


NDVI APLICADO À ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DA TERRA DA BACIA DO RIO PEDREIRA–AMAPÁ, BRASIL

NDVI APPLIED TO THE ANALYSIS OF THE TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION COVER IN THE PEDREIRA RIVER BASIN–AMAPÁ, BRAZIL


NDVI APLICADO AL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA DEL RÍO PEDREIRA–AMAPÁ, BRASIL

Fabrício dos Santos Lobato¹

 0000-0002-8240-8039


fabriciosanlobato1996@gmail.com

Tania Cristina Gomes²

 0000-0003-1335-8098

geotania.gomes@gmail.com

José Mauro Palhares³

 0000-0001-9311-1049

jmpalhares@gmail.com

1 Mestrando em Geografia pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) Macapá, Amapá, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8240-8039>. E-mail: fabriciosanlobato1996@gmail.com.

2 Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1335-8098>. E-mail: geotania.gomes@gmail.com.

3 Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor do curso de Geografia da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Campus Oiapoque, Amapá, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9311-1049>. E-mail: jmpalhares@gmail.com.

30
Anos

Ano XXIX - Vol. XXIX - (1): Janeiro/Dezembro - 2025

CIÊNCIA
Geográfica
ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461
www.agbauru.org.br

RESUMO: Os índices de vegetação são ferramentas essenciais para compreender a dinâmica da vegetação de uma região. Este estudo utilizou o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para analisar a bacia do Rio Pedreira, no Amapá, com base no espectro eletromagnético do vermelho e infravermelho, a fim de avaliar a dinâmica do uso e cobertura vegetal nos anos de 2019 a 2022. As imagens foram adquiridas pela plataforma Google Earth Engine. Os valores do NDVI para esses anos variaram entre máximos de 0,79 a 0,82 e mínimos de -0,21 a -0,28. As maiores concentrações de pixels se situaram nos valores de 0,2 a 0,4, indicando vegetação rala. Observou-se uma expansão significativa da vegetação no sul da bacia, relacionada à produção de grãos na savana amapaense. A classificação supervisionada do NDVI, usando imagens do Landsat, mostrou-se eficaz para monitorar a evolução e vitalidade da cobertura vegetal ao longo do tempo.

Palavras-chave: Vegetação. Classificação. Banco de dados. Validação.

ABSTRACT: Vegetation indices are essential tools for understanding the dynamics of vegetation in a region. This study used the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to analyze the Pedreira River Basin in Amapá, based on the electromagnetic spectrum of red and infrared wavelengths, to assess the dynamics of land use and vegetation cover from 2019 to 2022. The images were acquired using the Google Earth Engine platform. NDVI values for these years ranged from maximums of 0.79 to 0.82 and minimums of -0.21 to -0.28. The highest pixel concentrations were found in the 0.2 to 0.4 range, indicating sparse vegetation. A significant expansion of vegetation was observed in the southern part of the basin, linked to grain production in the Amapá savanna. Supervised NDVI classification using Landsat imagery proved effective in monitoring the evolution and vitality of vegetation cover over time.

Keywords: Vegetation. Classification. Database. Validation.

RESUMEN: Los índices de vegetación son herramientas esenciales para comprender la dinámica de la vegetación de una región. Este estudio utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para analizar la cuenca del río Pedreira, en Amapá, basándose en el espectro electromagnético del rojo y el infrarrojo, con el fin de evaluar la dinámica del uso y la cobertura vegetal en los años 2019 a 2022. Las imágenes fueron adquiridas a través de la plataforma Google Earth Engine. Los valores de NDVI para esos años variaron entre máximos de 0,79 a 0,82 y mínimos de -0,21 a -0,28. Las concentraciones más altas de píxeles se situaron en valores de 0,2 a 0,4, indicando vegetación dispersa. Se observó una expansión significativa de la vegetación en el sur de la cuenca, relacionada con la producción de granos en la sabana de Amapá. La clasificación supervisada del NDVI, utilizando imágenes de Landsat, demostró ser eficaz para monitorear la evolución y vitalidad de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Vegetación. Clasificación. Base de datos. Validación.

