescente o nível dessa supressão, e aumentam os estudos que visam entender a dinâmica desses sistemas.

Com isso, o Sensoriamento Remoto se torna um grande aliado para identificação dessas áreas, com o avanço de técnicas, maior facilidade em disponibilidade e aquisição de imagens, e aumento nas referências conceituais, o que acaba facilitando a interpretação na dinâmica temporal (Forster, 1994; Meneses e Almeida, 2012; Menke et al, 2009; Lu et al, 2004; Dobson et al, 1995; Coppin et al., 2004). Cada vez mais as geotecnologias se fortalecem no monitoramento e caracterização de áreas, se tornando uma importante ferramenta para o planejamento e a gestão ambiental, pois auxiliam nas análises qualitativas e quantitativas, fundamentais nestas abordagens. A comprovação de soluções desta natureza é considerada relevante para a contribuição metodológica em ações conservacionistas.

Com relação ao sensoriamento remoto existem quatro tipos de resoluções que devem ser levadas em consideração na aquisição de uma imagem e na definição de qual sensor será utilizado em determinado projeto, são elas: resolução espacial, resolução temporal, resolução espectral e resolução radiométrica. A resolução espacial segue o mesmo princípio da resolução no meio cartográfico, estando diretamente relacionada ao tamanho do pixel na imagem, ou seja, a menor parcela imageada pelo sensor. A resolução espectral está relacionada à quantidade de bandas espectrais - faixas espectrais de larguras variáveis - presentes no sensor, podendo um sensor ser multiespectral, superespectral e hiperespectral. No caso desta pesquisa as únicas bandas relevantes para o estudo são as bandas do visível: Vermelha, Verde e Azul. A resolução radiométrica está relacionada à quantidade de níveis de cinza presente na imagem, é a intensidade da radiação proveniente da área do terreno correspondente ao pixel. Quanto maior o nível de cinza da imagem, maior será sua definição e diferenciação entre objetos, e o contrário também se aplica. E por último a resolução temporal, que está relacionada ao tempo em que o satélite volta para visitar uma mesma área. Quanto menor o tempo de revisita, maior a resolução temporal.

A resolução indica o nível de detalhe que a imagem comporta, quanto mais alta a resolução, mais detalhe possui a imagem. Alguns exemplos de satélites que possuem sensores de alta resolução espacial utilizados em estudos de sensoriamento remoto são o *WorldView*, *QuickBird*, *Geoeye*, *Ikonos*. Esse tipo de sensor é muito utilizado no mapeamento do uso da terra voltado ao planejamento urbano, e também em bases cartográficas. Esse tipo de imagem é mais difícil de achar disponível no mercado, e quando há, geralmente o custo para obter acesso é alto. Além disso, normalmente, os sensores de alta resolução espacial para compensarem o grande volume de dados que são transmitidos, possuem poucas bandas.

Considerando-se a limitação de se adquirir imagens de alta resolução com mais bandas além das do espectro visível na maioria dos casos, e sendo necessárias soluções que viabilizem o acompanhamento das mudanças em escala de detalhe, o objetivo que norteia o presente trabalho é a identificação das áreas que sofreram supressão florestal com base em bandas do espectro visível de imagens de alta resolução, atendendo a detecção de mudanças em escala de detalhe, de forma a apoiar ações em tempo hábil para a realização de ações de responsabilização. A solução proposta foi testada em diferentes recortes espaciais no estado do Rio de Janeiro, que consideraram variações das condições de iluminação, umedecimento e relevo.

