

ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA DE INUNDAÇÃO E PERDA DE ÁREA DE SOLOS EM CAROLINA, MA ENTRE OS ANOS DE 2000 E 2011

ÍNDICE DE DIFERENCIA DE AGUA NORMALIZADO PARA IDENTIFICAR ÁREA DE INUNDACIÓN Y PÉRDIDA DE ÁREA DE SUELO EN CAROLINA, MA ENTRE 2000 Y 2011

NORMALIZED WATER DIFFERENCE INDEX TO IDENTIFY FLOOD AREA AND SOIL AREA LOSS IN CAROLINA, MA BETWEEN 2000 AND 2011

Richard Oliveira Jardim*
jardim.richard@discente.ufma.br

Ludimila Nathasha da Silva Jansen*
ludimila.nathasha.ln@gmail.com

Marcelino Silva Farias Filho*
marcelino.farias@ufma.br

Milton César Costa Campos**
mcesarsolos@gmail.com

Joálison de Brito Silva**
joalisonbrito2018@gmail.com

Robson Vinicio dos Santos**
robson4651@hotmail.com

Flavio Pereira de Oliveira**
flavio.oliveira@academico.ufpb.br

*Universidade Federal do Maranhão, São Luis/MA, Brasil

**Universidade Federal da Paraíba, Areia/PB, Brasil

Resumo

As técnicas de Sensoriamento Remoto têm sido fundamentais na identificação e monitoramento de áreas degradadas, apoiando pesquisas ambientais. O objetivo deste trabalho foi identificar as áreas de inundação após a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Estreito, e perdas de áreas de solos no município de Carolina-MA, por meio da aplicação do NDVI. Aplicou-se o índice numa série temporal de Landsat 5TM nos anos seguintes 2000 e 2010 a partir do uso do software Qgis 3.4.15. O NDVI permitiu identificar as áreas de inundações, bem como permitiu visualizar a área de solo submersa após a construção da barragem. Os resultados do NDVI dos dois anos apresentaram-se de forma diferentes, apontando de forma efetiva a visualização de uma área de inundação.

PALAVRAS CHAVE: Sensoriamento remoto. Área de inundação. Barragem. Carolina-MA.

Resumen

Las técnicas de Teledetección han sido fundamentales para identificar y monitorear áreas degradadas, apoyando la investigación ambiental. El objetivo de este trabajo fue identificar las áreas de inundación luego de la construcción de la represa de la Usina Hidroeléctrica Estreito, y pérdidas de áreas de suelo en el municipio de Carolina-MA, a través de la aplicación del NDVI. El índice se aplicó a una serie de tiempo Landsat 5TM en los siguientes años 2000 y 2010 utilizando el software Qgis 3.4.15. El NDVI permitió identificar las áreas de inundación, así como permitir la visualización del área de suelo sumergido luego de la construcción de la presa. Los resultados del NDVI para los dos años se presentaron de manera diferente, apuntando efectivamente a la

visualización de un área de inundación.

PALABRAS CLAVE: Detección remota. Área de inundación. Presa. Carolina-MA.

Abstract

Remote Sensing techniques have been fundamental in identifying and monitoring degraded areas, supporting environmental research. The objective of this work was to identify the flood areas after the construction of the Estreito Hydroelectric Power Plant dam, and losses of soil areas in the municipality of Carolina-MA, through the application of the NDVI. The index was applied to a Landsat 5TM time series in the following years 2000 and 2010 using the Qgis 3.4.15 software. The NDVI allowed identifying the areas of flooding, as well as allowing the visualization of the submerged soil area after the construction of the dam. The results of the NDVI of the two years were presented in a different way, effectively pointing to the visualization of an area of flooding.

KEYWORDS: Remote sensing. Flood area. Dam. Carolina-MA.

1. Introdução

A partir de 1964, iniciaram-se os primeiros estudos acerca do potencial de uso para geração de energia dos rios da bacia do Tocantins visando a construção de usina hidrelétrica. Segundo Araújo (2003) foram realizados estudos sobre chuvas, solos, recursos minerais, recursos florestais, propriedades rurais e projeções sobre desenvolvimento econômico e industrial, assim a Usina Hidrelétrica de Estreito (UHE) Estreito, foi construída ao norte do estado do Tocantins e sudoeste do Maranhão, barrando o rio Tocantins, o reservatório da UHE de Estreito possui uma extensão de 260,23 km, com volume de 5.400 x 10⁶ m³, com área inundada de 400 km², tendo perspectiva de vida útil de mais cem (100) anos, segundo o CESTE (2019).

A construção da UHE - Estreito se configurou como um marco em esferas geográficas, políticas e socioambientais para a região entre os estados do Maranhão e Tocantins. Entretanto, os impactos intrínsecos à sua instalação proporcionaram impactos em grupos sociais (populações ribeirinhas e povos tradicionais) e ambientais, como a perda da biodiversidade e áreas inundadas (FRAGOSO et al., 2018). E, embora a estrutura física da usina tenha sido construída entre os municípios de Estreito (MA), Palmeiras do Tocantins e Aguiarnópolis (TO), outros também foram afetados direta e significativamente com a formação de lagos, como foi o caso de Babaçulândia, Barra do Ouro, Darcinópolis, Filadélfia, Goiatins, Itapiratins, Palmeirante e Tupiratins em Tocantins e Carolina no Maranhão, ocasionando diversas alterações socioambientais com mudanças severas na cobertura e nos usos da terra (Massoli, & Borges, 2014).

