

Monitoramento de áreas de preservação permanente (APP) interceptadas pela ferrovia norte-sul em um trecho do estado de Goiás/Brasil, por meio de dados de sensoriamento remoto

RESUMO

As Áreas de Preservação Permanente (APP) possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. As diversas intervenções antrópicas nestes ecossistemas sensíveis devem ser controladas e mitigadas com vistas à manutenção dos fluxos de água das nascentes e dos refúgios da fauna e da flora. Uma forma de controle e monitoramento é a análise da evolução dos ecossistemas que foram impactados pela instalação de uma estrada de ferro. Nesse trabalho foram selecionadas sete áreas de APP no estado de Goiás, interceptadas pela ferrovia Norte-Sul. As áreas foram monitoradas durante a instalação da ferrovia por meio da obtenção de imagens do satélite Libra adquiridas pelo sensor Landsat OLI em uma série temporal - 2013 (antes das obras), 2015 (durante as obras) e 2018 (finalização das obras) onde foi aplicado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) com o objetivo de quantificar a perda ou o ganho de vegetação. Como resultado, observou-se que de fato a instalação de uma ferrovia no auge de suas obras causa a perda de vegetação em APP, porém, com a finalização das obras observa-se também uma regeneração vegetal nessas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas de Preservação Permanente. Geoprocessamento. Sensoriamento Remoto. Ferrovia. Perda de vegetação. NDVI.

Paula Durante Tagliari
paulinha.durante@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6805-9875
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

Gustavo Macedo de Mello Baptista
gmbaptista@unb.br
orcid.org/0000-0002-1973-2725
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

INTRODUÇÃO

Área de Preservação Permanente, segundo o Código Florestal de 2012 (BRASIL, 2012), compreende: “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

As matas ciliares ou áreas de preservação permanentes, portanto, são formações naturais ao longo das margens de corpos hídricos, com papel fundamental na mitigação de assoreamento, bem como da degradação ambiental (DA SILVA et al., 2014). Suas funções hidrológicas e ecológicas promovem a qualidade e a regularização da água, bem como auxiliam na conservação da biodiversidade.

Quando a atividade antrópica provoca alterações no curso d’água, ocorre diminuição de vazão e da qualidade da água, comprometendo áreas de recarga de lençol freático, reabastecimento e produção de água. (MARMONTEL; RODRIGUES, 2018).

Dessa forma, e considerando ainda a escassez de água já sentida em várias regiões do mundo, a preservação dos recursos hídricos tem assumido caráter prioritário (SANTOS, 2016).

Com semelhante importância, mas pelo viés do desenvolvimento, a expansão de atividades econômicas demanda a implantação de sistema viário capaz de dar sustentação ao transporte de máquinas, insumos, produção e pessoal.

Decorrente disso, há necessidade de interferência direta no ambiente, muitas vezes afetando o meio, em especial áreas sensíveis, como as de preservação permanente.

Com a implantação de estradas, atividade de alto grau de impacto, muitas vezes cria-se alterações dos sistemas ambientais que devem ser controlados e mitigados a fim de preservar ao máximo os ecossistemas.

Neste estudo trataremos da instalação da Ferrovia Norte-Sul (FNS), especialmente em um dos lotes do trecho compreendido entre os municípios de Ouro Verde de Goiás/GO e Estrela D’Oeste/SP, onde a construção gerou impactos às APPs, incluindo veredas e demais áreas úmidas, alterando a paisagem natural da região.

Apesar desta ocorrência, com o passar dos anos e a estabilização do ambiente, espera-se que haja a regeneração de algumas áreas, incluindo o retorno da fauna aos ecossistemas. Supõe-se assim, que apesar da sensibilidade das veredas e APPs, elas são intrinsecamente resilientes.

Para monitorar a evolução das condições da vegetação natural buscou-se imagens de satélite anteriores à instalação da ferrovia e imagens adquiridas após cinco anos de obras, na fase final da construção. Nessas imagens foi aplicado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), com o objetivo de verificar a perda ou o ganho de vegetação.

Portanto, neste trabalho temos como objetivo apresentar, por meio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com a utilização de imagens de satélite e observações *in loco*, a condição da vegetação natural e

alterada em área de preservação permanente, especialmente em áreas úmidas e veredas que sofreram impactos com a construção de um trecho da Ferrovia Norte-Sul (FNS).

REFERENCIAL TEÓRICO

Na natureza, a permanência dos recursos hídricos, em termos de regime de vazão, quantidade e qualidade da água que emana das bacias hidrográficas, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem, os quais constituem os serviços proporcionados pelo ecossistema (LIMA, 2008).

Um dos principais mecanismos é a íntima relação existente entre a floresta e a água na bacia hidrográfica, principalmente na escala da microbacia, em regiões de cabeceiras de drenagens, onde estão as nascentes dos rios. A relação natural de equilíbrio entre esses dois recursos naturais (água e floresta) vem sendo constantemente alterada pelo homem por meio de várias ações, como desmatamento, expansão da agricultura, abertura de estradas, urbanização e inúmeros outros processos de transformação dos ecossistemas, os quais alteram os ciclos biogeoquímico e hidrológico e as interações ecológicas (PINTO et al., 2005).

Santos (2016) destaca ser evidente que um cenário de seca como o atual leva ao racionamento e gestão da escassez. O problema é o seu agravamento pela falta de medidas preventivas de resiliência, que permitam reduzir os impactos. Neste sentido, com o acompanhamento da construção da Ferrovia Norte-Sul, observou-se em alguns trechos desse empreendimento geração de impactos em áreas ambientalmente sensíveis, como as áreas de preservação permanente e as veredas ou várzeas.

A atividade de construção ferroviária é considerada de alto impacto ao meio ambiente necessitando passar por processo ordinário de licenciamento ambiental, inclusive com elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (BRASIL, 1997). O EIA da FNS, apresentou os potenciais impactos que a ferrovia poderia gerar, associados à implantação e operação do empreendimento, baseando-se na literatura especializada em impactos ambientais de projetos de infraestrutura.

Foram consideradas oito atividades centrais associadas à fase de Implantação da Ferrovia (VALEC, 2009): operação de máquinas e equipamentos; terraplanagem, empréstimos e bota-foras; exploração de materiais de construção; cortes e aterros, drenagem e obras de arte; abertura de caminhos de serviço; instalação e operação de alojamentos e canteiros de obras; desmatamento e limpeza do terreno e desapropriações.