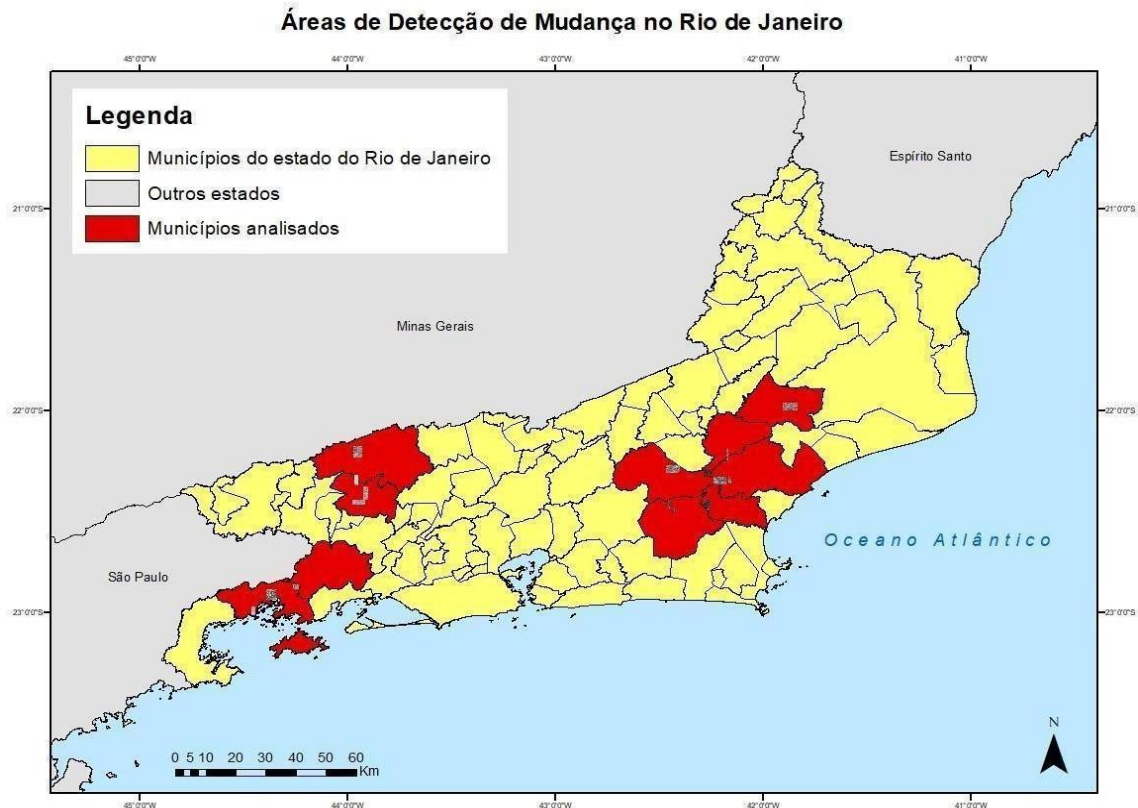
## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O estado do Rio de Janeiro foi escolhido como área de estudo por sua relevância quanto ao percentual de remanescentes de Mata Atlântica (30%) e pela disponibilidade de imagens. O estado ocupa uma área de 43.696 km<sup>2</sup> de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e, apesar de ser o terceiro menor estado brasileiro, apresenta alta relevância ambiental no contexto do bioma Mata Atlântica, possuindo também importantes áreas de endemismo. Soma-se a isso o fato de que o estado é composto por uma rica geomorfologia, com montanhas e baixadas, destacando paisagens diversificadas, que dificultam os processos de monitoramento por satélite, o que demanda maiores investigações com relação à sensibilidade dos índices espectrais.

Para melhor avaliação do método que foi aplicado nesta pesquisa foram adquiridas 34 imagens no total, referentes a maio de 2018, de modo a cobrir 17 recortes de avaliação. Ao espacializar essas áreas no estado do Rio de Janeiro (Figura 1), observam-se os 10 municípios selecionados, estruturados em três áreas de concentração: (i) Angra dos Reis e Rio Claro; (ii) Barra do Pirai e Valença; e (iii) Casemiro de Abreu, Macaé, Nova Friburgo, Santa Maria Madalena, Silva Jardim e Trajano de Moraes. A escolha das áreas de estudo foi limitada a esses municípios por causa da disponibilidade de imagens do Projeto Olho no Verde, que fossem menos afetadas por nuvens, névoas, aerossóis, etc.

**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.2 Procedimentos Metodológicos

Com o surgimento das geotecnologias, representadas essencialmente pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto, novas interpretações de conceito de escala foram inseridas no meio científico, assim como o problema da multiescalaridade, a generalização cartográfica e a resolução. De acordo com Menezes e Neto (1999),

“A importância da escala é fundamental em pesquisas de cunho geográfico, cartográfico, ou ambiental, ou qualquer outra que se realize sobre o espaço físico de atuação de um fenômeno, espacializando a sua representação, e seus conceitos serão sempre aplicados em quaisquer desses estudos.”

A escala deve ser o primeiro elemento considerado na transformação da informação geográfica para a informação cartográfica, podendo ser abordada tanto em um contexto espacial quanto em um contexto temporal. Ainda de acordo com Menezes e Neto (1999),

“A escala temporal é importante para o estudo de uma grande quantidade de fenômenos, sendo muitas vezes aplicada em conjunto com a escala espacial, principalmente para a indicação de elementos ligados a fatores evolutivos e ambientais, como seus períodos de ocorrência e atuação. Dentro do contexto espacial, a escala estará sempre presente a qualquer nível de estudos geográficos e cartográficos, sendo considerado como fator determinante para a delimitação de espaço físico, grau de detalhamento de uma representação ou identificação de feições geográficas. Dentro deste contexto, surgirão já alguns conceitos que serão opostos, como a escala geográfica e cartográfica.”