Assim, o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) tem sido de grande valia no monitoramento de mudanças no uso e na cobertura do solo, visto que, por meio da análise de uma série de imagens de satélites, com aquisição em momentos distintos, é possível comparação de áreas de interesse, com o intuito de identificar mudanças em determinadas regiões, possibilitando ainda identificar o que, onde, e quanto tais modificações ocorreram, através das respostas espectrais dos alvos (Reis et al. 2020). Segundo Inácio (2020) modelos de detecção multitemporal de mudanças podem ser úteis no monitoramento de comportamentos, desde expansão urbana e desmatamentos ao acompanhamento de diferentes alvos ao longo do tempo, permitindo monitoramento por órgãos fiscalizadores.

Gonzales e Woods (2000) evidenciam que o comportamento espectral de cada alvo é diferenciado, pois cada alvo possui a capacidade de absorver, refletir ou transmitir a radiação eletromagnética de maneira peculiar ao longo das faixas do espectro em função das suas propriedades físicas, químicas e morfológicas. Para Ponzoni *et al.* (2015), o comportamento espectral permite definir

as feições dos objetos, sendo caracterizado por meio da localização de cada banda de absorção, sua intensidade e forma. Desta maneira, com a caracterização do comportamento do alvo de estudo é possível, ao aplicar índices de monitoramento, extrair informações importantes dos alvos, como características da estrutura celular, espessura e quantidade de água da cultura.

Para INÁCIO et al., (2020) a detecção de mudanças pode ser definida como as alterações nos quais se realizam comparações entre imagens obtidas em momentos distintos. Dessa maneira o método digital é fundamentalmente útil na comparação de imagens de épocas distintas, por meio da correlação, podendo, segundo Jensen (2009), ser vantajoso na identificação de mudanças na cobertura da terra comparativamente à análise visual. Por outro lado, a escolha da técnica dependerá do objetivo da pesquisa, existindo várias modalidades conforme destacam Copping *et al.* (2004) e Graça (2004). Esses autores, afirmam que essas modalidades são capazes de monitorar alterações no padrão de resposta espectral da vegetação em função do tempo, seja em virtude de alterações fenológicas das espécies vegetais ou por intervenções antrópicas.

Entre os índices utilizados no monitoramento de mudanças encontram-se o “normalized difference vegetation index” (NDVI) proposto por Rouse *et al.* (1974) muito utilizado em estudos de series temporais. De acordo com Silva (2004) a importância e aplicabilidade do NDVI por possuir utilidade significativa na estimativa de parâmetros biofísicos, no qual o conceito de razão reduz diferentes formas de ruídos multiplicativos como diferenças de iluminação, sombra de nuvens e certas variações topográficas, podendo ser utilizado na classificação da cobertura vegetal e, conseqüentemente, no mapeamento da capacidade de uso da terra (Teotia *et al.*, 2003).

Assim a hipótese deste trabalho é a possibilidade do uso da técnica de NDVI para mapeamento de corpos aquosos (água) e perdas de solos em uma área sob influência de lagos da UHE – Estreito utilizando uma série temporal de imagens de 2000 e 2011. Dessa maneira o objetivo deste estudo foi identificar as áreas de inundação e perdas de áreas de solos no município de Carolina, MA, através da aplicação do índice de NDVI utilizando série temporal de imagens de 2000 e 2011.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O município de Carolina (figura 01) está localizado na Mesorregião Sul Maranhense e na Microrregião de Porto Franco, fazendo limite ao norte com o município de Estreito-MA e São Pedro dos Crentes (MA), a oeste com o município de Filadélfia (TO), separados pelo rio Tocantins e ao sul e leste com o município de Riachão (MA). O núcleo urbano do município está sob as coordenadas geográficas Latitude S 7°19'57'' e Longitude O 47°28'18''.

