



MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ - FORTALEZA/CE

*Spatio-temporal monitoring of environmental degradation in Cocó
State Park - Fortaleza/CE*

*Monitoreo espacio-temporal de la degradación ambiental en el
Parque Estatal del Cocó - Fortaleza/CE*

Jack Endrick Pastrana Mojica¹, Pâmela Boelter Herrmann² Jäder de Oliveira Santos³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, Brasil.

jack.pastrana@ufrgs.br.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9539-1381>.

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, Brasil.

jack.pastrana@ufrgs.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9049-3141>.

³ Universidade Federal do Ceará, Pós-graduação em Geografia, Fortaleza, Brasil.

jader.santos@ufc.br.gov.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-7086>.

Recebido: 20/09/2024; Aceito: 08/04/2025; Publicado: 10/04/2025

RESUMO

As ocorrências geradas principalmente pelo adensamento urbano, práticas de extração de salineiras que foram desenvolvidas no passado e práticas de uso de fogo, representam um problema constante que leva à degradação ambiental dentro do Parque Estadual do Cocó (PEC). Portanto, o monitoramento espaço-temporal torna-se indispensável para assegurar a proteção e gestão ambiental. Nesse sentido, a utilização do sensoriamento remoto auxilia no acompanhamento dos fatores que incidem na transformação do parque. Este trabalho objetiva analisar o comportamento da saúde da vegetação nas condições ambientais entre o período 2015 – 2021. Para isso foram utilizados compostos mensais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A metodologia utilizou a plataforma de geoprocessamento *Google Earth Engine* (GEE) para processar e manipular dados de sensoriamento remotos. Os resultados deste estudo mapearam as alterações da cobertura da terra a partir da interpretação das trajetórias temporais NDVI. Foi possível mapear o incêndio que atingiu em grande parte à vegetação dentro do PEC no ano de 2021, além de identificar outras alterações, como desmatamento e mudanças relacionadas a fatores ambientais. As trajetórias de mudanças permitiram identificar a vegetação com maior desenvolvimento registrando valores de 0,7 a 0,9, das áreas com pouco desenvolvimento com valores de 0,1 a 0,2. Quanto à avaliação do método, obteve-se uma exatidão temática no mapa aproximadamente 84% de correspondência global nas categorias de mudanças no mapa.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, Séries temporais, NDVI, Google Earth Engine, Fenologia da vegetação.

ABSTRACT

The occurrences generated mainly by urban development, salt extraction practices that were developed in the past and fire use practices within the park, represent a constant problem that leads to environmental degradation within the Integral Protection Conservation Unit (UC). Therefore, the Cocó State Park (PEC), spatio-temporal monitoring becomes indispensable to ensure environmental protection and management, in this sense the use of remote sensing helps in monitoring and tracking the factors that affect the transformation of the park. This work aims to analyze the behavior of vegetation health in environmental conditions between 2015 and 2021, using monthly composites of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The methodology used the *Google Earth Engine* (GEE) geoprocessing platform to process and manipulate remote sensing data. The results of this study mapped land cover changes based on the interpretation of NDVI time trajectories. It was possible to map the fire that largely affected the vegetation within the PEC in 2021, as well as to identify other changes, such as deforestation and changes related to environmental factors. The trajectories of change made it possible to identify the vegetation with the greatest development, with values of 0.7 to 0.9, and the areas with little development, with values of 0.1 to 0.2. For the method evaluation, the map achieved a thematic accuracy of approximately 84% global correspondence in the change categories.

Keywords: Remote sensing, Time series, NDVI, Google Earth Engine, Vegetation Phenology.

RESUMEN

Las ocurrencias generadas principalmente por la densidad urbana, las prácticas de extracción de salinas que se desarrollaron en el pasado y las prácticas de uso del fuego dentro del parque, representan una problemática constante que conlleva a la degradación ambiental dentro de la Unidad de Conservación de Protección Integral (UC) Parque Estatal Cocó (PEC), por lo que el monitoreo espacio-temporal se hace indispensable para garantizar la protección y gestión ambiental, en este sentido el uso de sensores remotos ayuda en el monitoreo y seguimiento de los factores que inciden en la transformación del parque. Este trabajo tiene como objetivo analizar la fenología de la vegetación en las condiciones ambientales entre 2015 y 2021, utilizando compuestos temporales mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). La metodología utilizó la plataforma de geoprocesamiento *Google Earth Engine* (GEE) para procesar y manipular las series de imágenes. Los resultados de este estudio mapearon los cambios en la cobertura de la tierra a partir de la interpretación de las trayectorias temporales del NDVI. Fue posible cartografiar el incendio que afectó en gran medida a la vegetación dentro del PEC en 2021, además de identificar otros cambios, como la deforestación y las alteraciones relacionadas con factores ambientales. Las trayectorias de cambio permitieron identificar la vegetación con mayor desarrollo, con valores de 0.7 a 0.9, y las áreas

PASTRANA et al.

con senescencia, con valores de 0.1 a 0.2. En cuanto a la evaluación del método, se obtuvo una precisión temática de 84 % de correspondencia global en las categorías de cambio.

Palabras clave: Sensores remotos, Series de tiempo, NDVI, Google Earth Engine, Fenología de la vegetación.