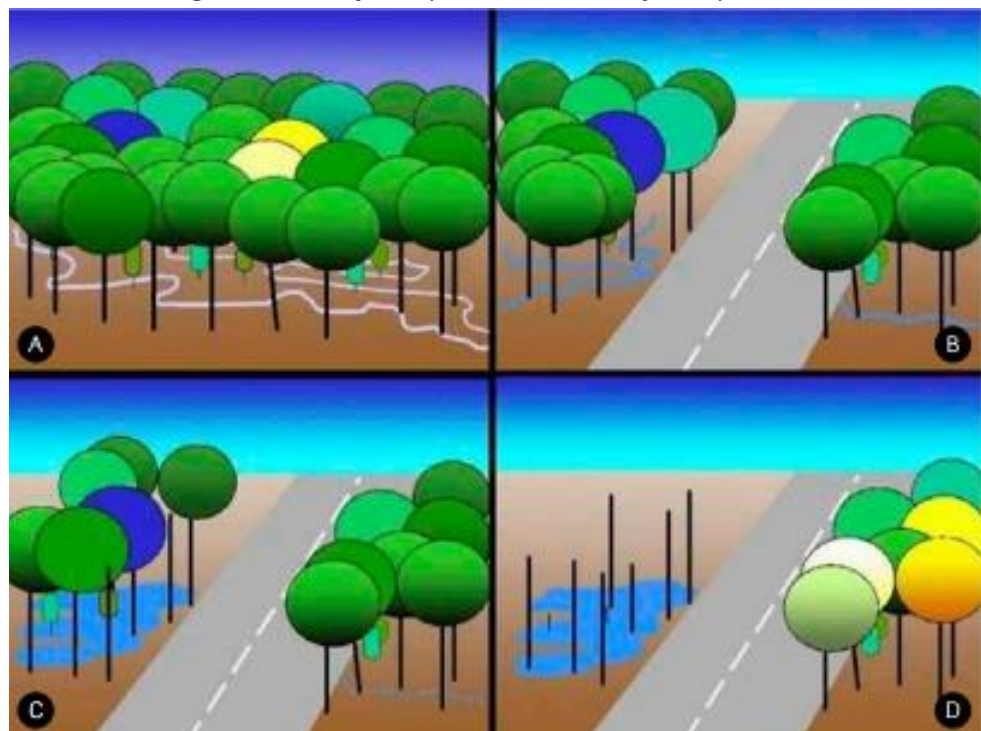
Para estas atividades foram presumidos impactos e dentre eles, os mais significativos para o tema abordado neste artigo são os alagamentos e represamentos, erosão, assoreamento, compactação dos solos, instabilidade estrutural (escorregamentos, deslizamentos) e contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas por esgotos, óleos, graxas e por acidentes envolvendo cargas perigosas (VALEC, 2009).

Qualquer alteração no ambiente que impeça o fluxo natural da água, como os exemplos citados acima, pode produzir impactos negativos no meio

socioambiental. No caso em tela, ocorrências como as provocadas pela construção de uma ferrovia, se não controladas e/ou mitigadas podem gerar um tipo de impacto negativo denominado “paliteiro”, que ocorre geralmente em trechos de floresta paludícola e buritizais, e se formam a partir do bloqueio de cursos d’água, que resulta no aumento do tempo de retenção da água e consequente morte das árvores.

Nem as espécies típicas de solos encharcados, como o buriti, sobrevivem nessas condições, pois elas são adaptadas à presença da água em movimento no solo. A água acumulada gera um ambiente pobre em oxigênio para as raízes, que pode ser fatal para a planta (Figura 1). (TIMOTHEO et al., 2016). A Figura 1 apresenta, no quadro A uma paisagem sem interferências com a água correndo naturalmente; no B, a instalação de uma rodovia dividindo o circuito natural da água; no C é ilustrada a inundação em um dos lados da rodovia e no quadro D, há formação de paliteiros.

Figura 1 – Ilustração esquemática da formação de paliteiros



Fonte: Timotheo et al. (2016).

Uma das causas desse barramento na construção da ferrovia é a prática de construção de passagens molhadas (obras de travessias em curso d’água, de natureza rodoviária consistindo na elevação do greide da estrada, sem acumulação de água) nos caminhos de serviço que se não bem mantidas causam o carreamento do solo exposto oriundo da obra e da passagem de máquinas e carros. Esta prática não só deve, como está sendo abolida das rotinas de construção da FNS a fim de promover cuidados mais adequados às APP e áreas úmidas em geral.

Para o monitoramento dos impactos, o sensoriamento remoto orbital tem-se tornado uma ferramenta importante pois proporciona melhor avaliação, manejo, gerenciamento e gestão dos recursos naturais como água, solo e vegetação (MARCUS et al., 2011). A obtenção de dados por sensoriamento remoto é baseada

na radiação eletromagnética que o alvo na superfície terrestre reflete ou emite. O comportamento espectral de cada alvo depende das suas características físicas, biológicas ou químicas (SOUZA et al., 2016).

O NDVI (ROUSE et al., 1973) é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde, sendo assim sensível à clorofila (HUETE et al., 2002) e, por sua vez, tem se tornado uma ferramenta de grande utilidade na caracterização da vegetação e de culturas agrícolas (MOREIRA & SHIMABUKURO, 2004). Além disso, imagens geradas por drones e outros satélites com alta resolução torna o acompanhamento das obras mais contínuo e eficaz.

MATERIAL E MÉTODOS

Sete áreas (denominadas pontos) foram monitoradas ao longo de cinco anos. Foram identificados impactos negativos à vegetação em áreas de buritizais e outras espécies arbóreas próximas à faixa de domínio da ferrovia Norte-Sul (Tabela 1).