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pedreira, localizada no Amapá, enfrenta um intenso processo de transformação socioambiental devido à pressão de atividades humanas como agricultura, pecuária, pesca e monocultura de soja, impactando a savana amapaense e alterando sua paisagem e dinâmica territorial (Soares, 2019).

Para monitorar a qualidade ambiental da região, são amplamente utilizados índices de vegetação, como o NDVI, que são calculados a partir da reflectância de diferentes faixas espectrais obtidas por sensores remotos (Costa; Ribeiro; Albuquerque, 2020)

A tecnologia de processamento de imagens, como o Google Earth Engine (GEE), tem sido essencial para analisar e monitorar as mudanças no uso do solo, especialmente em áreas florestais, proporcionando uma plataforma eficiente para estudos ambientais (Horowitz, 2015). O uso de séries temporais de índices de vegetação e imagens de satélite é crucial para identificar padrões e detectar alterações causadas por intervenções humanas, além de permitir o monitoramento do desmatamento em grandes áreas (Oliveira, 2017).

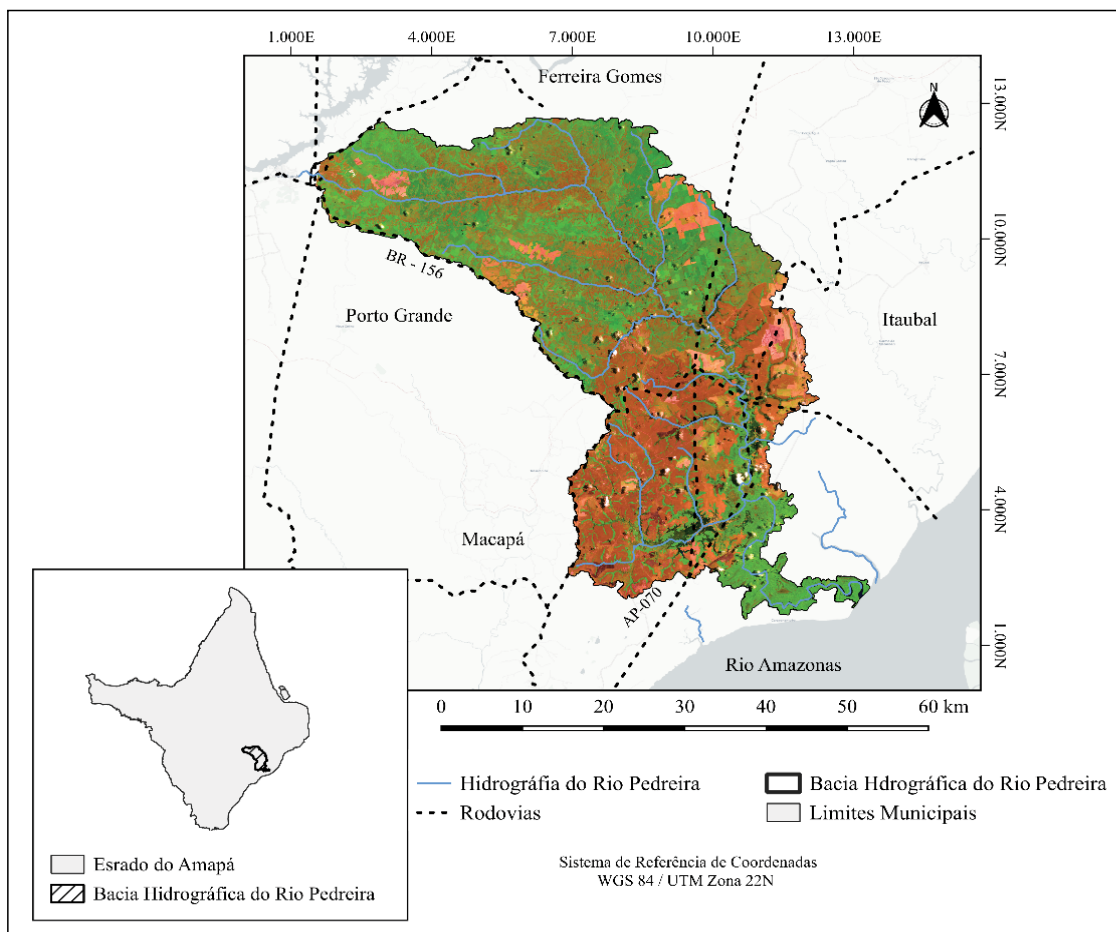
Embora diversas iniciativas realizem o mapeamento da cobertura vegetal do Cerrado, muitas análises se baseiam em imagens de uma única data, o que limita a avaliação detalhada das dinâmicas de mudanças na cobertura e no uso da terra (Sano *et al.*, 2008).

