

Uso do NDVI como ferramenta de monitoramento de planos de manejo florestal sustentável em pequena escala no Amazonas

Aída Caroline Pereira Lins¹; André Luiz Alencar de Mendonça²; Filipe Campos de Freitas³

¹. Engenheira Florestal, Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia, Manaus, Amazonas. E-mail: aidaplins@gmail.com

². Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador na Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. E-mail: andremendonca@ufam.edu.br

³. Engenheiro Florestal, Me., Engenheiro Florestal no Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas. E-mail: filipe.freitas19@gmail.com

Resumo

O manejo florestal em pequena escala é uma fonte de renda para agricultores familiares no Amazonas em áreas de 500 ha ou quatro módulos fiscais. O presente estudo objetivou analisar o NDVI como ferramenta de análise da exploração florestal nessa categoria de manejo. Foram consideradas três áreas que tiveram exploração entre os anos de 2015 e 2020. Utilizaram-se imagens orbitais multiespectrais da Planet com resolução espacial de 4,77m e calculou-se o NDVI para seis imagens em cada área. Aplicou-se a Análise de Variância e teste de médias de Tukey. O NDVI geral médio foi de 0,855. Foi observada diferença significativa entre os índices ao longo do período analisado em cada área de manejo. É possível executar essa metodologia para o monitoramento prévio dos Planos de Manejo Florestal Sustentável em Pequena Escala no Amazonas.

Palavras-chave: manejo comunitário, pequeno produtor, Amazônia.

Introdução

O manejo florestal sustentável em pequena escala (MFSPE) é uma categoria de manejo existente no Amazonas que visa o licenciamento da produção madeireira no interior do estado em áreas com até 500 ha ou quatro módulos fiscais. Desde 2003, se apresenta como uma fonte de renda para agricultores familiares, representando uma boa opção para legalizar o abastecimento dos mercados locais com madeira de origem legal (VINHOTE et al., 2017). Nesse contexto, o governo do estado oferece assistência técnica gratuita na elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável em Pequena Escala (PMFSPE), sendo responsável por 80% dos planos elaborados para essa categoria (PINTO et al., 2011).

Um bom planejamento das atividades florestais passa pelo acompanhamento da dinâmica dos ecossistemas alvo do manejo, o qual, tradicionalmente, é realizado por meio de inventários florestais. Contudo, com o avanço da tecnologia do sensoriamento remoto, vários estudos têm sido realizados com o propósito de monitorar e mensurar os impactos de exploração florestal na Amazônia (LIRA et al., 2011; SILVA et al., 2019; BREUNING et al., 2019; LOCKS e MATRICARDI, 2019). A importância do uso das imagens de satélite é a possibilidade de revisita e o acesso a áreas remotas e de difícil acesso. Na Amazônia, o monitoramento do desmatamento vem sendo efetuado há décadas e a identificação da exploração seletiva pode ser realizada por meio do processamento digital de imagens orbitais de alta resolução.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um índice que considera a reflectância nos comprimentos de onda correspondentes ao infravermelho próximo e vermelho, sendo aplicado para identificar a presença de vegetação e visualizar o seu nível de vigor (PONZONI et al., 2015). Este é o índice de vegetação mais comumente empregado em estudos sobre vegetação que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida (RÊGO et al., 2012).

No MFSPE não é permitida a abertura de estradas, ramais, pátios de estocagem, assim como o uso de máquinas para arraste de toras. O beneficiamento da madeira deve ser feito dentro da floresta, sendo retiradas peças como pranchas ou pranchões. Com isso, o único impacto da exploração evidenciado nessa categoria de manejo é a derrubada das árvores, com respectiva abertura de clareira. Com isso, a análise dos impactos por imagens de satélite tende a ser mais dificultosa nessas situações.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica de variação do NDVI em três áreas de manejo florestal sustentável em pequena escala, com uso de imagens orbitais de alta resolução espacial, em que foi levantada a seguinte hipótese: há diferenças perceptíveis por meio da análise do índice de vegetação na cobertura vegetal entre os meses ao longo do tempo.

Ademais, espera-se avaliar o impacto da exploração em pequena escala e verificar a utilização dessa ferramenta para o monitoramento remoto dos planos de manejo.

Material e Métodos

Caracterização da área estudada

O presente trabalho foi realizado em 3 Áreas de Efetiva Exploração em Planos de Manejo Florestal Sustentável em Pequena Escala (PMFSPE), localizadas nos municípios de Iranduba e Novo Airão, Amazonas. As áreas são formadas por Floresta Ombrófila Densa de terras baixas (IBGE, 2012). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região corresponde ao Af, com temperatura média anual de 25,6°C, umidade relativa em torno de 85% com precipitação média anual de 2.300 mm (INMET, 2014). Os solos encontrados na região foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (2015), e estão agrupados no grupo dos Latossolos, Plintossolos e Gleissolos.