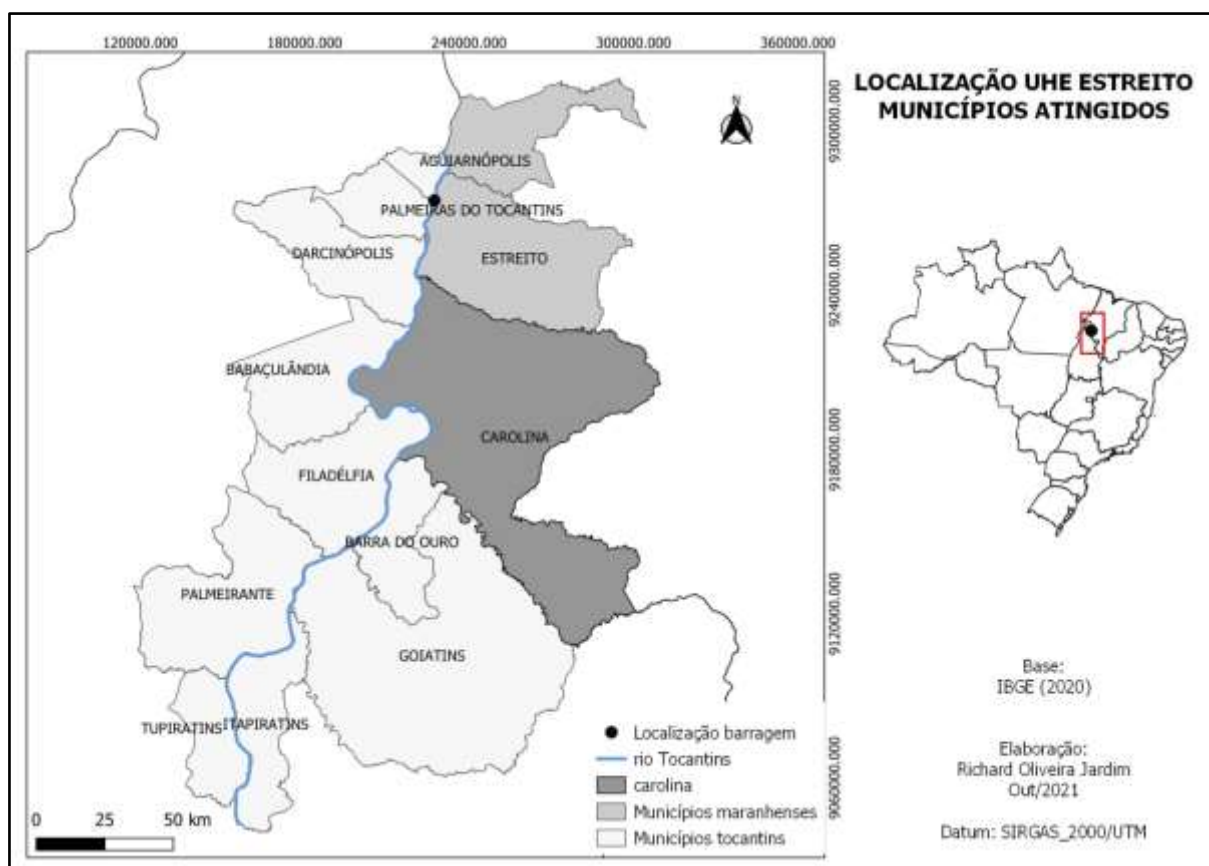


Figura 01. Localização dos municípios atingidos pela formação do lado, destaque para o município de Carolina, MA

O clima da região, conforme classificação de Köppen, é tropical (AW') com dois períodos bem definidos (chuvoso e estiagem), influenciado pelo clima semi-úmido com médias anuais de 1140 e 1740 mm. O período chuvoso, na região, ocorre entre dois outubro a maio e outro seco de junho a setembro, com médias térmicas anuais de 26°C em Carolina (ALENCAR *et al.*, s/d) O relevo é caracterizado como plano, com áreas com declives acentuados, com formação de Platôs, a exemplo, o morro do Chapéu com 365 metros.

Os solos da área em estudo são variados, com a presença de Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos, Podzólico Vermelho Amarelo, Plintossolos, Gleissolos, além dos Neossolos Flúvicos, areias Quartzosas, solos litólicos (ARAÚJO *et al.*, 2019). Os solos predominantes são caracterizados por solos profundos e textura arenosa ou franco-arenosa, atrelados a sedimentos arenosos de cobertura, bem com alterações de rochas areníticas e quartzíticas, comuns em relevos planos ou suave ondulados (EMBRAPA, 1999; REATTO *et al.*, 1998).

O município compõe a área do Parque Nacional da Chapada das Mesas com 85% da área total, alocados na referida unidade de conservação, que também engloba os municípios de Riachão e Estreito.

2.2. Materiais e métodos

Foram utilizadas imagens digitais do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*) e com datas 08/2000 e 08/2010, adquiridas no portal do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As imagens foram selecionadas nestas datas, por apresentarem menor incidência de nuvens, o que favoreceu na obtenção e interpretação do NDVI. O referido sensor opera com 7 bandas nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 possuem 30 metros de resolução e a banda 6 possui 120 metros, que corresponde à banda do termal. As imagens ainda possuem resolução temporal de 16 dias.

Conforme exposto anteriormente, o NDVI é calculado a partir de valores de reflectância das bandas referentes ao espectro do vermelho e ao infravermelho próximo. No caso do sensor TM, estas bandas são respectivamente as de número 3 e 4.

A produção do material cartográfico teve o mosaico como base em três imagens (cenas) do satélite Landsat 5, com câmeras dos sensores *Thematic Mapper*™. A primeira cena, que compreende a região de Carolina com datas de 17/08/2003 e 16/08/2011 com órbita/ponto 222/65; a segunda cena, que compreende o município de Riachão, com datas de 09/08/2000 e 26/08/2011 órbita/ponto 222/65; e, cena três com datas de 09/08/2000 e 26/08/2011 órbita/ponto 221/66.

A escala de medida, para avaliar os resultados do NDVI, tem a propriedade de variar de -1 a +1, com o zero indicando valor sem vegetação. Como aponta Acco (2004, p.12), “[...] A utilização deste índice justifica-se devido a sua contribuição na discriminação de unidades de vegetação, pois o NDVI [...] realça a vegetação na imagem e quanto mais próximo do valor 1 mais vegetação original.

Foram utilizadas bases cartográficas no formato shapefile (.SHP) do ano de 2020, disponíveis no portal do IBGE, de forma gratuita. A camada vetorial que espacializa os solos do município de Carolina, MA foram extraídos do portal do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (IMESC, 2019).

Os procedimentos adotados para a delimitação das áreas com mudança de cobertura vegetal foram desenvolvidos com o auxílio do software QGIS, realizando em três etapas: (i) o pré-processamento, (ii) processamento *sensu stricto*, e (iii) geração dos mapas. No (i) pré-processamento ocorreu a projeção das imagens para o hemisfério sul.

Adicionadas às camadas no software Qgis, utilizou-se a “Calculadora Raster” e aplicou-se a equação 1.0.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

em que NIR = Infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μm) e Red = Vermelho (0,63 – 0,70 μm).

Ressalta-se que o NDVI são transformações lineares de bandas espectrais, realçando o sinal da vegetação, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991), geralmente encontrada nas faixas do vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético. Segundo Baret *et al.* (1989), estas duas bandas contêm mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação.