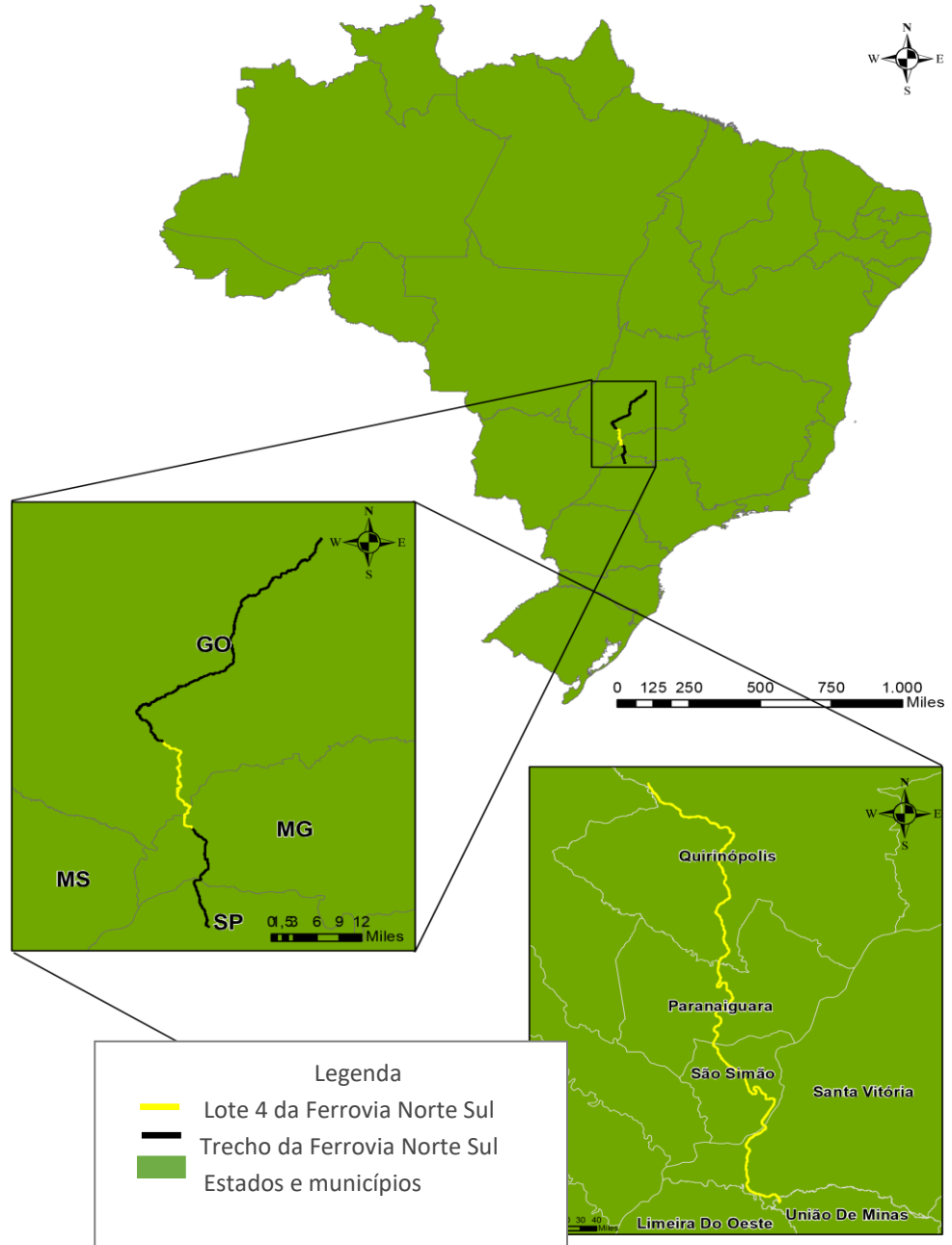
Tabela 1 – Quilometragem e coordenadas UTM de localização das áreas (pontos) analisadas ao longo do lote 4 da Ferrovia Norte-Sul

Pontos	Estaqueamento da ferrovia (km)	E (m)	N (m)
1	386,700	524.056	7.969.040
2	393,480	528.721	7.964.245
3	418,200	539.532	7.951.129
4	418,760	539.298	7.950.702
5	423,840	540.531	7.946.210
6	428,020	541.549	7.942.366
7	429,320	540.631	7.941.465

Fonte: Autoria própria (2018).

As áreas monitoradas indicadas na Tabela 1 são interceptadas pela Ferrovia Norte-Sul e estão contidas no lote de número 4, localizado no estado de Goiás, próximo ao município de São Simão (Figura 2).

Figura 2 – Ferrovia Norte-Sul (EF-151). Trecho entre Ouro Verde de Goiás e Estrela d’Oeste com aproximadamente 684 km de extensão



Fonte: Autoria própria (2018).

Para as áreas apresentadas na Tabela 1, foram realizadas mensalmente, entre os anos de 2015 e 2018, visitas de campo para monitoramento e registro in loco, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Observação de impactos em APP registrados no lote 4S da FNS (continua)






















Pontos	Registros Fotográficos		
	2015	2016	2017
1			
2			
3			
4			
5			

Tabela 2 – Observação de impactos em APP registrados no lote 4S da FNS (continuação)

Pontos	Registros Fotográficos		
	2015	2016	2017
6			
7			

Fonte: Autoria própria (2018).

Além disso, foram obtidas imagens dos seguintes satélites para comparação temporal das áreas ao longo da construção da ferrovia: Quickbird; Worldview-1; Worldview-2; Worldview-3; Geoeye-1. Foram obtidas imagens com excelentes resoluções para observação e demarcação das áreas impactadas. Por meio do *ArcGIS 10.5*, as imagens foram georreferenciadas e demarcadas conforme Figura 3. As características destes satélites são apresentadas na Tabela 3.

Foram realizadas também a extração e processamento de imagens para análise de parâmetros biofísicos com dados de sensoriamento remoto, com aplicação de índice de vegetação. As cenas que proporcionaram a obtenção de imagens com todas as bandas são as do satélite Libra por meio de acesso à sua própria base de dados disponibilizado pelo portal: <https://libra.developmentseed.org/>. Essas imagens são abertas e foram simuladas pelo sensor Landsat OLI presente no próprio *software* livre.

De acordo com *ENVI 4.2* o sensor Landsat OLI permite gerar imagens multiespectrais de 30 metros. Com órbita circular, altitude de 705 Km; as bandas do sensor são pancromáticas P&B: Banda 8; multiespectral: bandas 1-7 e 9 e termal: bandas 10-11. Tratando-se da sensibilidade espectral: pancromático: 500-680 nm (Banda 8); multiespectral: 430-450 nm (Banda 1), 450-510 nm (Banda 2), 530-590nm (Banda 3), 640-690 nm (Banda 4 Vermelho), 850-880 nm (Banda 5 Infravermelho próximo), 1570-1650 nm (Banda 6 SWIR1), 2110-2290 nm (Banda 7 SWIR2), 1360-1380 nm (Banda 9 Cirrus); e termal: 10600-11190 nm (Banda 10 TIRS1), 11500-12510 nm (Banda 11 TIRS2). Sua resolução radiométrica é de 16 bits por píxel (<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>).

Tabela 3 – Características gerais dos sensores utilizados para busca das imagens dos pontos apresentados na Tabela 2

Características	Sistema Sensor				
	Quickbird	WorldView 1	WorldView 2	WorldView3	GeoEye 1
Ano de lançamento	2011	2007	2009	2014	2008
Resolução radiométrica (bits/pixel)	11	11	11	11	11
Acurácia (CE90, m)	2,3	4	3,5	3,5	3,5
Resolução banda PAN (m)	0,55	0,50	0,46	0,31	0,41
Resolução da banda multiespectral (m)	2,44	N/A	1,85	1,24	1,65
Largura da faixa (m)	14,9	17,7	16,4	13,1	15,3
Taxa de revisita (dias)	2,4	1,7	1,1	<1	1,1

Fonte: Autoria própria (2018).