1. Introdução

O Parque Estadual do Cocó (PEC), localizado em Fortaleza/CE, é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral que, desde 2017, foi incorporada a um sistema de política pública e governança voltado para sua preservação. Apesar desses esforços, o PEC enfrenta desafios ambientais significativos, como o desmatamento, as queimadas recorrentes e as secas prolongadas, que têm impactado negativamente o ecossistema e contribuído para a redução das áreas de manguezais (FERREIRA, ARAÚJO, 2021; SANTOS, 2011).

A localização do PEC dentro da área metropolitana de Fortaleza destaca sua importância na prestação de serviços ecossistêmicos, como lazer e educação ambiental, sendo serviços fundamentais para a conscientização e conservação do parque. Além disso, sua composição vegetal, que inclui elementos do Cerrado, da Caatinga, da Mata Atlântica e extensas áreas de manguezais, contribui para a regulação climática e o equilíbrio ecológico na região (CASTRO *et al.*, 2012; MORO *et al.*, 2015).

Trabalhos como o de Ferreira e Araújo (2021) mostraram que os elementos climáticos e as atividades antropogênicas são os principais fatores que influenciam na perda do ambiente ecológico e da floresta no PEC. Esse resultado foi ratificado por Mojica *et al.*, (2022), que observaram que o aumento na degradação do PEC está sendo gerado por processos de poluição urbana, como a eutrofização devido à construção de companhias de esgoto próximas às lagoas, e pelo desmatamento para a exploração comercial das espécies de carnaúba, por meio do uso das queimadas como prática recorrente dentro do parque.

Estudos mostram que o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará (CBMCE) atendeu a 182 ocorrências de incêndios florestais no PEC entre 1999 e 2018, sendo os últimos três meses de cada ano os de maior risco (FERREIRA, ARAÚJO, 2021). Durante esse período, condições ambientais, como o aumento da biomassa seca, altas temperaturas e ventos fortes, combinadas com intervenções humanas frequentemente relacionadas à extração de madeira para

exploração comercial, exacerbando o ciclo de desmatamento e incêndios (FERREIRA, 2019). Tais fatores configuram um cenário crítico, no qual o uso do fogo como meio de subsistência pela população intensifica os riscos no PEC. Além disso, a ocupação urbana desempenha um papel fundamental na transformação das coberturas vegetais (FREIRES, 2013; SANTOS, 2011).

Para aprimorar o monitoramento desses impactos e das mudanças na cobertura vegetal, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem se mostrado uma ferramenta eficaz. A análise de séries temporais de NDVI permite detectar perturbações florestais (SPADONI *et al.*, 2020), com base na trajetória dos pixels ao longo do tempo. Quando a trajetória de um pixel se afasta do valor esperado, isso indica uma possível alteração na fenologia da vegetação, facilitando a identificação de processos como queimadas, supressão vegetal, plantios e áreas de desenvolvimento florestal (JIANG *et al.*, 2021).

Além disso, a interpretação das séries temporais de NDVI permite construir cronologias que são úteis na identificação de mudanças espaciais e fenológicas, não apenas em culturas, mas também em aspectos como o desenvolvimento urbano e a eficiência do uso do solo (WANG, 2022). A aplicabilidade dessas séries temporais também possibilita avaliar as mudanças nos estados de crescimento da vegetação em relação às condições meteorológicas ao longo do tempo (KLIMAVIČIUS *et al.*, 2023).

Desta forma, o objetivo deste estudo é analisar as mudanças na cobertura vegetal do PEC entre 2015 e 2021, utilizando séries temporais de NDVI como ferramenta de monitoramento de degradação ambiental. Com isso, busca-se contribuir para o entendimento das dinâmicas ambientais e fornecer subsídios para a gestão sustentável dessa importante unidade de conservação.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo foi delimitada conforme as diretrizes da Secretaria do Estado de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE, 2022) e o Plano de Manejo do PEC

Revista Espaço & Geografia, v. 28, 2025 (DOI: 10.26512/2236-56562025e55573).

<https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/index>

(2020). Localizada na região metropolitana de Fortaleza, Ceará, esta área cobre 1.571,29 hectares e faz parte das Unidades de Conservação de Proteção Integral. Inserida na bacia hidrográfica do rio Cocó, a área desempenha um papel crucial na drenagem das águas do município de Fortaleza.

Caracteriza-se por superfícies de sedimentos lamosos, com elevado teor de matéria orgânica proveniente de processos fluviais e marinhos na foz do rio Cocó (FREIRES, 2014). Essas condições favorecem a formação de unidades fitogeográficas, destacando-se as espécies de manguezais, de acordo com o Plano de Manejo do PEC (2020), é a cobertura vegetal predominante no PEC. Santos (2011) indica que grande parte dessa vegetação está em estágio avançado de regeneração devido ao declínio das atividades salineiras na região.

Nas proximidades do manguezal é possível observar a presença de carnaubais (*Copernicia prunifera*), palmeiras características de terrenos alagados, mas que também se adaptam a longos períodos de estiagem (SOUZA, 2009; SEMACE, 2022). Já ao sudeste da área de estudo nas proximidades do rio Cocó, a presença de florestas de dunas fixas em bom estado de conservação pode ser evidenciada, contínuas ao complexo turístico Sabiaguada (MOJICA *et al.*, 2022).

Na área de transição entre terrenos brejosos e paludosos com vegetação herbácea e vegetação de tabuleiro no PEC, segundo Castro e Moro (2015), se localiza um ambiente florestal com presença de comunidades arbóreas e arbustivas, sendo sua composição derivada da presença do Cerrado e da Caatinga. Sendo as áreas mais afetadas pelos processos de desmatamento e ocorrências de fogo na região.