O valor de NDVI varia de -1 para 1, mas para identificação da água o valor do índice for ≥ 0 e não água se o valor do índice for ≤ 0 (MCFEETERS, 1996).

3. Resultados e discussão

3.1.A aplicação do NDVI

As imagens utilizadas foram do mês de agosto correspondente ao início do período de estiagem, quando a vegetação consiste em está, normalmente, mais seca, padronizando com os processos realizados já elencados na metodologia. Nos anos analisados, verificou-se que o NDVI ocorreu uma heterogeneidade na área da vegetação, com uma redução significativa no período avaliado na década entre os anos de 2000 para 2010 (Figura 03 e 04).

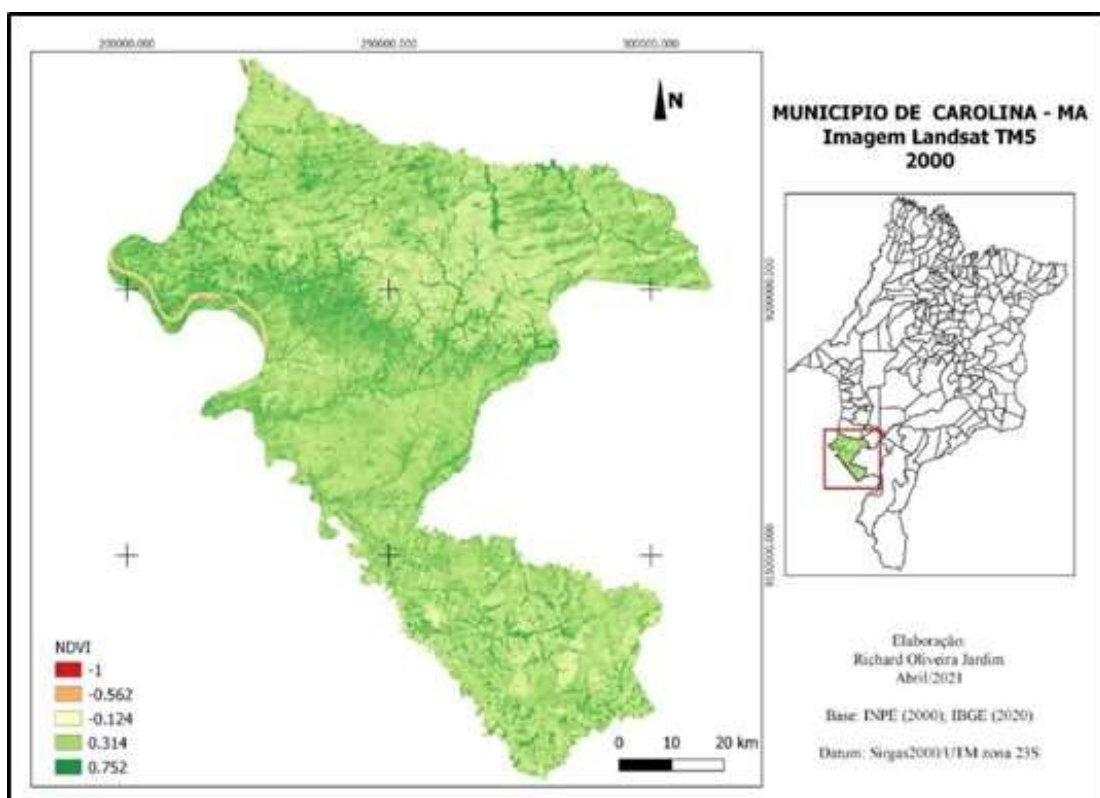


Figura 3. Mapa do Normalized difference vegetation index (NDVI) para o município de Carolina, MA no ano de 2000.