O estudo proposto pretende aplicar o índice NDVI utilizando o GEE para avaliar a dinâmica da cobertura vegetal da BHRP entre 2019 e 2022, além de avaliar a exatidão do classificador global com a ferramenta AcATaMa para aprimorar as análises sobre a cobertura e uso da terra na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia do Rio Pedreira engloba uma vasta região, com uma área total de aproximadamente 208.635 hectares, abrangendo várias localidades em diferentes municípios (ZEE, 1997) (Figura 1). O clima oficial em todo o estado do Amapá é classificado como superúmido. A área de estudo está situada na zona climática úmida, que prevalece na maior parte do estado. Esta zona é caracterizada por dois meses secos, que correspondem aos meses de setembro e outubro (Drumond *et al.*, 2008).



Fonte: Bases cartográficas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Elaborado pelos autores (2023).

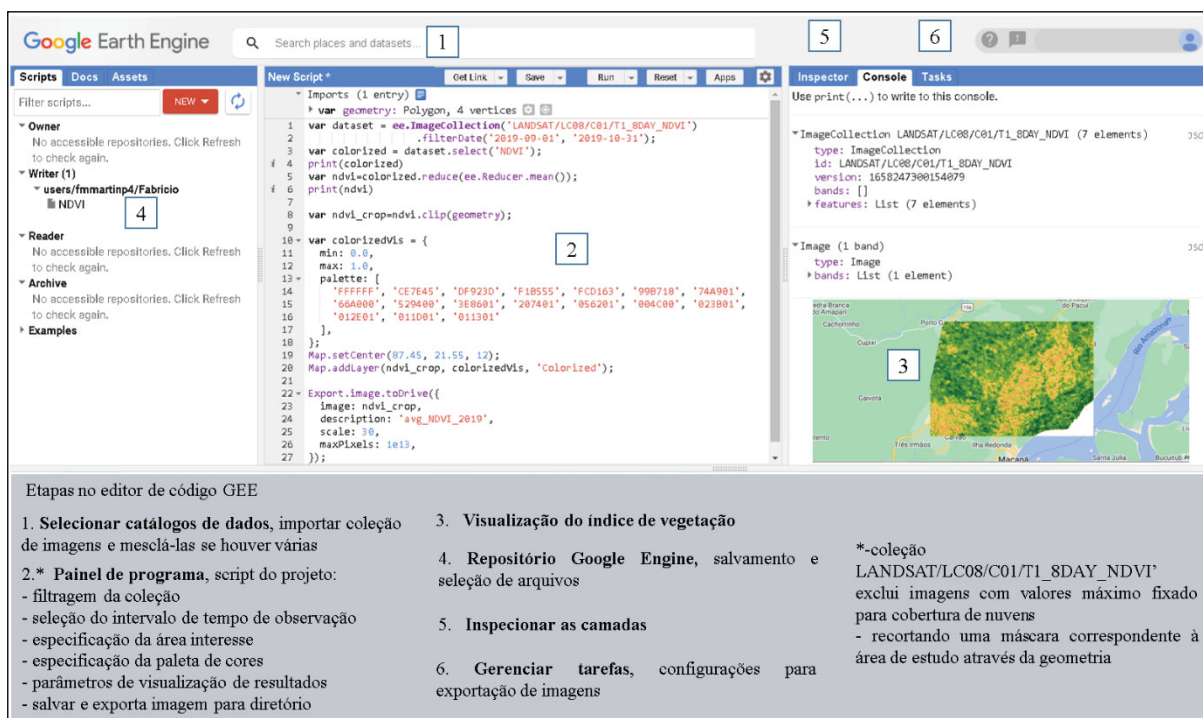
Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Pedreira (BHRP) nos contextos estadual, regional e municipal.