Para análise, foram consideradas para as três áreas: i) ter recebido assistência técnica gratuita na elaboração do Plano de Manejo; ii) vigência da licença de operação (L.O.) para a exploração florestal entre os anos de 2015 e 2020; iii) possuir relatório pós-exploratório realizado para comprovar as atividades descritas durante a vigência da L.O.; iv) disponibilidade de imagens de satélites a serem trabalhadas.

Aquisição de imagens e pré-processamento

Utilizou-se mosaicos multiespectrais Planet, que foram adquiridas no site <https://www.planet.com/>, com resolução espacial de 4,77 metros (Mosaicos de reflectância de superfície PlanetScope). Os mosaicos foram fornecidos de forma gratuita pela Norway's Internacional Climate and Forest Initiative (NICFI), um projeto de parceria da Planet e Noruega.

Para a aquisição das imagens, estabeleceu-se 3 intervalos temporais: o primeiro antes da liberação da licença de operação, o segundo durante o período de vigência da licença (2 anos), o terceiro após o vencimento da licença, visando acompanhar as possíveis mudanças que poderiam ocorrer ao longo dos anos na área manejada. Ao todo foram consideradas 6 imagens para cada área, com um intervalo de cerca de 6 meses (Tabela 1).

Tabela 1: Mês e ano de cada imagem adquirida para cálculo do NDVI nas áreas sob manejo florestal sustentável em pequena escala avaliadas.

Imagem	Período	Área 1	Área 2	Área 3
1	Antes da L.O.	12/2018	06/2016	06/2016
2		06/2019	12/2016	12/2016
3	Durante o período de vigência da L.O.	12/2019	06/2017	06/2017
4		06/2020	12/2017	12/2017
5		12/2020	06/2018	06/2018
6	Após vencimento da L.O.	06/2021	12/2018	12/2018

Para o processamento das imagens, foi utilizado o software QGIS 3.10.14. Iniciou-se com a criação de um buffer de 10 metros em relação a Área de Efetiva Exploração (AEE) de cada propriedade, dando uma margem de modo que os pixels da borda da área de interesse não fossem recortados. Em seguida, reprojetou-se todas as imagens para o mesmo Datum Sirgas 2000, UTM zona 20S, para que as informações geográficas fossem concordantes, assim como todos os arquivos shapefile utilizados neste trabalho.

Índice de vegetação

Calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1973), para cada imagem obtida. Este é o índice de vegetação mais comumente empregado em estudos sobre vegetação que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre -1 a +1.

Análise estatística

Para a análise estatística, utilizou-se os valores do NDVI extraídos dos pontos das árvores inventariadas em cada plano de manejo para cada uma das imagens selecionadas. Dessa forma, na área 1 foram utilizados 317 pontos, na área 2, 399 e na área 3, 405. Os dados foram exportados para planilhas no software Excel, organizados e submetidos a uma análise estatística descritiva, na qual calculou-se a média e o erro padrão. Em seguida, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) para se

avaliar se as médias de NDVI em cada imagem se diferem estatisticamente. Havendo diferença, foi procedido o teste de médias de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas ao nível de 95% de probabilidade.

Resultados e Discussão

A média do NDVI obtido para série temporal nas 3 áreas foi de 0,855. As médias e erros padrão para cada área nas diferentes épocas de análise são apresentadas na Tabela 2. A imagem 5 da Área 1 apresentou nuvens, dessa forma não foi utilizada para as análises estatística. Para as três áreas de estudo observou-se diferença significativa entre as médias de NDVI. Os valores desse índice variam de -1 a +1, onde números mais elevados correspondem a áreas de vegetação fotossinteticamente mais ativas, enquanto os valores inferiores representam áreas com baixa vegetação (SILVA et al., 2019), dessa forma, os valores calculados para as áreas indicam uma vegetação mais densa.

Tabela 2: Média (\pm erro) do NDVI nas coordenadas das árvores inventariadas.