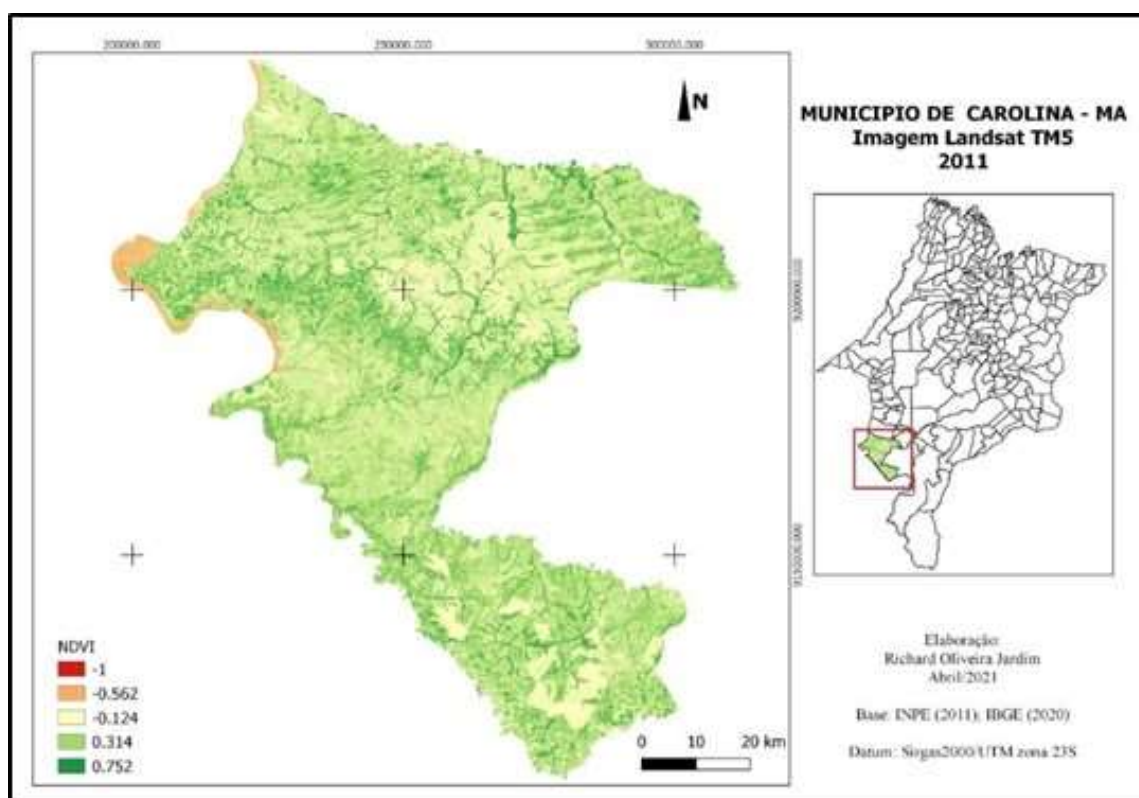


Figura 4. Mapa do Normalized difference vegetation index (NDVI) para o município de Carolina, MA no ano de 2011.

Para análise dos valores obtidos, a partir das imagens, classificou-se os resultados da seguinte forma: valores negativos, entre os valores -1 a -0,56, que indicam a presença de água (entre as cores

laranja e vermelho); valores de NDVI entre -0,57 a 0,2 (cor amarela) indicam teor de vegetação inexistente; valores iguais ou próximo entre 0,3 a 0,5 (verde-claro) indicam teor baixo de vegetação; e, acima de 0,5 indicam vegetação densa, visto a seguir (Tabela 1).

Tabela 1. Intervalo de valores e quantificação dos perfis das áreas inseridas.

Classificação	Valores NDVI	Indicativos	Cor
Negativo	-1	Presença de água	Vermelho
Negativo	-0,562	Teor de vegetação	Laranja
Negativo	-0,124	inexistente	Amarelo
Positivo	0,314	Teor baixo de vegetação	Verde claro
Positivo	0,752	Teor de vegetação densa	Verde escuro

A maior concentração da vegetação está na classe entre 0,2 e 0,3 (baixo teor de vegetação), ao qual é possível verificar maior diversidade, contendo pastagens, revegetação, diferentes usos do solo, entre outros. Assim, vale ressaltar que para uma precisão destas informações, sobre o tipo de vegetação, há a necessidade de se realizar uma aplicação de outros índices que caracterizam cada alvo, ou façam uma classificação supervisionada e/ou uma averiguação em campo. Para o ano de 2000 (figura 03), notou-se que o território de Carolina havia uma predominância deste tipo de vegetação, com poucas áreas de solo exposto.

No entanto, no ano de 2011 (figura 04), notou-se uma expansão significativa da área de solo exposto, de 184592,741 hectares em 2000, implicando na reconfiguração da paisagem tanto para áreas de vegetação rasteira, quanto para de vegetação densa.

Tabela 2. Percentuais das áreas por classe.

Intervalos	Classificação	Total hec	Percentuais 2000
-1 a -0,56	Água	3512,636	0,56
-0,57 a 0,2	Solo exposto	184592,741	29,53
0,3 a 1	Vegetação	436894,451	69,90

Fonte: Autores (2023).

A concentração de áreas com solo exposto (em cor amarela) é maior na figura 04, com destaque para a região sul do município, onde há concentração de áreas ocupadas pelo agronegócio, dada às formas geométricas (retângulos e círculos) facilmente visualizadas na imagem, principalmente na zona rural e ao sul do município, próximo a Riachão, que também faz parte da expansão agrícola, segundo IBGE (2021). Para Moreira (2000), áreas cultivadas, quando observadas de cima, apresentam formas mais ou menos retangulares ou quadradas a qual foi observada na área avaliada no período de 2011.

De maneira geral verificou-se que houve um grande aumento das áreas cultivadas, passando de 7.061 hectares em 2000 para 14.833 hectares em 2011. Essas transformações não condizem exclusivamente pela expansão agrícola de soja, no entanto, a expansão dessa cultura é um dos fatores determinantes para mudança na cobertura vegetal nessa região do município. A inserção da sojicultura no município, por exemplo, ganha força desde o final do século XX tem se fortalecido, como aponta a Tabela 3.

Tabela 3. Produção agrícola no município de Carolina de 2000 a 2011.

Culturas	2000	2011
	kg	

Soja (em grão)	208	13273
Mandioca	300	342
Milho (em grão)	920	369
Arroz (em casca)	2600	636

Fonte: Produção agrícola por município IBGE, 2021.

Desta maneira, percebeu-se, nas imagens, que as áreas agrícolas mais que dobraram tanto em solo exposto como em áreas com vegetação rasteira. O crescimento urbano pouco influenciou na mudança da cobertura vegetal entre os anos de 2000 e 2010. Os próprios dados demográficos revelam que o crescimento populacional ultrapassou no mesmo período de 2000 para 2011, como pode ser visto na Figura 5.