Por outro lado, a presença de macrófitas aquáticas como o Aguapé (*Eichhornia crassipes*) e, em menor proporção, a alface-d'água (*Pistia stratiotes*). Sendo que, a abundância dessas plantas indica impactos ambientais decorrentes da poluição que atualmente afeta o PEC, uma vez que essas espécies são frequentemente utilizadas para a depuração de corpos d'água poluídos

PASTRANA et al.

(SOUZA,2022). Para esta pesquisa, foram selecionados os dois trechos dentro do PEC (Figura 1). O Trecho 1, com 1.080,74 hectares, está situado na transição entre a zona urbana de Fortaleza e o estuário do rio Cocó. O Trecho 2, com 490,55 hectares, abrange a área de maior densidade residencial e atividade econômica dentro do parque.

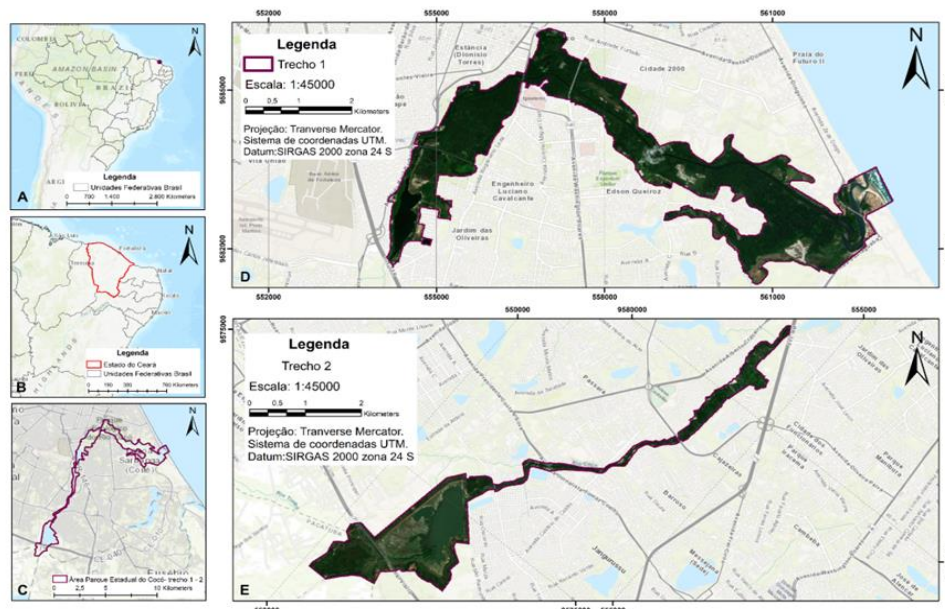


Figura 1 – a) Localização do PEC no Brasil. b) Localização do Estado do Ceará. c) Localização do PEC em relação a área urbanizada. d) Trecho 1. e) Trecho 2. Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

2.2 Acervo de dados

Para a detecção de mudanças na cobertura da terra no PEC, foram utilizadas imagens do *MultiSpectral Instrument* (MSI) do Sentinel-2A, fornecidas pela Agência Espacial Europeia (ESA, 2022). Essas imagens, de escala média, foram selecionadas devido à sua alta frequência temporal, com revisita a cada 5 dias, o que proporciona imagens de alta qualidade radiométrica (12 bits), e utilizamos as bandas com resolução espacial de 10 metros (ESA, 2022).

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um descritor da saúde da vegetação, baseia-se na diferença de reflectância entre a luz visível (particularmente a banda vermelha) e o infravermelho próximo (NIR). A clorofila nas folhas absorve intensamente a luz visível para a fotossíntese, enquanto a estrutura celular das folhas reflete significativamente a radiação no NIR (ROUSE *et al.*, 1974; JIANG *et al.*, 2021).

Essa diferença na reflectância possibilita monitorar a densidade da vegetação. O NDVI é calculado a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho visível, sendo que valores próximos a 1 indicam vegetação saudável, enquanto valores próximos a 0 ou negativos indicam solo exposto e corpos de água. Essas variações são utilizadas em análises multitemporais da fenologia da vegetação. Com base na interpretação do histórico de cada pixel, é possível avaliar interferências antrópicas e ambientais ao longo do tempo, identificando processos como queimadas, supressão vegetal ou áreas em desenvolvimento florestal (LAMBIN, STRAHLER, 1994; JIANG *et al.*, 2021).

Para a construção dos compostos temporais mensais de NDVI, as imagens foram filtradas para os meses de menos chuva, que correspondem a outubro, novembro e dezembro, no período de 2015 a 2021. A padronização das datas nos compostos anuais garantiu que a comparação dos métodos fosse baseada no comportamento fenológico da vegetação sob condições ambientais semelhantes.

A escolha da metodologia dessa metodologia foi baseada em sua capacidade de detectar mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo, permitindo uma avaliação detalhada das dinâmicas ambientais na área de estudo. O uso do método *Maximum Value Compositing* (MVC) conforme descrito por Holben (1986) garante que as imagens utilizadas representem os valores mais elevados de NDVI dentro de cada período analisado, reduzindo a influência de fatores externos, como a presença de nuvens e variações atmosféricas temporárias (HOLBEN, 1986).