Para este trabalho optou-se por uma escala espacial de grande detalhe para que fosse possível detectar supressões florestais em pequenas áreas, como pequenas manchas, para ser menos sujeito a incertezas, ou ruídos. Neste caso em áreas maiores que 100m<sup>2</sup>, onde com imagens de média ou baixa resolução espacial teríamos a dificuldade de detectar supressões. Além da escolha de um satélite com alta resolução temporal, pois a dinâmica florestal acontece de maneira rápida.

Relacionado à escala cartográfica, a resolução segundo Goodchild, (1991), pode ser definida como o menor objeto ou feição que pode ser distinta em um conjunto de dados. Por exemplo, as imagens utilizadas neste trabalho possuem resolução espacial de 0,5m, o que quer dizer que elementos ou objetos menores que 0,5m x 0,5m não serão representados na imagem. Ou seja, apesar da resolução possibilitar que enxerguemos áreas de 0,25m<sup>2</sup>, a classificação em si necessita de uma área mínima (ou mancha), que está atrelado à escala. No caso, adotou-se, como dito no parágrafo anterior, uma área mínima de 100m<sup>2</sup>, que corresponde a um aglomerado de 400 pixels.

Como o objetivo da pesquisa é atender à detecção de mudanças em escala de detalhe, teve-se que usar imagens de alta resolução espacial obtidas em curto intervalo de tempo. As imagens selecionadas para o presente estudo de caso são do satélite *WorldView* e foram obtidas na Secretaria do Estado do Ambiente do Rio de Janeiro (SEA-RJ) através do Projeto Olho no Verde, em parceria com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Em atendimento às demandas para ações de campo, foi necessário selecionar passagens consecutivas do satélite *WorldView* em um intervalo não superior a 30 dias. Este cuidado apoiou o conceito de supressão recente, com grande possibilidade de atuação em campo.

Assim, a detecção de mudanças de áreas florestadas de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro foi baseada nas imagens dos satélites *WorldView 2* e *WorldView 3*, obtidas em modo fusionado e já ortorretificadas. A resolução espacial foi de 0,5m, obtida pela fusão das bandas multiespectrais com a pancromática. O tempo de revisita destes satélites, que varia entre 1 a 4 dias, é importante para o atendimento da detecção da supressão florestal em tempo “quase real”, de modo a viabilizar ações de campo.

Usualmente os trabalhos voltados para essa temática utilizam a banda do Infravermelho Próximo para detectar mudanças na paisagem como supressões e regenerações de vegetação. Em atendimento a soluções baseadas em bandas exclusivamente do visível, buscou-se na bibliografia índices espectrais não usuais que pudessem atender à identificação da supressão da floresta. Assim, a proposta metodológica

testada nesse trabalho se diferencia por não embasar a detecção de mudanças na floresta em índices tradicionais, dependentes da banda do Infravermelho Próximo (NIR), buscando contribuir para situações em que esta banda não se encontre disponível.

Existem diversas maneiras de se detectar mudanças na paisagem, como Razão de Imagens, Análise de Vetor de Mudança, Subtração de Imagens, Diferença de Índices de Vegetação, etc. Neste caso foram utilizados índices radiométricos através de descritores dinâmicos para análise da diferença, que de acordo com Amaral (2021),

“Interpreta-se como descritor dinâmico, a variável que consegue descrever a dinâmica da cobertura de modo que possamos entender suas transformações ao longo do tempo, como por exemplo, a dinâmica urbana ou a dinâmica dos oceanos. Unindo essa ideia ao sensoriamento remoto podemos conceber que os descritores dinâmicos são as variáveis que nos indicam a dinâmica de alvos a partir de suas características espectrais ao longo do tempo.”

Os descritores adotados neste trabalho, encontrados a partir de revisão bibliográfica, foram selecionados por atenderem à detecção de mudanças na floresta e serem baseados nas bandas do visível.

Ainda de acordo com Amaral (2021),

“Os índices radiométricos são medidas capazes de identificar e realçar em imagens de satélites determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, cursos d’água, solo exposto, entre outros, além da normalização contribuir na redução de ruídos e efeitos de iluminação. Esses índices também fornecem parâmetros capazes de detectar e separar alvos compostos de materiais diferentes (França et al, 2012)”.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que é vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil, os índices espectrais são resultados de operações aritméticas entre os valores numéricos de pixels de diferentes bandas de uma imagem onde os resultados obtidos podem ser representados na forma de uma nova imagem.