PROCESSAMENTO NA PLATAFORMA GEE E USO DE IMAGENS LANDSAT-8

A análise foi realizada utilizando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE), que permite o acesso a décadas de imagens orbitais e uma vasta base de dados geoespaciais (Gorelick *et al.*, 2017). A plataforma oferece imagens pré-processadas e georreferenciadas, tanto raster quanto vetores, de fácil importação para análises geoespaciais (Figura 2).

Para a análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), foram usados dados do satélite Landsat 8 (USGS, 2023), com resolução espacial de 30 m, obtidos pelo conjunto de dados “LANDSAT/LC08/C01/T1_8DAY_NDVI”. Esses dados, compostos por cenas ortorretificadas e refletância do topo da atmosfera (TOA), foram processados pelo Google, e o NDVI foi calculado para cada pixel e período de observação, que compreendeu os anos de 2019 a 2022, especificamente nos meses de setembro e outubro.

A escolha da área de estudo visou fornecer uma análise abrangente do uso da terra, considerando diferentes fontes de dados ambientais aplicáveis em diversas modalidades, como agricultura, pastagem e áreas urbanizadas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2. Captura de tela do painel de programa GEE e suas principais características: (1) catálogos de dados, (2) editor de código, (3) visualizador de resultados, (4) repositório GEE, (5) inspeção de camadas e (6) gerenciador de tarefas.

Índice de vegetação, plugin AcATaMa e avaliação de acuracidade

O processamento no Google Earth Engine (GEE) permitiu calcular o NDVI para a Bacia do Rio Pedreira, usando a equação baseada na reflectância do infravermelho próximo e do vermelho. Valores próximos de +1 indicam alta densidade vegetal, enquanto valores próximos de -1 sugerem ausência de vegetação. O código desenvolvido para obter esses dados está disponível no link: <<https://welcomersgis.blogspot.com/2022/04/google-earth-engine-gee-normalized.html>> (Figura 2).

Portanto, para melhor visualização dos resultados foram estabelecidas 5 classes para o índice de vegetação, de acordo com os índices referentes à Tabela 1.

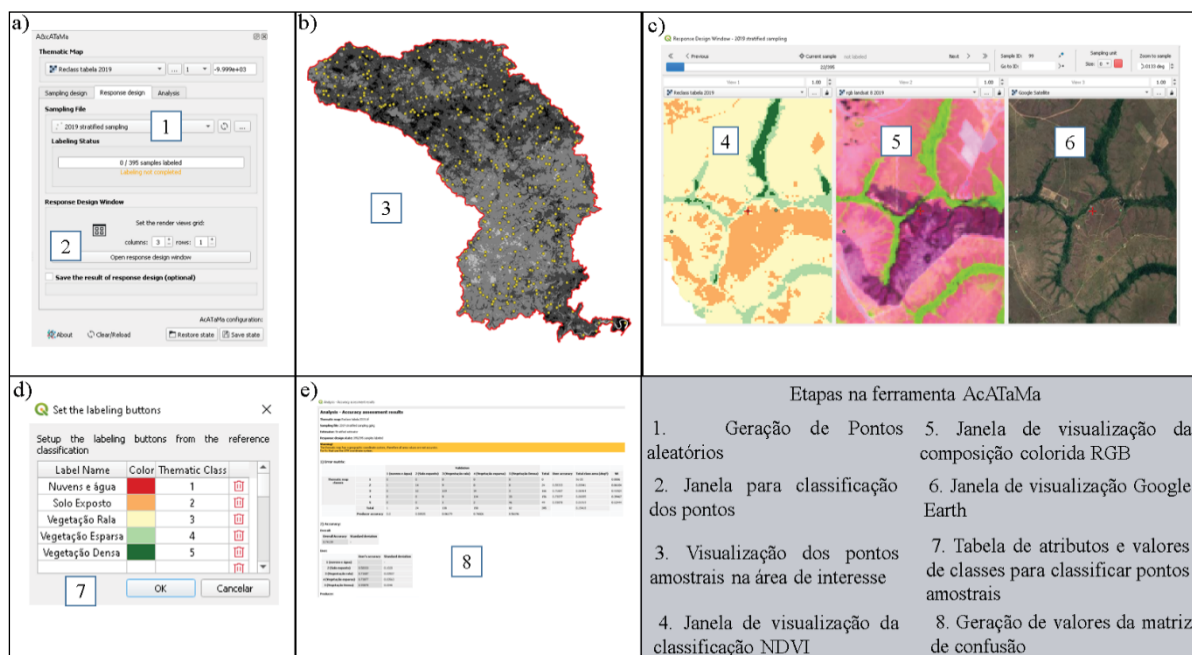
Tabela 1. Valores de classes NDVI.