Além disso, a utilização do *Google Earth Engine* (GORELICK *et al.*, 2017) para o processamento das imagens possibilitou a manipulação eficiente de grandes volumes de dados, garantindo a geração das séries temporais, por meio da utilização da função "*ee.ImageCollection ()*" para carregar as coleções de imagens, do filtro "*filterDate ()*" para definir o intervalo temporal e da função "*normalizedDifference ()*" para o cálculo do NDVI.

Nesta pesquisa, foram selecionadas as bandas 4, 5 e 8 para a análise do NDVI, mas vale salientar que, para construir os compostos de vegetação, só foram necessárias as bandas 5 e 8. Estas foram selecionadas por meio da função “addBands”, e os compostos máximos de NDVI foram exportados em formato GeoTIFF utilizando a função “Export.Image.toDrive”, que permitiu a configuração dos parâmetros de saída e o armazenamento dos arquivos em uma pasta específica no Google Drive.

Considerando que o período de revisita do Sentinel-2 é de 5 dias (ESA, 2021), foi possível obter de três a quatro imagens por mês. Em seguida, aplicou-se a função “*statistical max ()*”, a qual gera uma imagem individual com os valores máximos registrados na série mensal. Esse processo foi realizado para cada mês e período analisado. Vale destacar que, no intervalo de 2015 a 2021, foram gerados 21 compostos temporais mensais, utilizando um total de 79 imagens.

O processo descrito foi repetido mensalmente para os anos de análise da pesquisa, com foco nos meses que correspondem ao período seco da área de estudo (FUNCEME, 2021). A exclusão dos meses chuvosos visou reduzir a interferência da nebulosidade, que poderia comprometer a precisão dos registros de NDVI. Além disso, as assinaturas espectrais das coberturas da terra foram interpretadas no software de geoprocessamento QGIS na versão 3.2, considerando que o grande volume de séries temporais pode exigir alto desempenho computacional, representando uma limitação para a análise das trajetórias fenológicas.

2.3 Construção de assinaturas espectrais de NDVI

Para definir as trajetórias de mudanças do NDVI entre 2015 e 2021, foi realizada uma comparação das curvas fenológicas das diferentes coberturas da terra, visando identificar variações nas assinaturas espectrais relacionadas à saúde da vegetação. A interpretação dos dados focou nos valores mais altos de NDVI durante os meses selecionados para a elaboração dos compostos temporais mensais do NDVI.

As assinaturas espectrais foram analisadas a partir dos gráficos de evolução temporal gerados pela ferramenta "Value Tool" do software QGIS versão 3.2. Com base nessa análise visual, foi possível desenvolver uma legenda de mudanças, fundamentada nas definições de Borrego (2002), Romer *et al.*, (2010), Vorovencii (2017) e Allen *et al.*, (2018), que indicam que as variações espectrais podem ser utilizadas para interpretar possíveis mudanças biofísicas na área de estudo. Como mostrado na Tabela 1, foram definidas quatro categorias de mudanças na cobertura da terra. A validação dessas categorias foi realizada por meio de verificações em campo na área de estudo.

Cobertura 2015	Cobertura 2021				
	Classe	Áreas sem vegetação	Vegetação densa	Vegetação herbácea	Superfícies de água
	Áreas sem vegetação	Sem alteração	Rebrota	Rebrota	Alagamento
	Vegetação densa	Degradação	Sem alteração	Degradação	Alagamento
	Vegetação herbácea	Degradação	Rebrota	Sem alteração	Alagamento
	Superfícies de água	Degradação	Rebrota	Rebrota	Sem alteração

Tabela 1 – Categorias de mudanças da cobertura da terra definidas na pesquisa. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Após a geração dos gráficos de evolução temporal, foram definidos 29 pontos de verificação em campo. Esses pontos foram selecionados com base nos gráficos previamente elaborados, bem como nas informações contextuais dos compostos temporais, como padrões e cores que indicaram alterações na vegetação. Com essas informações, foi possível definir a seleção de 77 amostras na área de estudo, totalizando 14.243 pixels, que serviram como conjunto de validação para a classificação supervisionada de imagens. Para a classificação do mapa de mudanças, foi utilizada uma combinação colorida RGB dos compostos temporais de outubro, novembro e dezembro de 2021, por apresentar as condições mais atuais da área de estudo. Essa abordagem permitiu maior precisão na identificação das alterações, utilizando-se os 29 pontos de trajetórias de mudanças, que representaram a história passada da vegetação previamente verificada.

Esta classificação foi realizada no software QGIS, utilizando o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Após a definição das regras de segmentação, foi aplicado o método classificador de distância mínima (CASTILLEJO *et al.*, 2014), resultando em uma nova imagem classificada que representou as quatro categorias de mudanças na cobertura da terra.

A validação do método classificador foi conduzida por meio da geração de uma matriz de erro ou confusão (FIGUEIREDO, OLIVEIRA, 2007; CABRERA *et al.*, 2011; RODRIGUEZ *et al.*, 2012). Essa matriz possibilitou a avaliação dos parâmetros de omissão, comissão e acurácia, culminando em um relatório detalhado sobre a exatidão global e o desempenho da classificação (FONSECA, 2000; AVOGADRO, PADRÓ, 2019). Esse processo garantiu que as classificações realizadas fossem precisas e confiáveis, refletindo de forma adequada as mudanças observadas na cobertura da terra ao longo do período estudado.