Através do site *Index DataBase* (<https://www.indexdatabase.de/db/is.php>), que é uma plataforma onde é possível encontrar dados sobre índices de sensoriamento remoto e sensores orbitais, foram selecionados três índices para serem avaliados. São eles: Green Leaf Index - GLI (Equação 1), Photosynthetic Vigour Ratio - PVR (Equação 2) e Plant Pigment Ratio - PPR (Equação 3), como podemos observar no fluxograma apresentado na Figura 2.

O índice GLI utiliza as bandas do Vermelho, Verde e Azul:

$$\frac{2(GREEN - RED - BLUE)}{2(GREEN + RED + BLUE)} \quad (1)$$

Onde: green é a banda do verde, red é a banda do vermelho e blue é a banda do azul.

O índice PVR utiliza as bandas do Vermelho e do Verde:

$$\frac{GREEN - RED}{GREEN + RED} \quad (2)$$

Onde: green é a banda do verde e red é a banda do vermelho.

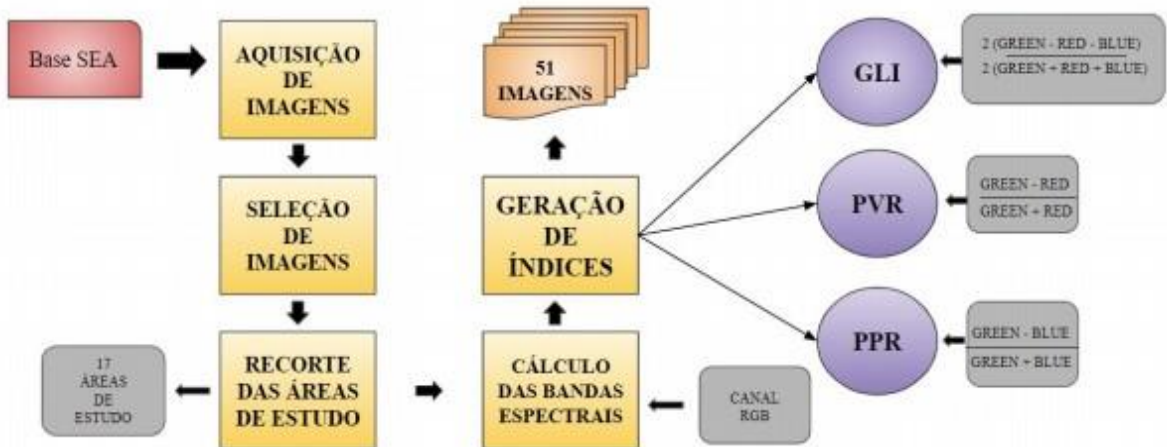
E o índice PPR utiliza as bandas do Verde e do Azul: (3)

$$\frac{GREEN - BLUE}{GREEN + BLUE}$$

Onde: green é a banda do verde e blue é a banda do azul.

Além do site *Index DataBase*, foi realizada uma busca bibliográfica onde tivesse aplicações dos determinados índices citados, porém não foram encontrados artigos com embasamento teórico para os mesmos, apenas menções referentes aos mesmos como exemplos de índices em estudos voltados para a vegetação.