NDVI	Classes
< -0,1	Nuvens e corpos d'água
0,01 - 0,2	Solo exposto
0,2 - 0,4	Vegetação Rala
0,4 - 0,6	Vegetação Esparsa
> 0,6	Vegetação Densa

Fonte: Elaborado pelos autores.

As imagens foram processadas no QGIS versão 3.22.3 usando a ferramenta externa AcATaMa (Figura 3a), desenvolvida pelo Forest and Carbon Monitoring System Group para validar mapas de cobertura e uso do solo (Llano, 2019). O AcATaMa oferece um conjunto de ferramentas para auxiliar o usuário em etapas específicas, como: (1) desenho amostral, (2) classificação das amostras conforme as classes de NDVI, (3) cálculo da matriz de confusão e (4) avaliação da acurácia utilizando a estimativa Kappa.

Durante a classificação, foram gerados 400 pontos aleatórios ajustados para a área de estudo em cada período (Figura 3b). Foram abertas três janelas: uma com os resultados do NDVI, outra com imagens RGB do Landsat 8 (sensores OLI e TIRS) para os anos de 2019 a 2022 e a terceira com o Google Earth Explore (Figura 3c). Além disso, foi criada uma tabela de atributos editável para classificar as amostras (Figura 3d), seguida pela geração da matriz de confusão (Figura 3e).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3. Procedimentos da ferramenta AcATaMa para geração da matriz de confusão e seus principais passos: (1 e 2) criação de pontos aleatórios, (3) visualização dos pontos amostrais, (4, 5 e 6) janela para classificação dos pontos em suas determinadas classes NDVI, RGB e Google satélite, respectivamente, (7) tabela de atributos e (8) matriz de confusão.

O parâmetro do coeficiente Kappa varia de 0 até 1, o valor 1,0 indica semelhança perfeita e o valor 0,0 indica diferença completa. Conforme Landis e Koch (1977) e Figueiredo e Vieira (2007) a qualidade do mapeamento a partir do índice de Kappa está baseada na Tabela 2.

Tabela 2. Avaliação segundo o coeficiente k. Fonte: Landis e Koch (1997).

Qualidade do mapeamento	Kappa
Péssima	< 0
Ruim	0 – 0,20
Acurácia razoável	0,20 – 0,40
Acurácia moderada a boa	0,40 – 0,60
Acurácia muito boa	0,60 – 0,80
Acurácia excelente	0,80 – 1,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

A ferramenta r.report foi usada para quantificar áreas em hectares e analisar a dinâmica da vegetação na Bacia do Rio Pedreira, utilizando uma escala de 1:500.000 para cobrir toda a área de 2300 km², garantindo qualidade visual para a análise.