3. Resultados e discussão

3.1 Trajetórias de mudanças de NDVI

A figura 2 mostra o resultado obtido na composição colorida de NDVI, após ter sido aplicada uma combinação RGB utilizando os compostos mensais de outubro, novembro e dezembro do ano 2021, a fim de melhorar as interpretações nas séries de NDVI. As cores amarelas estão associadas a áreas sem vegetação e áreas com menor desenvolvimento da vegetação. As cores vermelho, rosa e azul são as áreas em processo de crescimento vegetal e as cores de cinza a branco representam as áreas com maior desenvolvimento da vegetação, enquanto as cores escuras se referem a corpos de água.

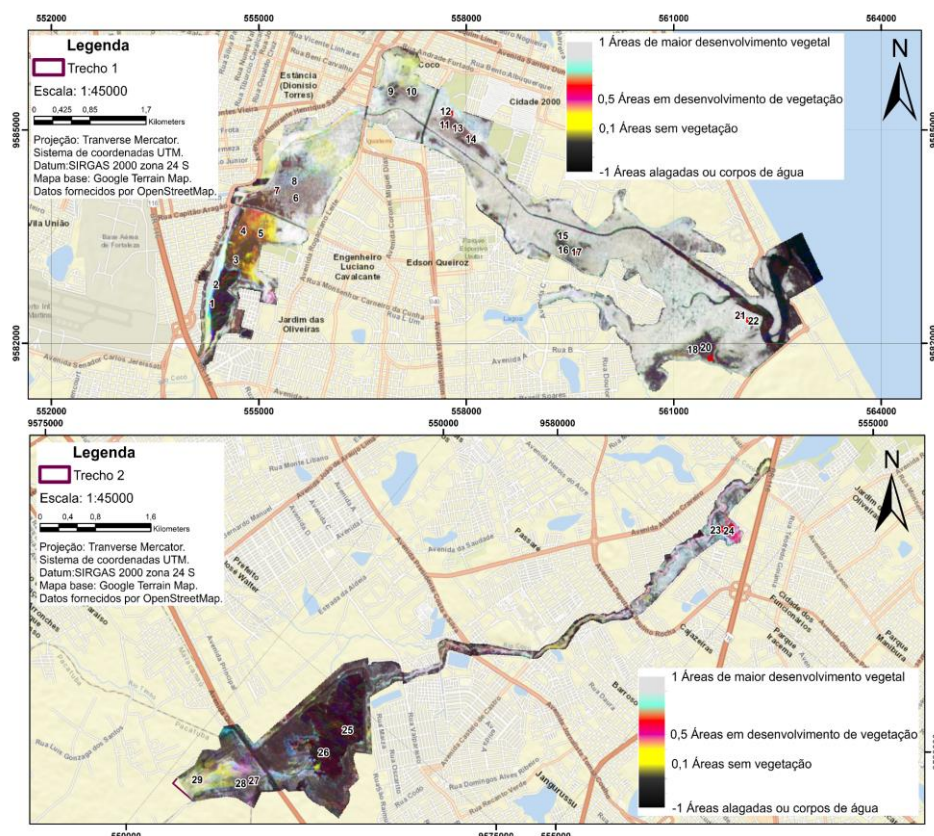


Figura 2 - Pontos de observação para a construção de trajetórias de mudanças de NDVI no PEC. Composição colorida de NDVI mês de outubro, novembro e dezembro ano 2021. Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

Com base na Figura 3, as assinaturas espectrais nos pontos 1 e 2 mostraram valores elevados de NDVI ($\sim 0,8$) a partir de dezembro de 2018, indicando um comportamento estável e contínuo das espécies de vegetação aquática herbácea (Aguapé). Em contraste, no ponto 3, observou-se uma dinâmica fenológica distinta, provavelmente causada pelas chuvas da pré-estação na região metropolitana de Fortaleza, que começam em dezembro/janeiro (CASTRO, 2022), resultando em um aumento das cheias nas lagoas do setor da Aerolândia e afetando os picos do NDVI. Flutuação do NDVI nas áreas com processos de eutrofização ou rebrota da biomassa.

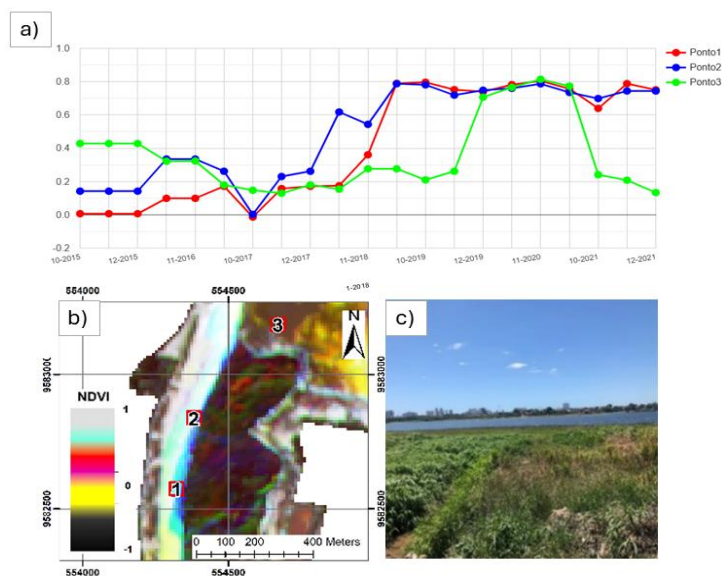


Figura 3 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas com processos de eutrofização ou rebrota da biomassa no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Ponto 1, 2 e 3 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 1, Setor Lagoas do bairro Aerolândia, 12 de agosto de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

As assinaturas espectrais dos pontos 4 e 5, mostradas pelo índice vegetativo na Figura 4, indicam altos valores de NDVI (0,7 a 0,9) ao longo dos anos de 2015 a 2020. No entanto, um declínio no índice é observado de outubro a dezembro de 2021 (0,1 a 0,3). Esse fenômeno foi atribuído ao incêndio no PEC durante esse período, corroborando o que foi mencionado por Jiang *et al.* (2021) e Gao *et al.* (2022), de que as atividades antrópicas contribuem significativamente para as alterações nas trajetórias de NDVI em áreas urbanas.