**Figura 2** - Fluxograma da metodologia.

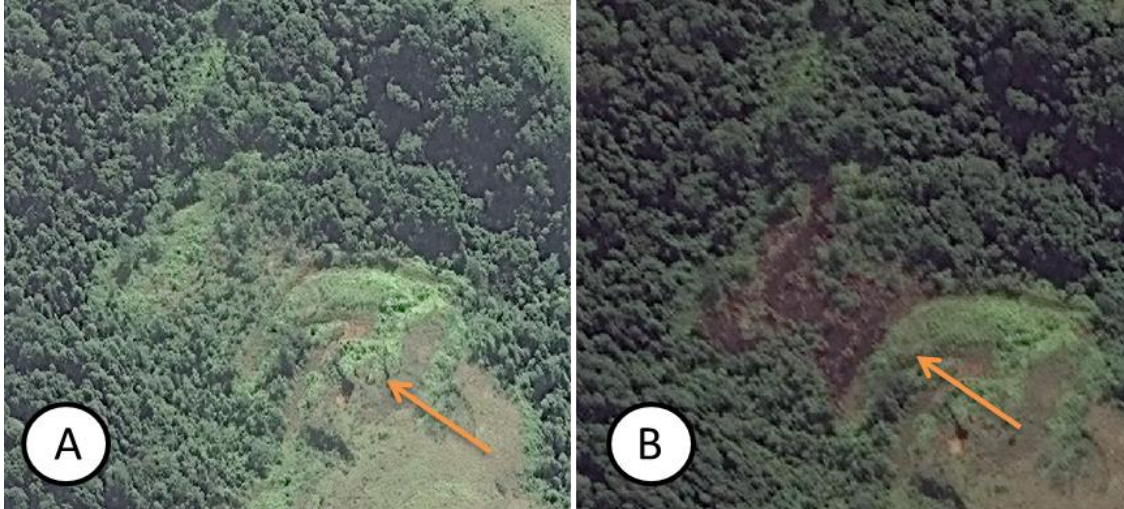


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3. Resultados e Discussão

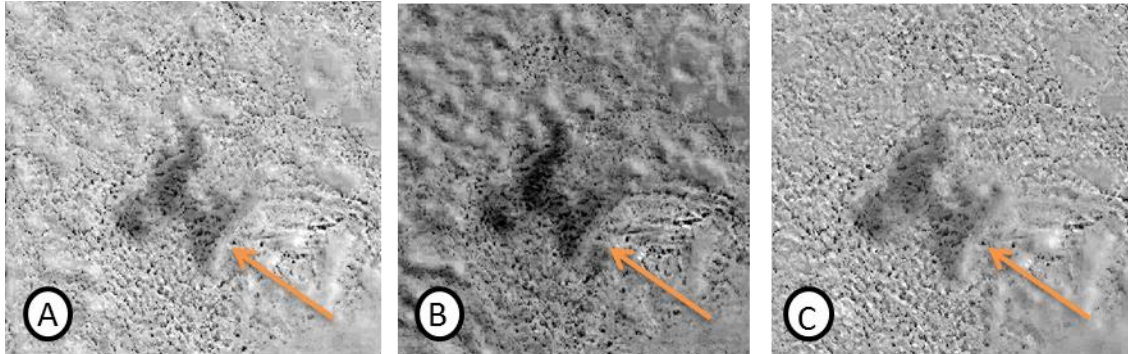
Aplicou-se os três índices em todas as imagens selecionadas, incluindo-se as de referência (Figura 3a), imagens mais antigas, e as imagens mais atuais (Figura 3b). Para isso, utilizou-se a álgebra de matrizes através do software *ArcGis 10.5*. Após a aplicação dos índices (Figura 4a, 4b e 4c), calculou-se a diferença entre as duas imagens de cada área, tendo-se, como resultado, a diferença entre as datas, o que gerou 17 imagens de diferença para cada um dos 3 índices, totalizando 51 resultados. Esses resultados correspondem às mudanças detectadas na paisagem, que podem ser associadas a diferentes naturezas, como supressão e regeneração.

**Figuras 3** – Detecção de Mudança através dos índices. (A) Exemplo de Imagem de Referência; (B) e Imagem Atual



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figuras 4** – Índices aplicados no estudo da vegetação. (A) GLI; (B) Índice PPR; e (C) Índice PVR.