As imagens Libra foram utilizadas para coletar dados sobre a vegetação, solos, humidade e rios além de dados para correção atmosférica (absorção e distorção). Nessas imagens foi calculado automaticamente o NDVI pelo próprio *software* com base na Equação 1:

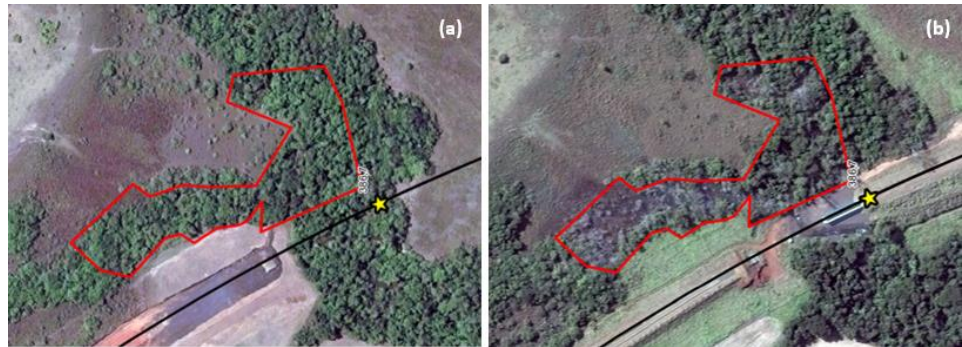
$$\text{NDVI} = \frac{\text{Infra Vermelho} - \text{Vermelho}}{\text{Infra Vermelho} + \text{Vermelho}} \quad (1)$$

A fórmula da equação acima é realizada em cada pixel, respectivamente nas bandas dos canais vermelho e infravermelho próximo, resultando em valores entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior é a atividade vegetativa no local representado pelo pixel. Valores negativos representam presença de corpos hídricos e quanto mais próximo de 0 indicam edificações ou solo exposto, ou seja, representa áreas com pouca ou nenhuma atividade clorofiliana.

RESULTADOS

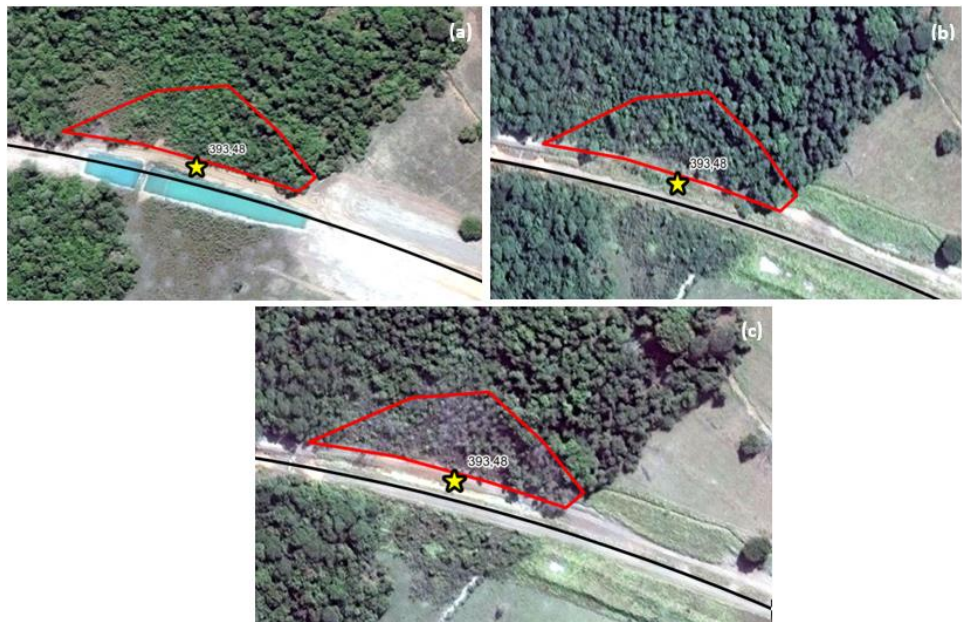
As áreas da Tabela 1 foram monitoradas por imagens de satélites descritos na Tabela 3 e demarcadas por meio da ferramenta *ArcGis 10.5* (Figuras 3 a 9 - os polígonos em vermelho são as áreas que sofreram impactos ao longo do tempo; a linha preta representa a ferrovia e a estrela amarela o ponto de identificação in loco). A comparação das imagens evidencia o início do impacto ambiental com a presença de paliteiros e/ou áreas úmidas expostas com vegetação morta. Observa-se a evolução do impacto e, em anos mais recentes, a regeneração da área denominada “ponto 6”, Km 428,020 - coordenadas UTM E: 541549 e N: 7.942.366.

Figura 3 – Evolução do impacto na área 1, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013 e b) 2017



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 4 – Evolução do impacto na área 2, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013, b) 2016 e c) 2017



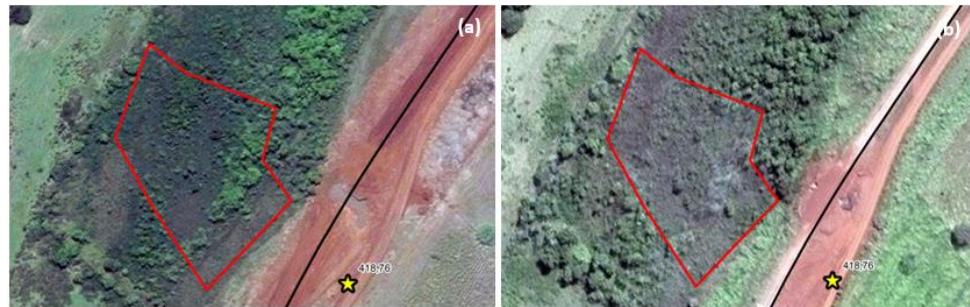
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 5 – Evolução do impacto na área 3, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013 e b) 2017



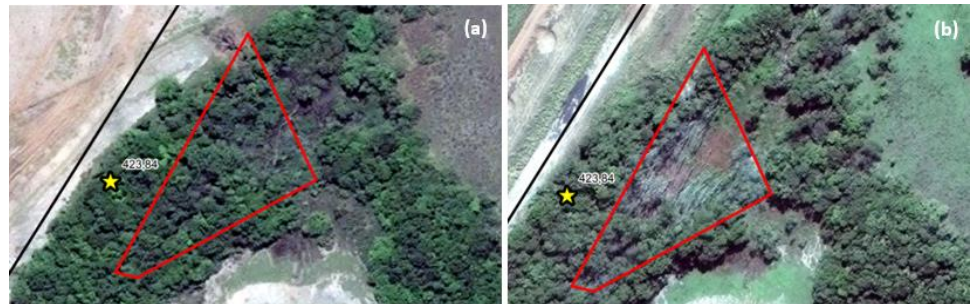
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 6 – Evolução do impacto na área 4, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013 e b) 2017



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 7 – Evolução do impacto na área 5, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a). 2013 e b). 2017



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 8 – Evolução do impacto na área 6, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013 e b) 2017



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 9 – Evolução do impacto na área 7, em períodos diferentes da instalação da ferrovia: a) 2013 e b) 2017



Fonte: Autoria própria (2018).