A análise temporal do incêndio no Cocó permitiu interpretar que, um mês antes de sua ocorrência, o composto mensal de outubro registrou valores mais baixos de NDVI (0,5) em comparação com anos anteriores (0,9), sendo este o mês em que a vegetação estava mais seca em 2021. Segundo Ferreira e Araújo (2021), essa interpretação pode indicar que a seca prolongada e os baixos índices pluviométricos contribuíram para a extensão da área afetada pelo incêndio.

Embora a Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE) tenha confirmado que o incêndio foi causado por fogueiras utilizadas para cozinhar alimentos, Ferreira (2019) destaca que, entre julho e novembro, as condições climáticas no Ceará favorecem um aumento dos focos de incêndio nas florestas.

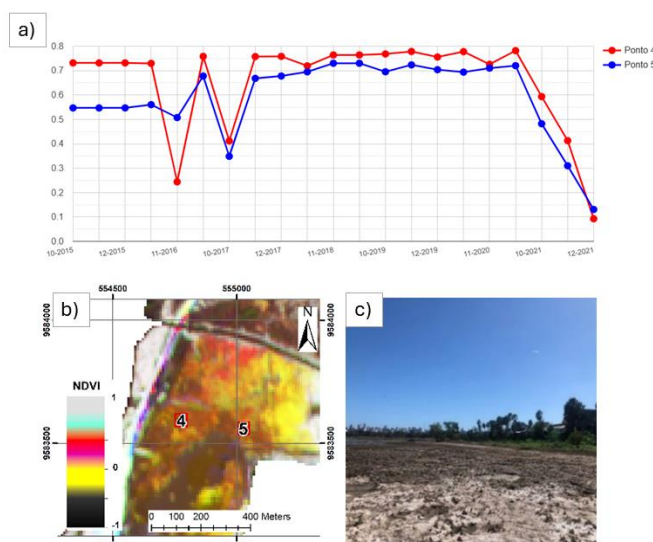


Figura 4 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas degradadas no PEC no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Ponto 4 e 5 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 5, Setor bairro Salinas, 12 de agosto de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Na localização dos pontos 6, 7 e 8 da Figura 5, situados no Trecho 1, no bairro São João do Tatuapé, encontram-se áreas que apresentaram altos níveis de atividade fotossintética no período de 2015 a 2020. A verificação em campo constatou que, atualmente, essas áreas estão alagadas, o que possivelmente resultou na queda do índice vegetativo para o ano de 2021, com valores de 0,1.

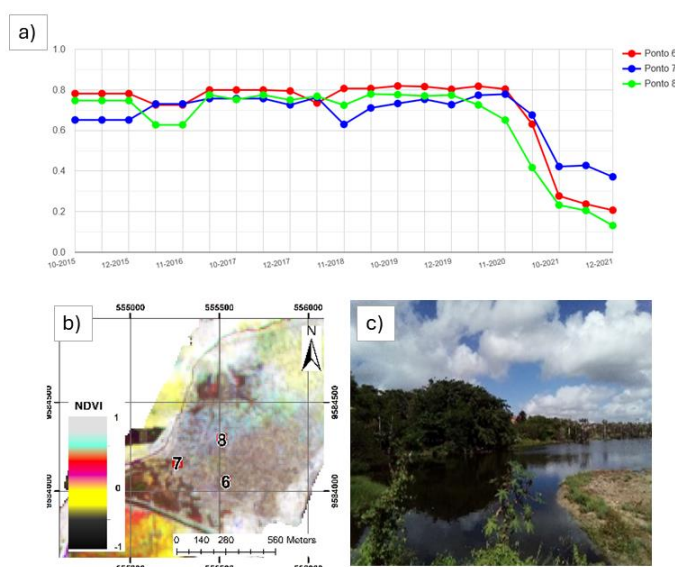


Figura 5 - (a) Flutuação do NDVI transição nas áreas com vegetação para áreas alagadas no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 6, 7 e 8 de amostragem

com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 7, Setor bairro Aerolândia, 12 de julho de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Na Figura 6, é apresentada a localização da trilha ecológica do Parque do Cocó, onde é possível observar valores baixos de NDVI ao longo da série temporal, conforme verificado em campo nos pontos de observação 9 e 10. Esses pontos estão sujeitos a inundações permanentes, o que limita o desenvolvimento da biomassa. No entanto, foi identificado o crescimento de algas, que pode gerar uma resposta espectral com um pico máximo de 0,4 no índice vegetativo.