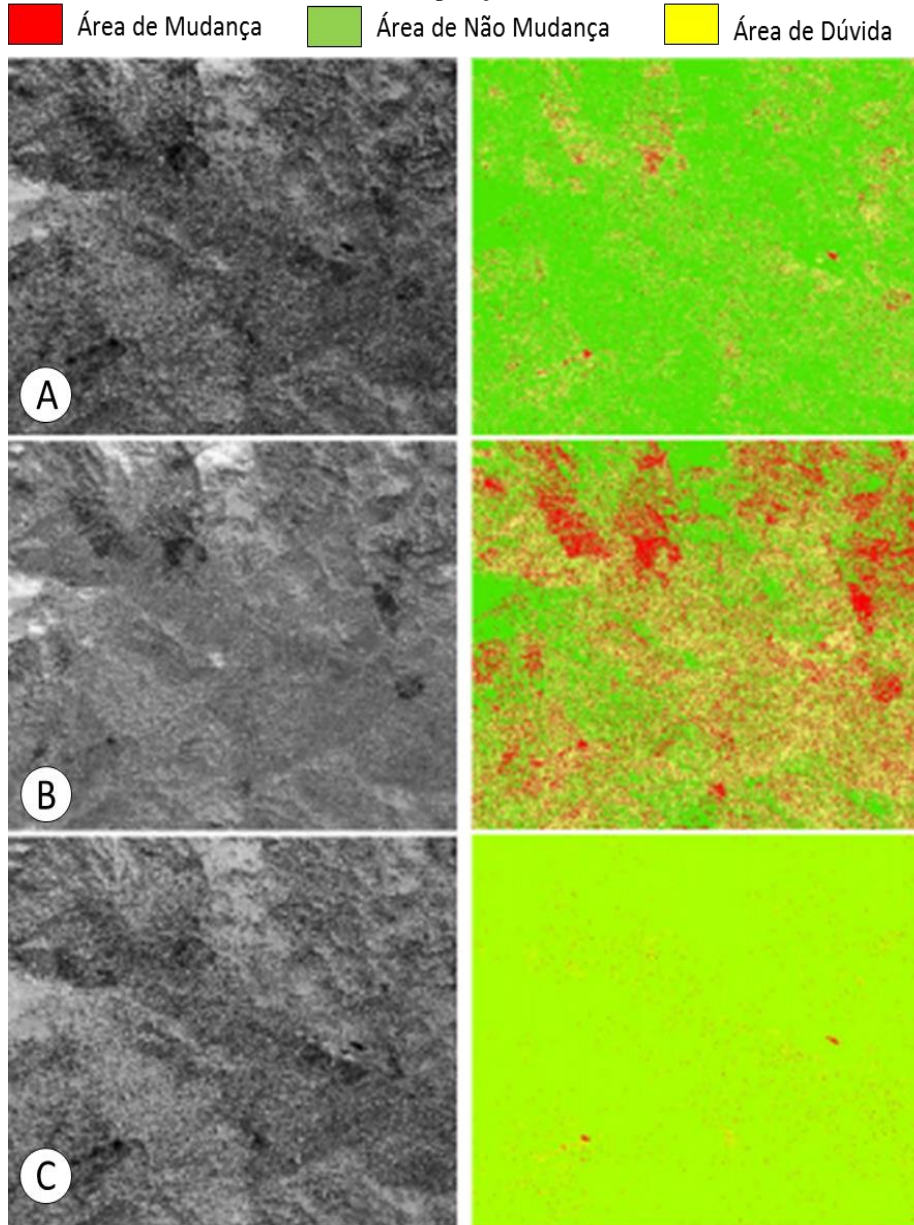
Fonte: Elaborado pelos autores.

Como pode ser observado nas imagens utilizadas no exemplo da figura 4, quanto mais escura for a resposta na imagem, maior a intensidade de mudança na paisagem, quanto mais clara for a resposta, menor a intensidade de mudança. Os resultados mostraram que os índices responderam bem, tanto para as áreas florestadas, objeto de estudo desta pesquisa, quanto para áreas verdes em geral, incluindo-se as gramíneas.

Isto significa que a análise dos três índices aplicados, GLI, PPR e PVR, constatou a sensibilidade dos mesmos à detecção das mudanças ocorridas na paisagem referentes à supressão florestal, apesar de apresentarem níveis diferentes de erros de omissão - quando se deixa de detectar mudanças -, e de erros de comissão - quando se detecta mais do que se deveria. Dos três índices o que apresentou melhores resultados, com o menor erro de omissão e de comissão, foi o índice PVR (Figura 5<sup>a</sup>, 5b e 5c), que é composto pelas bandas Verde e Vermelha. Isto faz sentido quando se considera a revisão bibliográfica, pois são essas duas bandas que, na ausência do Infravermelho Próximo (NIR), geralmente são as que respondem melhor à vegetação. O índice PVR também foi o que demonstrou menor confusão nas áreas de dúvida de mudança/não mudança.



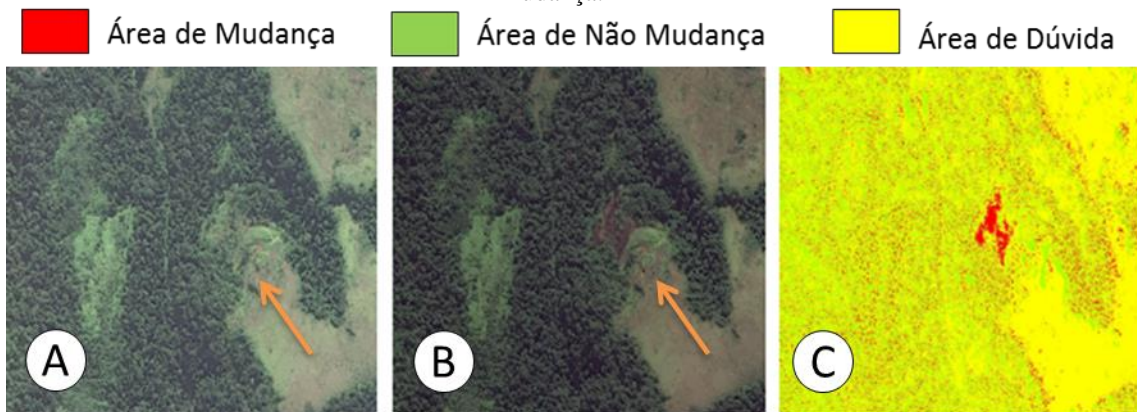
**Figuras 5** - Índices em Níveis de Cinza e em Composição Colorida. (A) Índice GLI; (B) Índice PPR; e (C) Índice PVR