Para complementar a análise visual, que pode ser subjetiva, foi necessário representar matematicamente a evolução da vegetação nos pontos abordados.

Para isso, buscou-se imagens com todas as bandas disponíveis para realizar o cálculo do NDVI nas áreas estudadas. Foram utilizadas imagens do satélite Libra simuladas pelo sensor Landsat OLI e, utilizando o *ENVI 4.2* foi realizado o processamento destas imagens utilizando as bandas 5 e 4 para geração do Índice de Vegetação. Foram processadas imagens dos pontos de interesse, inicialmente demarcados, nos anos 2013, 2015 e 2018.

Para cada área houve uma contagem diferente de pixels por se tratar de áreas diferentes (Tabela 4). A banda 5 foi utilizada em todas as áreas para o cálculo do NDVI. O programa processou o mínimo e o máximo de densidade de vegetação existente em cada área nos diferentes anos avaliados e calculou sua média e desvio padrão (Tabela 5).

Tabela 4 – Contagem de pixels para cada área

Área	Contagem de Pixels
1	35
2	27
3	17
4	13
5	10
6	10
7	12

Fonte: Autoria própria (2018).

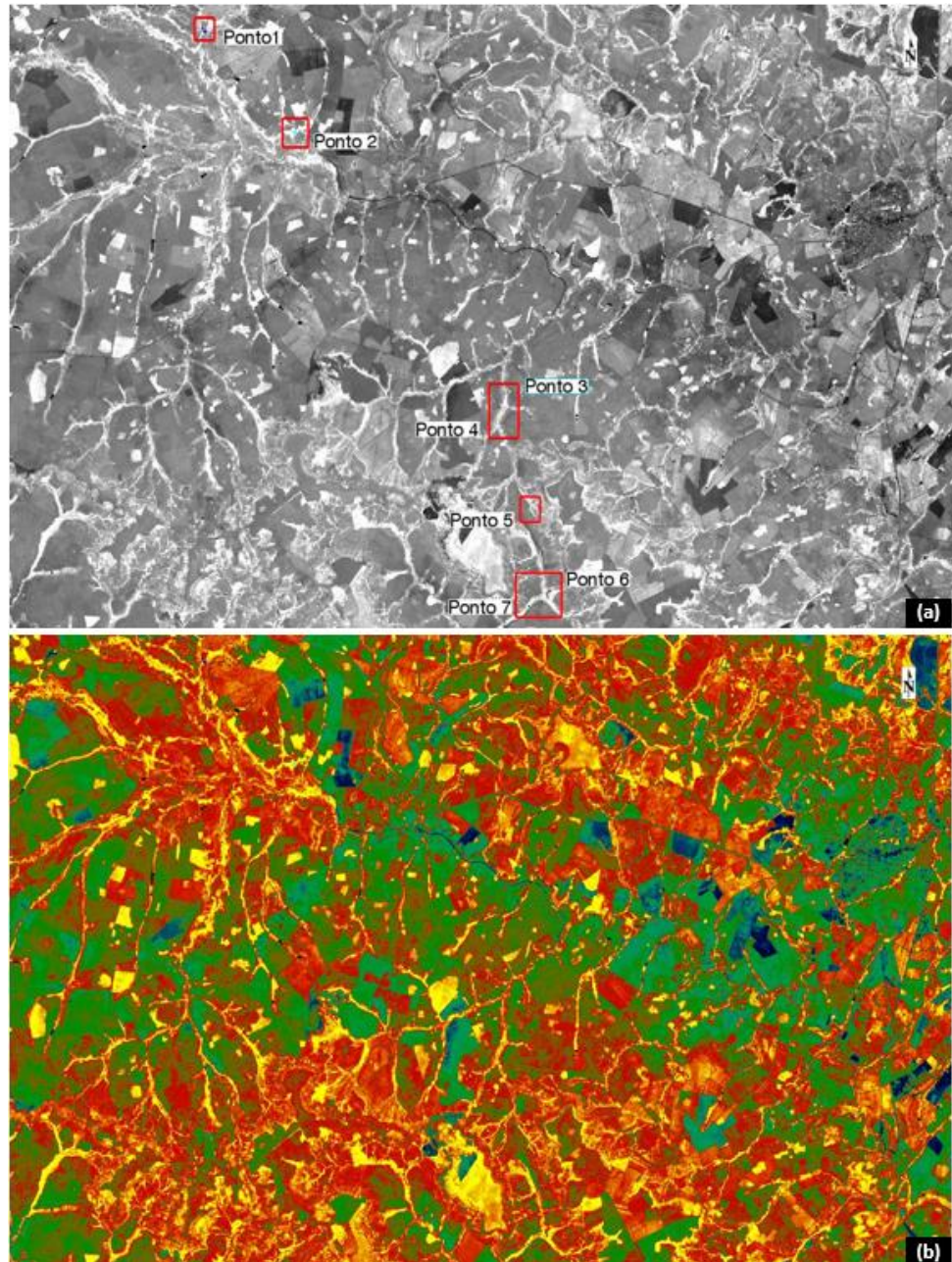
Tabela 5 – Valor aproximado do índice de vegetação entre os anos de 2013 a 2018 das áreas estudadas

Área	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
1	2013	0,21	0,35	0,28	0,04
	2015	0,15	0,34	0,27	0,04
	2018	0,10	0,30	0,23	0,04
2	2013	0,24	0,41	0,35	0,06
	2015	0,16	0,35	0,27	0,05
	2018	0,17	0,35	0,28	0,04
3	2013	0,15	0,36	0,29	0,05
	2015	0,12	0,31	0,22	0,06
	2018	0,11	0,30	0,22	0,05
4	2013	0,26	0,32	0,30	0,02
	2015	0,21	0,39	0,31	0,04
	2018	0,11	0,35	0,25	0,06
5	2013	0,25	0,39	0,35	0,04
	2015	0,23	0,36	0,29	0,04
	2018	0,22	0,31	0,26	0,03
6	2013	0,17	0,33	0,29	0,06
	2015	0,12	0,34	0,22	0,08
	2018	0,20	0,39	0,30	0,05
7	2013	0,35	0,41	0,39	0,01
	2015	0,19	0,40	0,28	0,08
	2018	0,19	0,37	0,32	0,04

Fonte: Autoria própria (2017).