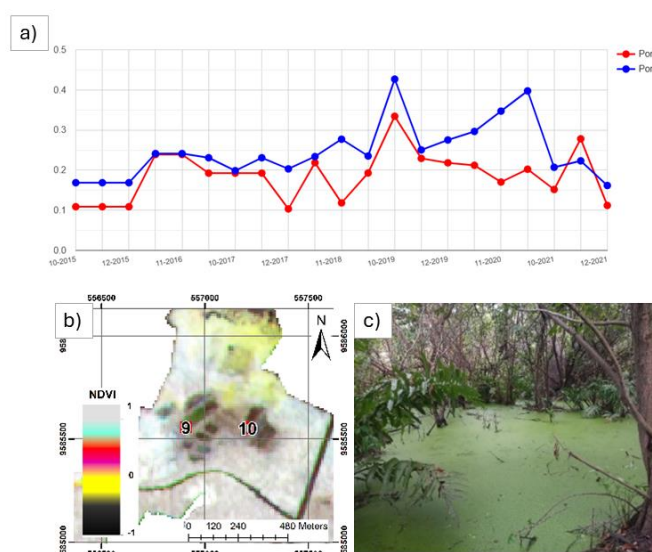


Figura 6 - (a) Flutuação do NDVI em processos de eutrofização nas áreas alagadas no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 9 e 10 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 10, Setor Nordeste, área do PEC, bairro cidade 2000, 3 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

As dinâmicas da vegetação mencionadas anteriormente podem ser relacionadas aos pontos de observação 11, 12, 13 e 14 (Figura 7), onde foram identificados ambientes paludosos com pequenas lagoas sazonais que influenciam o desenvolvimento das espécies locais. Essa relação ratifica que as mudanças nas trajetórias do NDVI estão ligadas aos estágios de desenvolvimento das plantas e às condições meteorológicas (ČIUS *et al.*, 2023) o que influencia valores mais baixos de NDVI. Essa explicação corrobora que os meses com maior volume de precipitação na área metropolitana de Fortaleza, especialmente

PASTRANA et al.

durante as chuvas da pré-estação em dezembro (FUNCEME, 2021), afetam o desenvolvimento de algumas espécies.

Portanto, as espécies encontradas no bairro Cidade 2000 não mostraram uma tendência estável no índice vegetativo (Figura 7), sugerindo que são menos afetadas pela poluição urbana. Em contraste, as espécies de aguapé no bairro Aerolândia (Figura 3) que registraram um comportamento estável e alto (0,8) a partir de 2018, devido à construção da companhia de esgoto, o que gerou o processo de eutrofização na lagoa. Essa interpretação permite inferir que as séries temporais de NDVI diferenciam as perturbações de origem antrópica daquelas relacionadas às características ambientais do lugar (JIANG *et al.*, 2021).

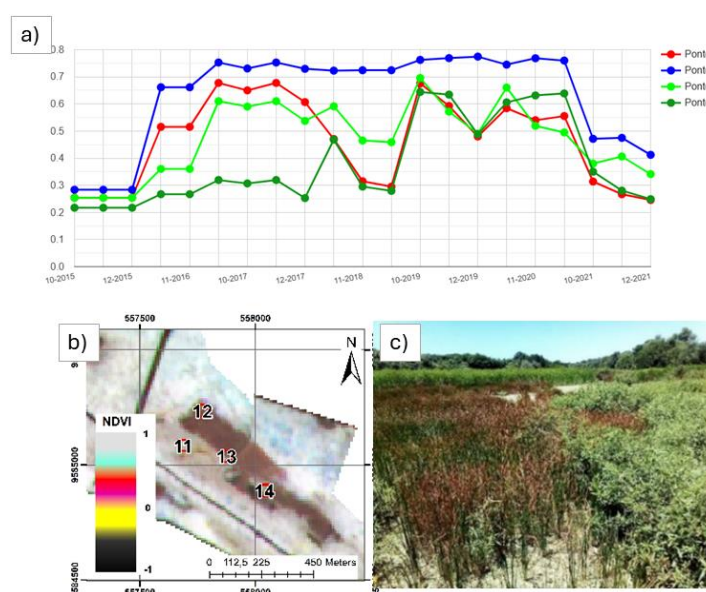


Figura 7 - (a) Trajetórias da vegetação aquática herbácea em diferentes estágios de desenvolvimento no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 11, 12, 13 e 14 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 11, Setor Nordeste, área do PEC, bairro cidade 2000, imagem datada em: 3 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Os pontos 15, 16 e 17 (Figura 8) estão localizados no bairro Edson Queiroz, na zona de acesso às antigas salineiras, que, na atualidade segundo o Plano de Manejo do PEC (2020), é uma área de solo exposto com maior extensão dentro do PEC e está em processo de regeneração natural. No entanto, isso não foi possível verificar, pois a única estrada de acesso ao local está margeada pela presença de vegetação de manguezal com maior desenvolvimento e solo lamacento,

PASTRANA et al.

limitando a entrada para a verificação em campo. Do ponto de vista espectral, o índice vegetativo registrou um declínio para 0,1, enquanto em 2020 e 2021 observou-se um aumento, com o pico máximo de 0,4.