**Fonte:** elaborado pelos autores.

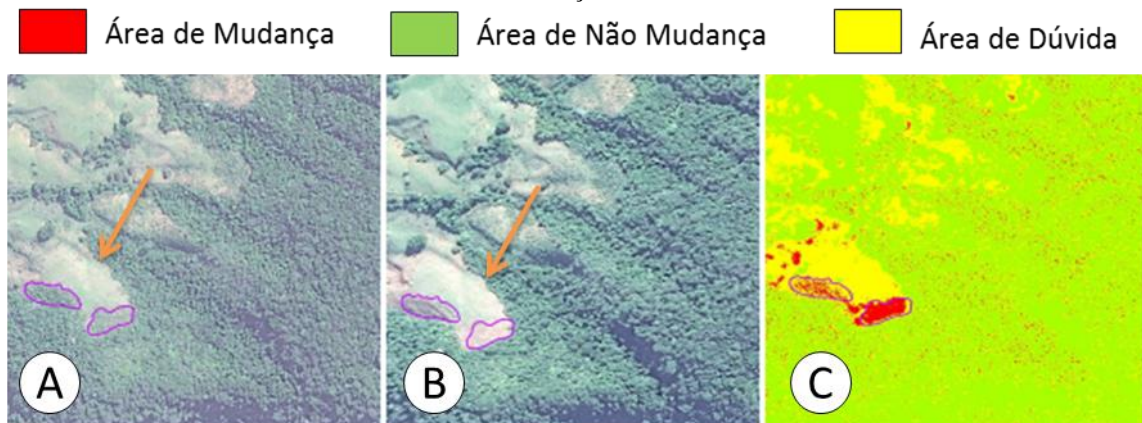
A seguir, é possível observar alguns exemplos referentes às áreas analisadas que demonstram o comportamento do índice citado na detecção de mudanças para a supressão florestal em áreas com diferentes condições de iluminação, e relevo (Figuras 6, 7 e 8). É válido ressaltar que essas áreas foram verificadas através do software Google Earth.

**Figura 6** - Exemplo de Detecção de Mudança. (A) Imagem de Referência; (B) Imagem Atual; (C) Detecção de Mudança.



Fonte: elaborado pelos autores.

**Figura 7** - Exemplo de Detecção de Mudança. (A) Imagem de Referência; (B) Imagem Atual; (C) Detecção de Mudança.



Fonte: elaborado pelos autores.

**Figura 8** - Exemplo de Detecção de Mudança. (A) Imagem de Referência; (B) Imagem Atual; (C) Detecção de Mudança.



Fonte: elaborado pelos autores.

Além de áreas grandes de supressão florestal, é possível ver que o índice também possibilita a percepção de mudanças bem pequenas, quase irrelevantes, dado que cada pixel corresponde a 0,25m<sup>2</sup>. Embora seja importante passar filtros para eliminar um grande percentual de ruídos, comuns a análises baseadas em pixels. A análise de todos os resultados obtidos possibilitou observar que o método adotado pode ser aplicado em diferentes condições. Referente aos exemplos expostos, temos uma área de encosta com baixa luminosidade (figura 6), uma área plana com boa luminosidade (figura 7), e uma área de encosta também com boa luminosidade (figura 8).

Condições de baixa iluminação nas imagens acarretam maiores confusões na detecção de mudanças, o que explica a maior quantidade de ruídos neste caso. Assim, condições de iluminação foram consideradas preponderantes para a obtenção de melhores resultados. Ou seja, se a iluminação for favorável, a resposta também será, tendo-se uma menor geração de ruídos.

Constatou-se que o índice também é capaz de detectar áreas verdes compostas por outros tipos de coberturas, como as gramíneas. Quando isso ocorre geralmente é identificado como áreas de dúvida, embora seja possível identificar igualmente a retirada dessa cobertura vegetal. Considera-se importante pensar em ajustes que possibilitem reduzir o nível de ruídos nos resultados, como a aplicação de filtros.