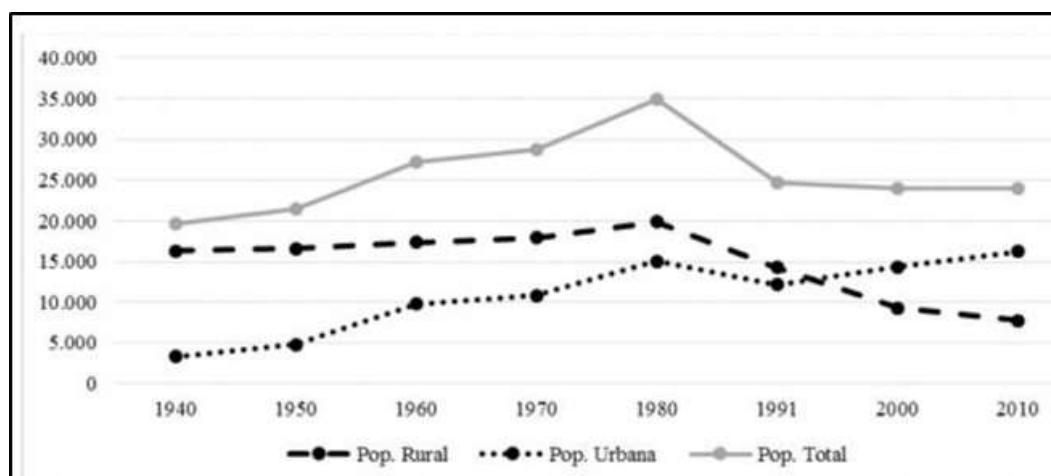


Figura 5. Evolução da população rural, urbana e total de Carolina-MA

Fonte: Ipeadata (2010)

Além da população total não ter um crescimento com ênfase de 23.991 em 2000 (IBGE, 2000), para 23.959 em 2010 (IBGE, 2010), a população rural decresceu e a população urbana aumentou, como é mostrado anteriormente. Para um estudo específico na área urbana, nota-se que há perda vegetal, contribuindo de forma local e quando tratamos do município completo. A formação do lago permitiu com que ocorresse a inundação de pequenas partes de terras em vários municípios, tendo o município de Carolina com a maior área desta inundação, entre todos eles, segundo consórcio responsável pela construção e manutenção da UHE de Estreito (CESTE).

A inundação levou a perda de área agricultável e boa parte de vegetação que constituía o ambiente nessa área. De modo que, principalmente aquelas que margeiam o rio Tocantins, encontram-se manchas de neossolos flúvicos, o que indica, segundo Santos et al. (2018), são solos com diversas características físicas, químicas e morfológicas dado devido a diversidade do seu material de origem e seu baixo grau de desenvolvimento pedogenético, são solos com elevado potencial agrícola e bastante susceptíveis na ocorrência de risco de inundação, que pode ser frequente ou muito frequente (figura 04). Por este motivo, escolheu-se o ano de 2011 já que foi o ano em que todas as comportas da usina de Estreito foram fechadas e, assim, formado o lago a montante.

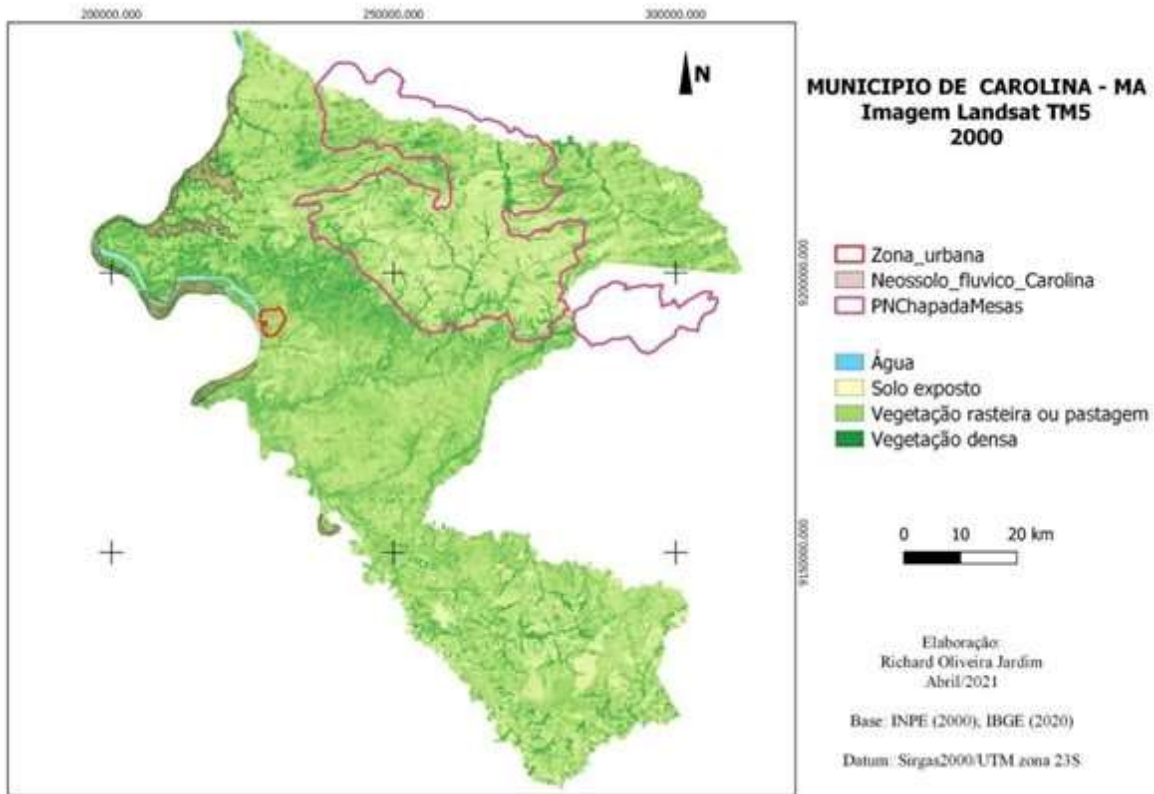


Figura 06. Mapa de uso do solo no município de Carolina em 2000.