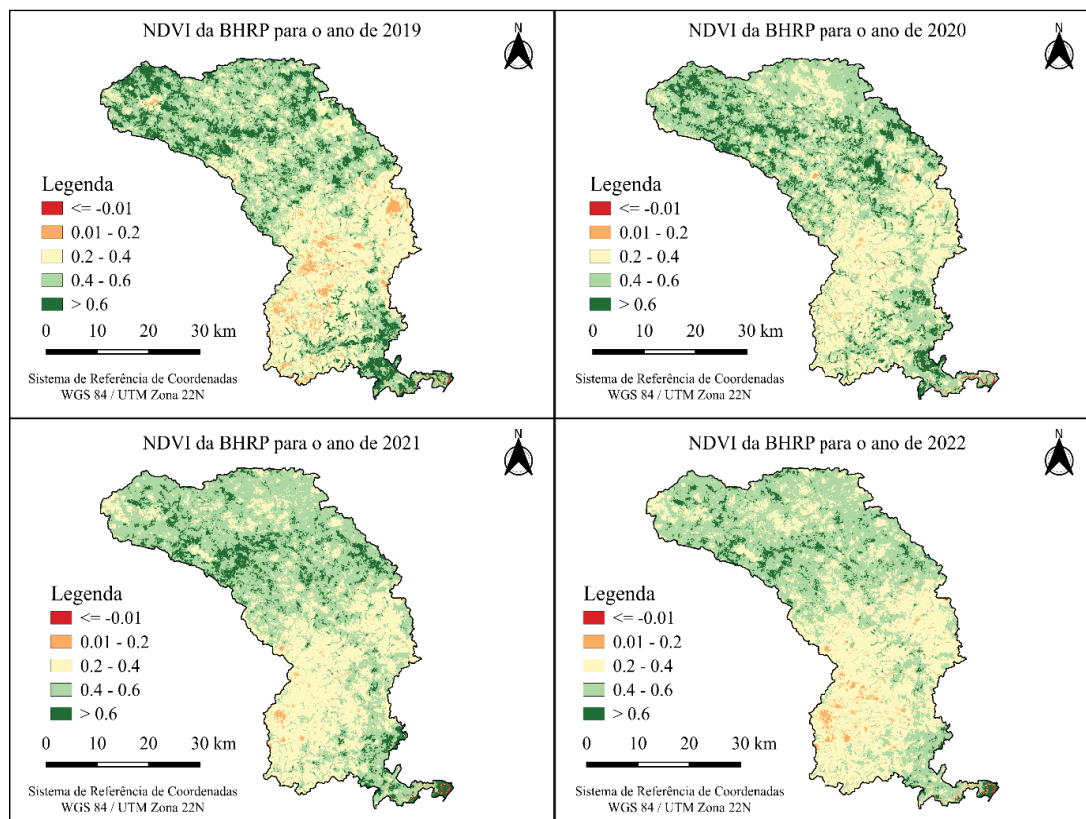
RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir da aplicação das equações do NDVI sobre as bandas espectrais específicas do sensor Landsat 8 para os anos de 2019 a 2022, foi possível quantificar e espacializar as variações na cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Pedreira (BHRP). Os valores de NDVI obtidos refletem diretamente o vigor e a densidade da vegetação, sendo assim um importante indicador da saúde ambiental da região.

Os índices máximos observados (Figura 4), que variaram de 0,79 em 2019 a 0,73 em 2022, correspondem principalmente a áreas com vegetação densa, como o dossel das silviculturas e remanescentes fragmentados de Mata de Galeria e Floresta de Várzea. É importante destacar que, apesar de esses valores permanecerem relativamente elevados, houve uma tendência de redução paulatina, indicando um possível desgaste ou diminuição dessas áreas, o que pode refletir pressões antrópicas como exploração madeireira, expansão agrícola ou atividades de silvicultura intensiva. Essa diminuição, ainda que sutil, sinaliza um enfraquecimento da cobertura florestal densa e potencial perda da biodiversidade associada.

Por outro lado, os valores mínimos do NDVI, que se situaram entre -0,28 e -0,20, correspondem a superfícies não vegetadas, como solo exposto, corpos d'água e áreas urbanizadas. A pouca variação nestes valores ao longo do período sugere que essas áreas se mantiveram relativamente estáveis, sem grandes mudanças na dinâmica de ocupação do solo.

Um aspecto particularmente relevante é a concentração dos maiores números de pixels na faixa intermediária do NDVI, entre 0,2 e 0,4, que caracteriza vegetação rala ou áreas em processo de degradação. Ao longo dos anos, essa classe apresentou aumento tanto em área quanto em distribuição espacial, especialmente na porção sul da bacia. Tal padrão indica uma expansão da atividade agroindustrial e práticas agrícolas que não promovem o reflorestamento ou a recuperação da vegetação original, resultando em áreas com menor cobertura vegetal e potencialmente mais suscetíveis à erosão e à perda de nutrientes do solo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4. Mapas do Índice de Cobertura Vegetal entre os anos de 2019 a 2022 na BHRP.