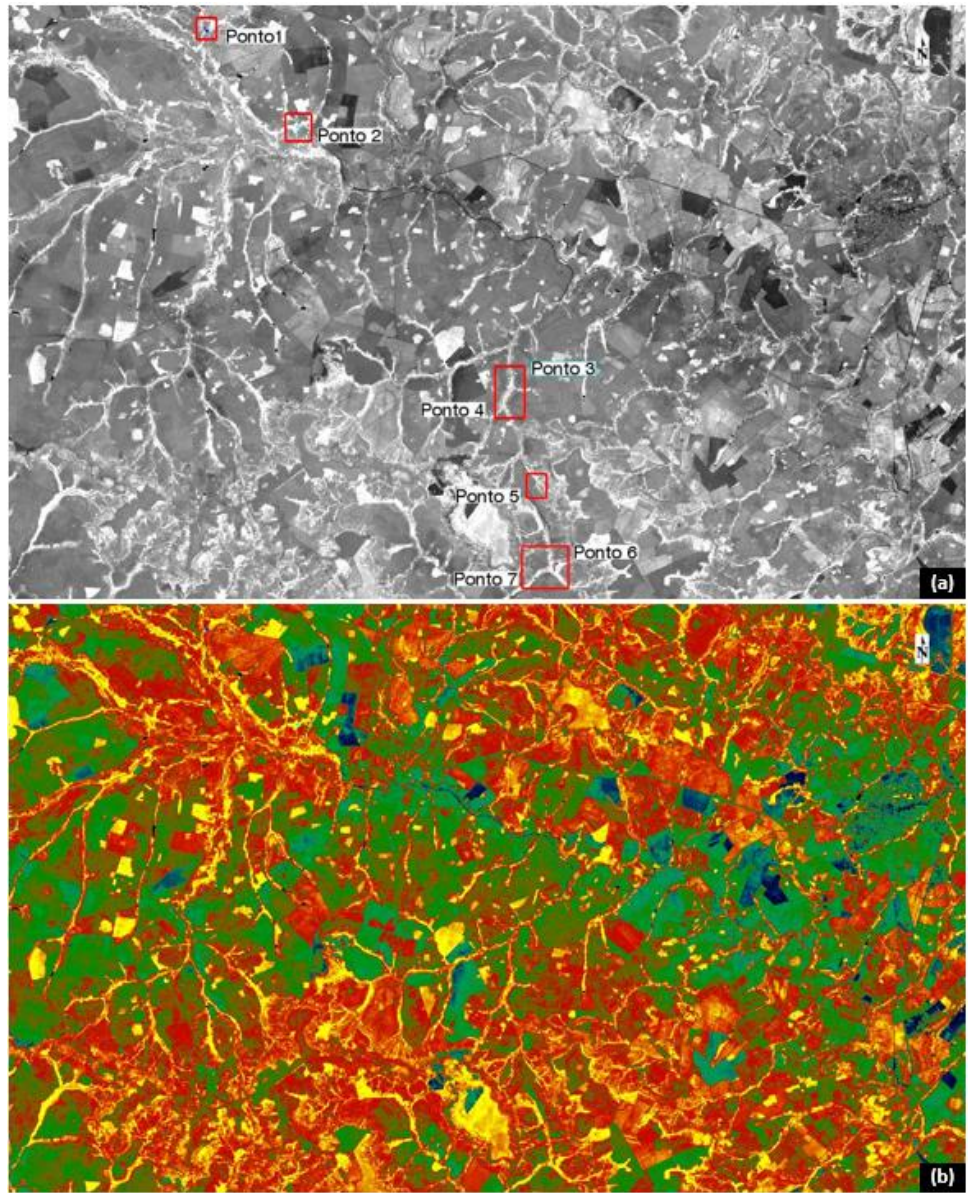
As imagens geradas, inicialmente numa escala de cinza e, posteriormente, num gradiente de cores nas quais há variação do preto ao amarelo que indica a concentração de vegetação por pixel, onde o preto representa uma menor concentração e o amarelo uma maior concentração de vegetação (Figuras 10; 11 e 12).

Figura 10– Distribuição das áreas monitoradas (1 a 7) em imagem de 2013 com escala de cores cinza (a) e em um gradiente de cores (b)