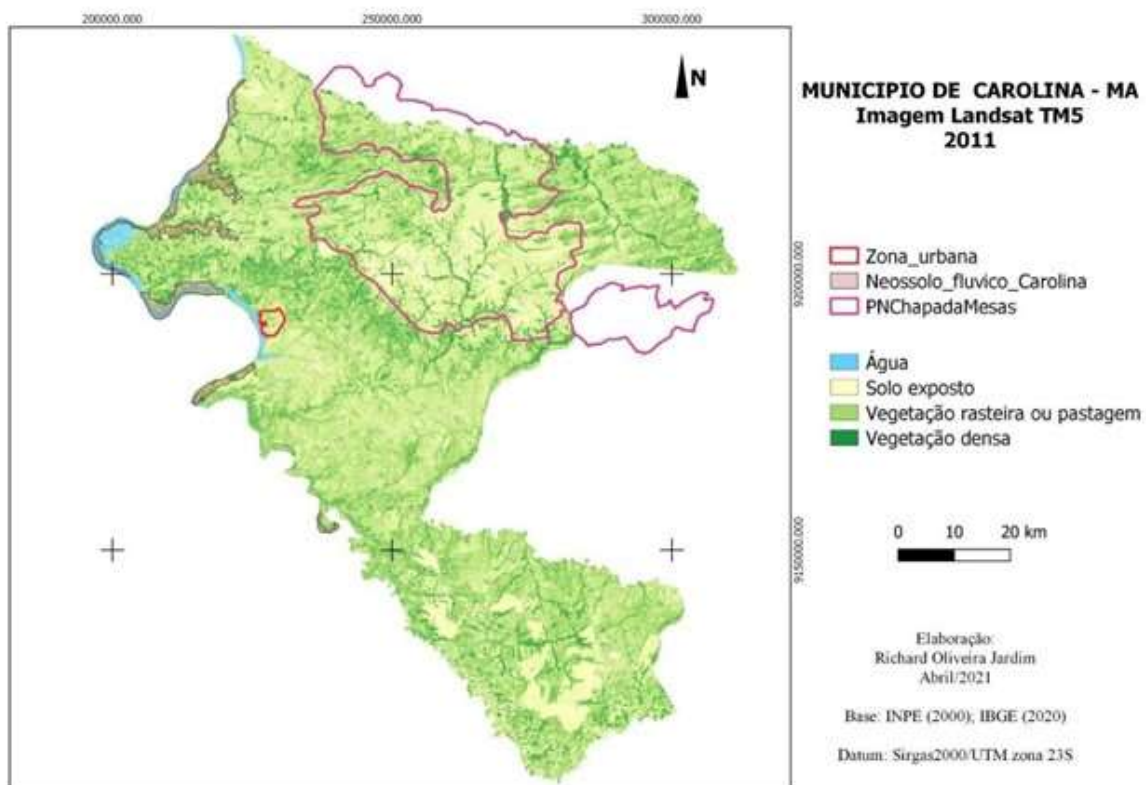


Figura 07. Mapa de uso do solo no município de Carolina em 2011.

A estimativa de temperatura e vegetação através da relação negativa com os valores de NDVI correspondentes foram determinados com o monitoramento fenológico para identificação das fases de

desenvolvimento da cultura (Sobrino et al., 2013). Especificamente para o Brasil, mesmo em alto ângulo de visão, o NDVI MSG apresenta grande potencial de aplicações, porém, são pouco investigados, devido à falta de confiabilidade nos dados e dificuldades operacionais na obtenção e processamento de dados de satélites geostacionários.

De fato, se as aplicações se resumem na revisão do produto (Borges, 2010), na estimativa da emissividade e cálculo da temperatura da superfície e na obtenção da composição da imagem NDVI pelo valor máximo. No entanto, alguns estudos buscam conhecer melhor esse dado, seja através da análise das características espaciais do NDVI em comparação com satélites polares (Silveira et al., 2015) para aplicação no estudo da fenologia e uso da terra (Correia e Silveira, 2015).

Comparando as figuras 06 e 07, observou-se que os índices gerados demonstram supressão de vegetação densa, inclusive em áreas internas do Parque Nacional das Chapadas das Mesas do ano de 2000 para o de 2011. Enquanto isso, as áreas em que se encontram os Neossolos Flúvicos foram inundados na porção sudoeste do município pelas águas do lago formado pelo represamento das águas do rio Tocantins no ano de 2011 (figura 05).

3. Conclusão

Foi identificada uma tendência de redução no valor do NDVI, observando a linha de tendência obtida no mês escolhido para o estudo. O índice de vegetação varia de uma imagem para a outra, obtendo uma variação entre razoavelmente grande, para determinadas áreas e tipo de vegetação.

O NDVI correspondeu ao objetivo de ressaltar a lâmina d'água, facilitando a identificação da planície de inundação e do rio Tocantins, no tocante a área do município de Carolina-MA, a partir da formação do lago, após a construção da barragem da usina hidrelétrica de Estreito-MA. Os resultados da aplicação deste índice para os anos selecionados verificaram-se que parte da área onde estão presentes os solos do tipo neossolos flúvicos, no município, em análise, foi submersa pela água represada no lago, nas regiões mais próximas ao leito do rio.

A pesquisa identificou várias possibilidades de aprofundamento da pesquisa em distintas vertentes do conhecimento científico, principalmente voltados a estudos de impactos agrários e pedológicos. Mas, com a perda vegetal, no município, a possibilidade de estudos voltados à temperatura de superfície também se torna uma indicação.