Os mapas NDVI indicam mudanças significativas na cobertura vegetal entre 2019 e 2022, com uma redução da vegetação densa de 25.800 ha para 10.793 ha e um aumento da vegetação rala de 87.192 ha para 95.279 ha. O aumento da vegetação rala ocorreu principalmente na porção sul da bacia, onde há intensa atividade agrícola na Dinâmica de Uso Múltiplo (DUM), favorecida por fatores como localização estratégica, infraestrutura logística e solos adequados à mecanização.

A classe de vegetação esparsa apresentou áreas variáveis entre 2019 e 2022, com maior presença no norte da bacia, onde predominam plantações exóticas de pinus e eucalipto, impulsionadas pelo projeto agroindustrial da AMCEL. As áreas de solo exposto e corpos d'água apresentaram menor variação nos índices de cobertura, tornando-se quase imperceptíveis na análise visual dos mapas.

A classificação precisa dos dados de Sensoriamento Remoto exige um grande número de amostras, sendo utilizadas 396 amostras por ano, distribuídas aleatoriamente para minimizar erros.

A matriz de confusão (Tabela 3) é amplamente utilizada para avaliar classificadores, permitindo uma análise detalhada dos erros e da precisão geral das classificações. Em 2019, das 395 amostras, 293 foram classificadas corretamente, resultando em uma precisão geral de 74% e coeficiente Kappa de 0,63, indicando boa acurácia. Em 2020, das 396 amostras, 301 foram classificadas corretamente, com uma precisão geral de 75% e coeficiente Kappa de 0,64, mantendo uma acurácia muito boa. Em 2021, das 397 amostras, 309 foram corretamente classificadas, alcançando 77% de precisão geral e coeficiente Kappa de 0,65, demonstrando uma melhora na acurácia. E em 2022, das 398 amostras, 317 foram classificadas corretamente, obtendo 79% de precisão geral e coeficiente Kappa de 0,67, confirmando a alta confiabilidade do método.

Tabela 3. Matriz de confusão do NDVI da BHRP dos anos de 2019 a 2022 no classificador AcATaMa.

Matriz de confusão: NDVI 2019									
Precisão geral = 74%, Kappa = 0,63									
Classes	NA	SE	VR	VE	VD	Total	EC	EC(%)	Área(ha)
NA	0	0	0	0	0	0	1	0	467
SE	1	14	9	0	0	24	0.41	58	12.784
VR	0	10	119	34	3	166	0.13	71	87.292
VE	0	0	9	114	33	156	0.24	73	82.216
VD	0	0	1	2	46	49	0.43	93	25.800
Total	1	24	138	150	82	395			208.635
EO	0	0.41	0.28	0.26	0.06				
EP(%)	0	58	86	76	56				
Matriz de confusão: NDVI 2020									
Precisão geral = 75%, Kappa = 0,64									
Classes	NA	SE	VR	VE	VD	Total	EC	EC(%)	Área(ha)
NA	1	0	0	0	0	1	0.5	100	262
SE	1	1	1	0	0	3	0.9	33	1.303
VR	0	9	111	26	6	152	0.07	73	80.080
VE	0	1	8	140	41	190	0.16	73	100.790
VD	0	0	0	2	48	50	0.49	96	26.200
Total	2	11	120	168	95	396			208.635
EO	0	0.66	0.26	0.26	0.04				
EP(%)	50	9.1	92	83	50				
Matriz de confusão: NDVI 2021									
Precisão geral = 77%, Kappa = 0,65									
Classes	NA	SE	VR	VE	VD	Total	EC	EC(%)	Área(ha)
NA	0	0	0	0	0	0	1	0	755
SE	0	3	0	0	0	3	0.66	100	1.796
VR	1	4	116	25	2	148	0.08	78	77.835
VE	0	2	11	154	39	206	0.15	74	108.278
VD	0	0	0	4	36	40	0.53	90	19.971
Total	1	9	127	183	77	397			208.635
EO	0	0.12	0.16	0.24	0.19				
EP(%)	0	33	91	84	46				
Matriz de confusão: NDVI 2022									
Precisão geral = 79%, Kappa = 0,67									
Classes	NA	SE	VR	VE	VD	Total	EC	EC(%)	Área(ha)
NA	0	0	0	0	0	0	1	0	131
SE	0	7	1	0	0	8	0.5	87	3.925
VR	1	6	152	12	11	182	0.05	83	95.279
VE	0	1	7	141	38	187	0.09	75	98.507
VD	0	0	1	3	17	21	0.74	80	10.793
Total	1	14	161	156	66	398			208.635
EO	0	0.12	0.16	0.24	0.19				
EP(%)	0	50	94	90	25				