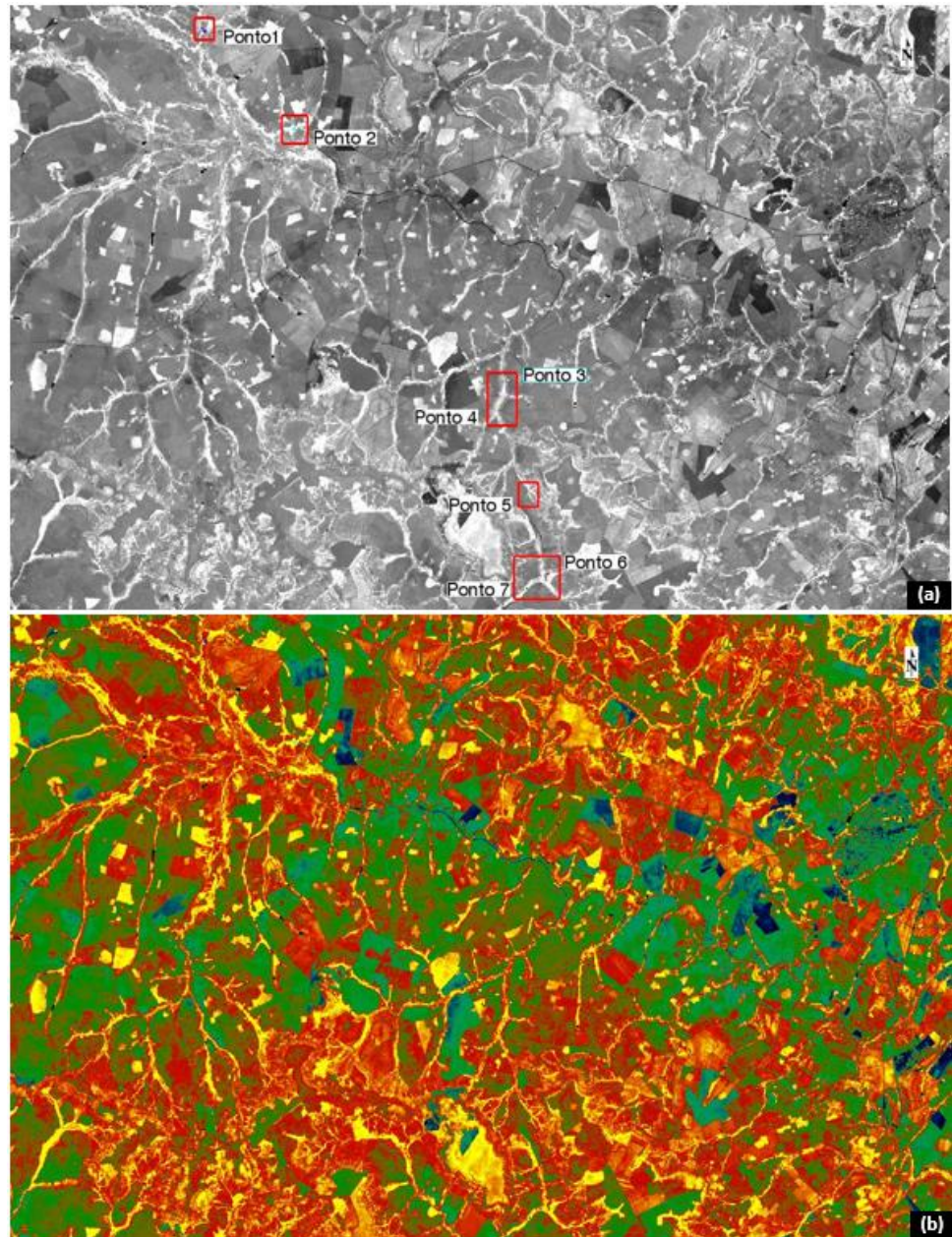
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura11 – Distribuição das áreas monitoradas (pontos 1 ao 7) em imagem de 2015 com escala de cores cinza (a) e em um gradiente de cores (b)



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 12– Distribuição das áreas monitoradas (pontos 1 ao 7) em imagem de 2018 com escala de cores cinza (a) e em um gradiente de cores (b)



Fonte: Autoria própria (2018).

DISCUSSÃO

Esse estudo teve como objetivo compreender a importância da resolução espacial e espectral em conjuntos de dados de vegetação e a agregação de dados de vegetação em diferentes áreas que foram interceptadas pela instalação de um trecho da Ferrovia Norte-Sul.

Portanto, a utilização do NDVI se deu para demonstrar o status da vegetação nas 7 áreas selecionadas a fim de buscar uma validação sobre a avaliação visual.

Observou-se que, com a demarcação das áreas de interesse nas imagens de satélites apresentadas nas Figuras de 3 a 9, por meio de monitoramento visual, nos

pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 7 houve perda de vegetação. Já o ponto 6 apresenta o contrário, uma regeneração da vegetação. O processamento das imagens Libra com a aplicação do NDVI por meio do programa *ENVI 4.2*, apresenta a mesma situação com índice de densidade de vegetação mínimo de aproximadamente 0,17 em 2013, 0,12 em 2015 e 0,20 em 2018 para o ponto 6 e, uma redução no valor para os demais pontos sendo o ponto 1 o que teve a maior queda no ano de 2018, corroborando com o resultado visual de recuperação e perda de vegetação, respectivamente.

Vários artigos foram estudados e, apesar de não encontrar algum que tratasse exatamente sobre a interferência de uma ferrovia em APP, observou-se que o NDVI é um índice amplamente utilizado para avaliação e monitoramento da vegetação em diversas abordagens socioambientais (CARVALHO, BAPTISTA, 2015; DU et al., 2017; PANG et al., 2017; HOAGLAND et al., 2018; LI et al., 2018; MADONSELA et al., 2018; REID et al., 2018).

Zhou et al. (2017) utilizou a aplicação do NVDI para medir a atividade clorofiliana na cobertura do dossel, avaliando a dinâmica da vegetação induzida pelo homem. Já Gillespie et al. (2018), utilizou o NDVI para monitorar mudanças em áreas protegidas na Califórnia/EUA. Em seu estudo foi observado a mudança de cobertura vegetal em diferentes sazonalidades e situações climáticas, observando um declínio acentuado do índice no período seco e uma significativa recuperação no inverno.

As atividades humanas bem como as mudanças climáticas afetaram o meio ambiente nas últimas décadas em Mu Us Sandy no norte da China. Li et al. (2017), investigou a mudança do ambiente ecológico do solo com base em uma análise combinada de cobertura da terra e tendências de mudança do NDVI. Os resultados mostraram que a cobertura da terra mudou moderadamente durante os anos de 1990 e 2010. Ele sugere, portanto, que o desenvolvimento urbano e a exploração de carvão naquela região devem considerar integralmente a capacidade de suporte dos recursos hídricos e terrestres.

Assim como na China, talvez ainda mais, a necessidade de incremento na infraestrutura brasileira é de fato relevante e deve ser planejada considerando os aspectos de suporte e manutenção ambiental. Observou-se que o comportamento dos índices de vegetação estabelecido para o período 2013-2018 nas áreas estudadas é fortemente controlado pela evolução da obra da ferrovia no lote 4.

A aplicação do NDVI é uma ferramenta amplamente utilizada para monitoramento da vegetação auxiliando na tomada de decisões de forma mais ágil e segura. No caso em tela, as imagens obtidas e a aplicação deste Índice proporcionaram a verificação da perda de vegetação nas áreas selecionadas e indicaram uma possível causa para tanto.

Apesar desta ocorrência, com o passar dos anos e a estabilização das áreas observou-se, portanto, uma evolução do ambiente para uma regeneração vegetal das APPs, incluindo o retorno da fauna nestes ecossistemas.

Observou-se portanto que o monitoramento de áreas de preservação permanentes em situação onde há uma ação antrópica, como no caso do presente estudo, uma ferrovia, seja por observações in loco, seja por imagens de drones e satélites é fundamental tanto para promover programas de mitigação do impacto

como para planejar a recuperação dessas áreas por meio de plantios compensatórios.

CONCLUSÃO

Esse trabalho demonstrou nas sete áreas selecionadas, sendo todas de preservação permanente, que é possível realizar o monitoramento da preservação e recuperação de APP ao longo da construção de grandes empreendimentos promovendo a formação de corredores verdes que garantirão no futuro uma melhoria na qualidade e quantidade de água bem como a criação de ambientes propícios ao desenvolvimento da biodiversidade nas regiões brasileiras.