Referências

ARAÚJO, Pontes de., [et al.] Solos e Aptidão Agrícola das Terras. in: **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA): meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro**. 2. ed. v.1 / Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias. [et al.] (Orgs). São Luís: IMESC, 2021.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or PAR estimation. In: **Canadian Symposium on Remote Sensing, 12., 1989, Vancouver. Proceedings**. Ottawa: Canadian Remote Sensing Society, 1989, p.1195-1197.

BEZERRA, M.V.C.; Silva, B.B. & Bezerra, B.G. 2011. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(7):709-717. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

BORGES, L. A. 2010. Estimativa de NDVI no Estado de Minas Gerais Utilizando Imagens dos Satélites CBERS_2B/CCD e MSG/SEVIRI. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.03(2019) 1142-1155.1153 Silveira Junior, C. R., Ferreira Junior, L. G., Silva, B. B. Dissertação (Mestrado). Lavras, Universidade Federal de Lavras.

- BRASIL. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Obras / Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Biodiversidade, vida no Cerrado. Brasília, 2004.** Disponível em < ibram.df.gov.br > acesso em 06 de abril de 2021.
- CARLSON, T.N. & Ripley, D.A. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, 62(3):241-252.
- CESTE. Estudo de Impacto Ambiental-Relatório de Impacto Ambiental do AHE Estreito. Rio de Janeiro: **Ceste Consórcio Estreito de Energia**, 2004. 235 p.
- COPPING, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LABIN, E. 2004. Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, 25(9):1565-1596.
- CORREIA, L.H., SILVEIRA, C.R., 2015. Índice de vegetação de satélite geoestacionário para análise temporal fenológica do Cerrado em Goiás. **Anais X Simpósio Brasileiro de Agroinformática**. Ponta Grossa, 1–4. Available in: http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf_resumos/20/20_leandro_henrique_correia_177.pdf.
Acess: 08 mai. 2023
- FOLHES, MARCELO T. Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 12, 2005, Goiânia. Anais. São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 3009-3016.
- FRAGOSO, BRUNO ALUÍSIO BRAGA; HAMMES, BRUNO DOS SANTOS; COSTA, KÊNIA GONÇALVES. Plano Básico Ambiental Timbira: uma análise da implementação de um modelo de gestão indígena de recursos financeiros na mitigação de danos socioambientais. **Revista PerCursos, Florianópolis**, v. 19, n.41, p. 125 - 157, set./dez. 2018.
- GRAÇA, P.M.L.A. 2004. Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças. **Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**, INPE, São José dos Campos, Tese de Doutorado, 275 p.
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. Processamento de imagens digitais. **São Paulo: Ed. Edgard Blücher**, 2000.
- HUAN, C.; TOWNSHEND, J.R.; ZHAN, X.; HANSEN, M.; DEFRIES R.; SOHLBERG, R. 2000. Detecting Land Cover Changes Based on Their Trajectories in the Spectral Space. In: **INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS)**, Honolulu, 2000, IEEE, Proceedings, 5:1984-1986.
- IMESC - INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS CARTOGRÁFICOS. **Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE)** -. São Luís: 2019.
- INÁCIO, D.R., BARBOZA, D. V., BRUNO, S. F., Sensoriamento Remoto e uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão sobre Monitoramento. **Rev. FSA, Teresina**, v. 17, n. 11, 2317-2983. nov. 2020

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, v.11, n.3-4, p.185-200, 1991.

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

MASSOLI, E.C.; BORGES, F.Q. Análise das externalidades geradas pela usina hidrelétrica de Estreito (MA) e o processo de desenvolvimento. **Revista Desenvolvimento Em Questão**. v.12, n.28, p.251-278, 2014.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996

MOREIRA, M. A. **Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações**. 2000.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. & KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

PESSOA, L. G. M. Desenvolvimento de Cebola e atributos químicos de dois Neossolos Flúvicos irrigados com águas salinas. 2009. 87 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)** - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

REIS, M.S.; ESCADA, M.I.S; SANTANNA, S.J.S.; DUTRA, L.V. Métodos de classificação e análise de trajetórias de uso e cobertura da terra na Amazônia: implicações para estudos de regeneração florestal. **Rev. Bras. Cartogr**, vol. 72, n. Especial 50 anos, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56535>

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SSCHELL, J.A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. **Greenbelt: NASA**, 1974.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F. COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA SOLOS 5° ed., Rio de Janeiro, RJ, Cap. 12, 2018. SILVA, E. F.; ASSIS, R. N. de J; SOUSA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. Manejo e conservação do solo e da água. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo** 29 (3) Jun 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300009>

SANTOS, J. R.; KRUG, T.; ARAUJO, L. S.; MEIRA FILHO, L. G.; Almeida, C. A. 2001. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. Anais.São José dos Campos: INPE, 2001, p.1751-1755. [INPE-8219-PRE/4008]

SILVEIRA, C.R., MESQUISTA, V. V., GUIMARÃES, L. F., 2015. Análise da generalização cartográfica em imagens índice de vegetação geradas a partir de dados Meteosat Second Generation. **Anais XVII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 0683-690. João Pessoa. Available in: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0131.pdf>. Access: 07 mai. 2023.

SOBRINO, J.A., JULIEN, Y., SORIA, G., 2013. Phenology estimation from Meteosat Second Generation data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing** 6, 1653–1659

WIEDENFELD, B. Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production. **Agric. Water Manage.**, 95:85-88, 2008.

Recebido em: 10/02/2023

Aceito em: 09/05/2023

Endereço para correspondência:

Nome: Richard Oliveira Jardim

Email: jardim.richard@discente.ufma.br



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)