Legenda: (NA) Nuvens e Água, (SE) Solo Exposto, (VR) Vegetação Rala, (VD) Vegetação Densa, (EC) Erros de Comissão, (EC%) Exatidão do Consumidor, (EO) Erros de Omissão e (EP%) Exatidão do Produtor.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Thomlinson *et al.* (1999), recomendam que a precisão de 85% é aceitável para a classificação do uso do solo. As mudanças na cobertura do solo são essenciais para entender as dinâmicas ambientais e o impacto humano nas bacias.

Quanto à metodologia, o uso integrado do NDVI calculado a partir de imagens do Landsat 8 com o processamento automatizado do Google Earth Engine (GEE) mostrou-se altamente eficiente para a detecção e análise multitemporal das mudanças na cobertura vegetal. Essa combinação permitiu a manipulação de grandes volumes de dados com agilidade e precisão, além da possibilidade de análises espaciais detalhadas. O suporte da ferramenta AcATaMa para validação das classificações adicionou robustez ao processo, garantindo uma confiabilidade elevada dos resultados, evidenciada pela melhoria progressiva das matrizes de confusão e dos coeficientes de Kappa.

CONCLUSÕES

A tendência geral de redução da vegetação densa, acompanhada do aumento da vegetação rala e esparsa, evidencia um processo de degradação gradual da cobertura vegetal nativa da savana amapaense. Esse fenômeno pode ser atribuído principalmente à pressão das atividades antrópicas, notadamente o avanço da agropecuária e a expansão da silvicultura, que alteram diretamente a estrutura e a composição da vegetação local. A perda da vegetação densa pode implicar na regulação do microclima, proteção do solo e manutenção da biodiversidade, elementos essenciais para a sustentabilidade da bacia.

Por fim, destaca-se a importância do monitoramento multitemporal via NDVI como ferramenta estratégica para o planejamento territorial e para a tomada de decisões no âmbito ambiental. A capacidade de acompanhar as transformações da paisagem ao longo do tempo permite identificar áreas prioritárias para conservação, detectar processos de degradação e avaliar a eficácia das políticas públicas implementadas. Assim, os dados obtidos neste estudo podem subsidiar gestores e formuladores de políticas na definição de medidas de proteção ambiental, recuperação de áreas degradadas e manejo sustentável da bacia hidrográfica do Rio Pedreira.

REFERÊNCIAS

- COSTA, G. J. A.; RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação da cobertura vegetal do município de regeneração, estado do Piauí, Brasil. **Geonordeste**, v. 31, n. 2, p. 230-246, 2020.
- DRUMMOND, J. A.; DIAS, T. C. A. C.; BRITO, D. M. C. **Atlas das Unidades de Conservação do Estado do Amapá**. MMA/IBAMA - AP; GEA/SEMA. Macapá, AP, 2008.
- FIGUEIREDO, G.C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE, 2007, p. 5755-5762. **Anais[...]**
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.
- HOROWITZ, F. G. **Modis daily land surface temperature estimates in Google Earth Engine**

as an aid in geothermal energy siting. Melbourne – Australia: Proceedings World Geothermal Congress, 2015.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometric**, v. 33, jan., 1977.

OLIVEIRA, J.P. **Detecção de áreas desmatadas na porção sul do estado das Amazonas, utilizando técnicas de extração de características e redes neurais artificiais.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5791>.

SOARES, L. R. **Conflitos territoriais e identidade quilombola da Comunidade do Ambé no Amapá.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

THOMLINSON, J. R.; BOLSTAD, P. V.; COHEN, W. B. Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from site-specific to global: steps toward validating Global Map Products. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, n. 1, p. 16-28, 1999.

ZONEAMENTO Ecológico Econômico - ZEE. **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá:** primeira aproximação do ZEE. 3ª ed. rev. ampl. Macapá: IEPA, 2008.