#### **4. Conclusão**

A avaliação do uso dos índices espectrais GLI, PPR e PVR, compostos apenas por bandas do espectro visível, como método de detecção de mudanças, apontaram para a possibilidade de identificação de mudanças em áreas florestadas, considerando diferentes condições de relevo e iluminação da Mata Atlântica. Dos três índices estudados nesta pesquisa, o que apresentou um melhor comportamento para a identificação de mudanças foi o índice PVR (GREEN - RED/GREEN + RED), que utiliza as bandas do Vermelho e do Verde. Este índice demonstrou um alto nível de resposta à detecção de mudanças tanto em áreas florestadas, quanto em áreas verdes em geral. Como o foco da presente pesquisa eram as áreas florestadas, as demais áreas verdes detectadas foram consideradas como erros de comissão.

Ressalta-se que os índices apresentaram melhor resposta em áreas com maior luminosidade, independentemente do tipo de relevo. Quanto a erros de omissão, pelo menos nas áreas pré-definidas como mudança pelo Projeto Olho no Verde, não foi registrado nenhum caso. Além disso, o método foi capaz de identificar áreas que sofreram supressão florestal que não tinham sido devidamente identificadas previamente no Projeto Olho no Verde, o que reforça a utilidade da aplicação desta metodologia.

Mesmo o índice PVR se mostrando eficaz, é notória a presença de uma grande quantidade de ruídos, assim como também nas imagens geradas através dos índices GLI e PPR. Para eliminação desses ruídos deve-se estudar a aplicação de filtros.

Comprova-se que é possível ser aplicado métodos que utilizem apenas bandas do espectro visível para análise de detecção de mudanças em áreas florestadas. Com isso, espera-se que o método possa ser aplicado em imagens de alta resolução de diferentes satélites para comprovação da eficácia do mesmo e, assim, ser utilizado no monitoramento em escala de detalhe, auxiliando no monitoramento ambiental.

#### **5. Agradecimentos**

Os autores agradecem à PIBIC-UFRJ, ao CNPQ e à CAPES pela oportunidade de bolsas que geraram esta pesquisa, e também ao Projeto Olho no Verde, uma parceria entre o Instituto Estadual do Ambiente e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, que foi importante obtenção de fonte de dados para a pesquisa.

#### **6. Referências**

AMARAL, F.G., CRUZ, C.B.M., CARDOSO, A.B.T. (2021). Descritores dinâmicos espectrais e

Classificação por abordagem híbrida para estudos de Detecção de Mudanças. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.2, n.1. 026-041 (2021).

COPPIN, Pol; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International journal of remote sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.

DOBSON, M. Craig; ULABY; FAWWAZ T.; PIERCE, Leland E. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. **Remote sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 199-214, 1995.

Dong, P. & Chen, Q. (2018). **LiDAR remote sensing and applications**. Boca Raton: Taylor & Francis.

EMBRAPA. Sensoriamento Remoto - Capítulo 4. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103388/1/Cap.-4.pdf>>. Acesso em 11/2019.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2007.

FORSTER, B.C. An examination of some problems and solutions in urban monitoring from satellite platforms. **International Journal of Remote Sensing**, 6(1): pp.139-151, 1985.

FRANÇA, A. F. de; TAVARES-JÚNIOR, J. R.; MOREIRA-FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa Olho D'Água, em Jaboatão dos Guararapes – PE. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**. Anais... Recife – PE, 06 a 09 de maio de 2012, p. 001-009.

Goodchild, M. F. e Quattrochi, D. A. Scale, multiscaling, remote sensing and GIS. **Scale in Remote Sensing and GIS**, Lewis Pub, CRC Press, Boca Raton, 1997.

INEA. **Instituto Estadual do Ambiente**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/olho-no-verde/>> Acesso em: 11/2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

Khorram, S., Van der Wiele, C. F., Koch, F. H. Nelson, S. A. C., & Potts, M. D. (2016). **Principles of applied remote sensing**. Cham: SPRINGER.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M.F; MAGUIRE D.J; RHIND D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. Ed. Porto Alegre, Bookman, 540p. 2013.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1987. 721p.

LU D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, pp. 2365-2407, 2004.

MENESES, P R; ALMEIDA, T DE. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 11/2019.

MENEZES, P. M. L.; NETO, A. L. C. **Escala: estudo de conceitos e aplicações**. 1999.

MENKE, Aline Brignol; CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; MARTINS, Éder de Souza; OLIVEIRA, Sandro Nunes de. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA-Brasil). **Soc. nat. (Online)**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 315-326, Dec. 2009.

RIBEIRO, Renata M.; SILVEIRA, Marco Aurélio T. Planejamento Urbano, lazer e turismo: os Parques Públicos em Curitiba-PR. **Turismo-Visão e Ação**, v. 8, n.2, p. 309-321, 2006.

SANTOS, Rozely F dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. 184p. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN, v. 355771044, 2004.

SINGH, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International journal of remote sensing**, 10(6), 989-1003.