	Imagem 1	Imagem 2	Imagem 3	Imagem 4	Imagem 5	Imagem 6
Área 1**	0,860 \pm 0,001 ^a	0,859 \pm 0,002 ^a	0,860 \pm 0,001 ^a	0,849 \pm 0,002 ^b	-	0,813 \pm 0,001 ^c
Área 2**	0,866 \pm 0,001 ^a	0,861 \pm 0,001 ^b	0,873 \pm 0,001 ^c	0,859 \pm 0,002 ^b	0,870 \pm 0,002 ^d	0,874 \pm 0,002 ^c
Área 3**	0,869 \pm 0,001 ^a	0,785 \pm 0,002 ^b	0,869 \pm 0,001 ^a	0,868 \pm 0,002 ^a	0,856 \pm 0,002 ^c	0,849 \pm 0,001 ^d

Legenda: **Diferença significativa com o valor de $p < 0,01$. Médias na mesma linha com letras iguais não se diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

As imagens utilizadas são uma mesclagem de 6 meses, podendo ou não conter as alterações ocorridas neste período e não se pode afirmar que algo ocorreu naquele mês específico (Tabela 1). Na área 1, as imagens 1, 2 e 3 não se diferem estatisticamente e ao verificar as médias obtidas, nota-se que da primeira imagem para a segunda o valor diminui e na terceira, aumenta, podendo ter ocorrido exploração neste intervalo, confirmando o que foi repassado em uma conversa informal por um dos responsáveis pelo inventário, que a área foi explorada de junho a setembro de 2019. Na imagem 4 e 6, houve diferença estatística entre si e com as demais, e ao comparar as médias do NDVI com os outros meses. Essas imagens são de junho de 2020 e 2021, período de seca na região e apresentaram os menores valores, efeito detectado também por Gurgel et al. (2003).

Analisando as médias da área 2, verifica-se uma redução no NDVI entre a primeira e a segunda imagem, intervalo que contempla um período entre junho e dezembro de 2016. Nesse intervalo, ainda não havia sido relatada exploração florestal na área. Esse período coincide com a época de menor pluviosidade na região, e a redução nos valores do índice pode ser consequência dos impactos provocados pelo *El Niño*, conforme relatado por Gurgel et al. (2003) para anos anteriores. O aumento do NDVI na terceira imagem e uma nova redução para a imagem 4, indicam que a exploração florestal sucedeu nesses dois períodos. A sexta imagem possui a maior média, e por ser após o período de vencimento da licença, supõem-se que as clareiras já estavam regenerando.

Para a terceira área, a redução do NDVI entre as imagens 1 e 2 ratificam os efeitos do *El Niño* descritos anteriormente. As imagens 1, 3 e 4 apresentam médias estatisticamente iguais, com valores mais altos, demonstrando ser o período antes da exploração. Quando se compara com as duas últimas imagens, as médias diminuem, reflexo da exploração executada bem próximo ao final da vigência da licença, conforme verificado em relatório pós-exploratório disponibilizado para consulta.

Conclusões

O impacto gerado em uma área de MFSPE é pequeno, tendo em vista que as médias de NDVI calculadas indicam uma cobertura florestal densa. O uso desse índice permitiu análise da dinâmica da exploração florestal nas três áreas, permitindo que, antes de ir a campo, equipes possam ter uma ideia da anuência entre o plano de manejo e a realidade da exploração.

Os resultados reforçam a relevância do uso das geotecnologias para o monitoramento de áreas de manejo, demonstrando como a ferramenta corrobora para a otimização de recursos destinados ao deslocamento e diagnóstico dessas áreas, em especial as que se encontram em regiões remotas e de difícil acesso, como é o caso de diversas áreas de manejo no Amazonas.

Agradecimentos/Apoio

Agradecemos ao Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas pela disponibilização dos dados e relatórios necessários para a realização desse trabalho.

Referências Bibliográficas

BREUNING, F. M.; PERRADO, E. R.; GALVÃO, L. S.; BOSTELMANN, S. L.; MARTARELLO, V.; CONTE, B. Monitoramento interanual do manejo florestal com sensoriamento remoto. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2019.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/unidades_da_federacao/am_vegetacao.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: agosto de 2021.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; NETO, J. D.; AZEVEDO, C. A. V.; FRANCO, E. S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens Landsat 5. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

LOCKS, C. J., MATRICARDI, E. A. T. Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 481–495, 2019.

PINTO, A.; AMARAL, P.; AMARAL, M. **Iniciativas de Manejo Florestal Comunitário e Familiar na Amazônia brasileira 2009/2010**. Belém, PA: Imazon; IEB / Brasília, DF: GIZ; SFB, 2011. 84 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Editora Parêntese, 2 ed, p. 78-115, 2015.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri - PB. **Revista GeoNorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1217 – 1229, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.

SILVA, C. A.; SANTILLI, G.; SANO, E. S.; RODRIGUES, S. W. P. Análise qualitativa do desmatamento na floresta Amazônica a partir dos Sensores SAR, Óptico e Termal. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 42, n. 4, p. 18-29, 2019.

VINHOTE, E. G.; ROCHA, V. S.; LAY, C. Z. E. **Manejo Florestal Sustentável em Pequena Escala: normas e procedimentos técnicos para elaboração e execução**. Manaus: Edições Reggo, 2017. 84p.