Observa-se que, com o método e os resultados encontrados nesse estudo, o mapeamento das áreas de preservação permanente interceptadas pela Ferrovia e seu efetivo acompanhamento resultam em maior segurança para a conservação e recuperação das APPs, incluindo o subsistema vereda e demais áreas úmidas de relevante interesse ecológico e ambiental.

O NDVI e as imagens espaciais são internacionalmente utilizados e se mostraram apropriados para identificar padrões paisagísticos e séries temporais para a vegetação de áreas protegidas com o objetivo de monitorá-las para geração de informações para planejamento, gerenciamento e tomada de decisões.

Monitoring of permanent preservation area, crossed by norte-sul railroad in one stretch in Goiás/Brazil by means remote sensing data

ABSTRACT

The permanent preservation areas (APP in Portuguese) have the environmental function of preserving water resources, landscape, geological stability and biodiversity, facilitating the genetic flow of fauna and flora, protect the soil and ensuring the well-being of human populations. Anthropogenic interventions in these areas are diverse and, if not mitigated and controlled, may jeopardize the preservation of these sensitive ecosystems, damaging the flow of water from the springs and the refuges of fauna and flora. One of the ways of controlling and monitoring these environments is with the analysis of the evolution over time of these ecosystems that were impacted by the railway. In this work, seven APP points intercepted by the Norte-Sul Railroad in the state of Goiás were selected. These areas were monitored during the installation of this railroad, among others, by obtaining images of the Libra satellite simulated by the Landsat OLI sensor in a time series - 2013 (before construction), 2015 (during construction) and 2018 (after construction) where the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) it was applied in order to verify the loss or gain of vegetation. As a result, it was observed that in fact the installation of a railroad at the peak of its works causes the loss of vegetation in APP, but with the completion of the works a vegetal regeneration is also observed in these areas.

KEYWORDS: Permanent Preservation Areas. Geoprocessing. Remote sensing. Railroad. Loss of vegetation. NDVI.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília (UnB) e à Empresa VALEC, Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28/05/2013.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22/12/1997.

CARVALHO A., BAPTISTA G. M. M. Influência da correção atmosférica na conversão dos dados de radiância para reflectância para o Cálculo do EVI em imagem RAPIDEYE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.67, n. 7, p. 1371-1390, 2015.

DA SILVA, L. N.; SOUZA-LEAL, T., BORIN, L.; CAVALCANTE, V. R.; ROSSETTO, L.; PASCOTTI, D. P.; DE MORAES, C. P. Nascentes, áreas de preservação permanentes e restauração florestal: histórico da degradação e conservação no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 747-760, 2014. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2014v7n3p%25p>

DU, J., HE, P., FANG, S., LIU, W., YUAN, X., YIN, J. Autumn NDVI contributes more and more to vegetation improvement in the growing season across the Tibetan Plateau. **International Journal of Digital Earth**, v. 10, n. 11, p. 1098-1117, 2017. <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1282547>

GILLESPIE, T. W., OSTERMANN-KELM, S., DONG, C., WILLIS, K. S., OKIN, G. S., MACDONALD, G. M. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. **Ecological Indicators**. p. 485-494. 2018.

HOAGLAND, S. J., BEIER, P., LEE, D. Using MODIS NDVI phenoclasses and phenoclusters to characterize wildlife habitat: Mexican spotted owl as a case study. **Forest Ecology and Management**, v. 412, p. 80–93, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.017>

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of**

Environment, v. 83, n. 1-2, p. 195-213. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

LI, L., VRIELING, A., SKIDMORE, A., WANG, T., TURAK, E. Monitoring the dynamics of surface water fraction from MODIS time series in a Mediterranean environment. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 66, p. 135-145, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.11.007>

LI, Y., CAO, Z., LONG, H., LIU, Y., LI, W. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urbanerural development: The case of Mu Us Sandy Land, China. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 697-715, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.011>

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ; 2008. 245 p.

MADONSELA, S., CHO, M. A., RAMOELO, A., MUTANGA, O., NAIDOO, L. Estimating tree species diversity in the savannah using NDVI and woody canopy cover. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 66, p. 106-115. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.11.005>

MARCUS, V. C., BEZERRA, B. B., DA SILVA, B. G. B. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p.709–717, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700009>

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082014>

MOREIRA, M. A., SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. **Ferreira, NJ (cor.) Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIRO-N**. São Paulo: Oficina de Textos, p.79-101, 2004.

PANG, G., WANG, X., YANG, M. Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. **Quaternary International**. v. 444, p. 87-96, 2017.

PINTO L. V. A., FERREIRA, E., BOTELHO, A. S., DAVIDE, A. C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, v. 11, n. 1, p.49-60, 2005.

REID, C. E., KUBZANSKY, L. D., LI, J., SHMOOL, J. L., CLOUGHERTY, J. E. It's not easy assessing greenness: A comparison of NDVI datasets and neighborhood types and their associations with self-rated health in New York City. **Health and Place**, p. 92-101, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.09.005>

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. **Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration**, 1973. 371p.

SANTOS, J. C. **Análise da cobertura da terra da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria, no município de Palmas/TO, com ênfase nas Áreas de Preservação Permanentes marginais**. Dissertação (mestrado Profissional) – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas – Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016. 78 p.

SOUZA, G.M., GURGEL, H.C; CIAMP, P.M. Análise sazonal da vegetação do cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia** (Online), v. 36, n. 3, p. 502-520, 2016.

TIMOTHEO, G., MOLINA, D., CAMPOS, M., BENINI, R., PADOVEZI, A. **Manual de Restauração da Vegetação Nativa, Alto Teles Pires, MT**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2016. 136p.

VALEC. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Ferrovia Norte-Sul (FNS)**, 2009. 716p.

ZHOU, X., YAMAGUCHI, Y., ARJASAKUSUMA, S. Distinguishing the vegetation dynamics induced by anthropogenic factors using vegetation optical depth and AVHRR NDVI: A cross-border study on the Mongolian Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 61, p. 730-743, 2017.

Recebido: 14 jan. 2019

Aprovado: 27 jul. 2020

DOI: 10.3895/rbgeo.v8n3.9345

Como citar: TAGLIARI, P. D.; BAPTISTA, G. M. M. Monitoramento de Áreas de Preservação Permanente (APP) interceptadas pela Ferrovia Norte Sul em um trecho do estado de Goiás/Brasil por meio de dados de sensoriamento remoto. **RBGeo. R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 181-201, jul/set. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Paula Durante Tagliari

Quadra SAUS Quadra 1, CEP 70070-010, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