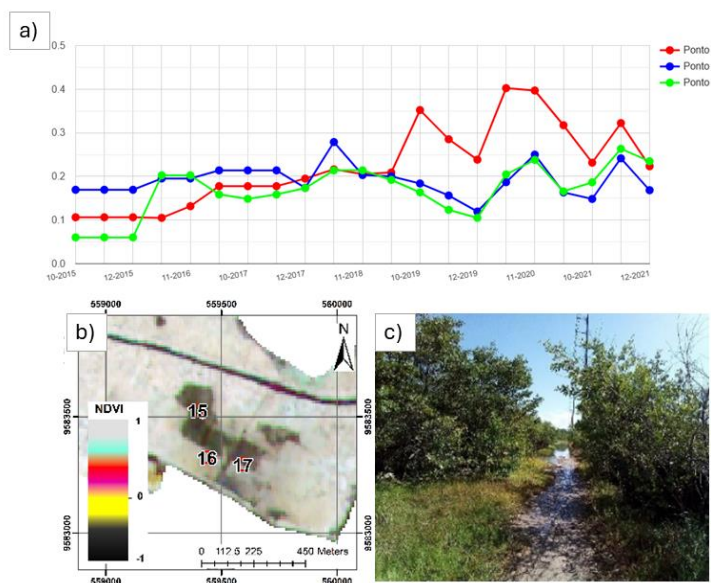


Figura 8 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas de solo exposto com pouco desenvolvimento vegetal no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 15, 16 e 17 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Imagem próxima ao ponto 17, onde houve impossibilidade de acesso da área alagada, Setor antigas salineiras, bairro Edson Queiroz 2000, 3 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

A Figura 9 corresponde ao comportamento espectral da floresta de dunas localizada no trecho 1, contíguo ao Parque Municipal de Sabiaguada (PNM), que ocupa uma área considerável e única dentro do PEC. Nos pontos 18 e 19, é possível observar uma tendência estável com valores baixos nos índices vegetativos, o que se relaciona às lagoas interdunares, características deste tipo de ambiente. Já no ponto de observação 20, são obtidos valores com pico máximo de 0,4, que estão provavelmente associados ao padrão fisionômico da vegetação sobre dunas fixas (SOUZA, 2009).

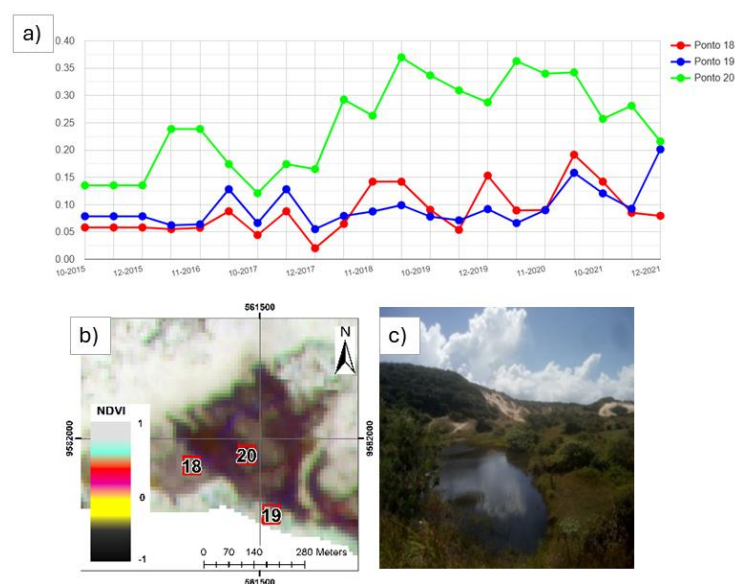


Figura 9 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas de dunas fixas interdunares no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 18, 19 e 20 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 19, Parque Municipal de Sabiaguada (PNM), 3 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

O que foi afirmado por Rouse *et al.*, (1974), Tucker (1979) e Paruelo (2014) pode ser verificado na Figura 10, na qual o comportamento da vegetação, fotossinteticamente ativo, ou a boa saúde da vegetação, permite obter um índice vegetativo com valores entre 0,7 e 0,8. No entanto, como menciona Hussain *et al.*, (2013), as trajetórias temporais de NDVI são sensíveis às alterações climáticas. Assim, nos pontos 21 e 22, observou-se um decréscimo no índice a partir do mês de outubro de 2017, o que interfere no registro estável da vegetação de mangue.

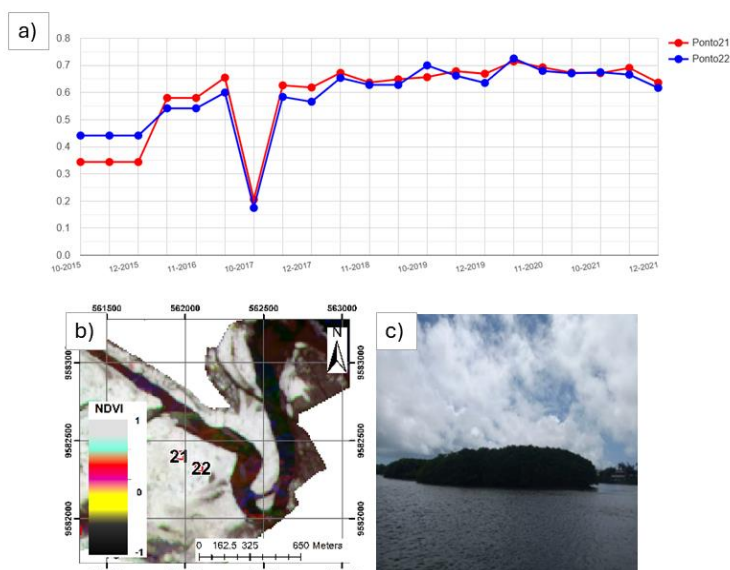


Figura 10 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas com maior desenvolvimento vegetal no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 21 e 22 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 21, Parque Municipal de Sabiaguada (PNM), 3 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

No Trecho 2, foram interpretadas três trajetórias de mudanças, de modo que, na Figura 11, é possível observar como a vegetação responde, apresentando um comportamento estável com valores de 0,5 no início de 2015 a 0,7 até o final de 2020. Estes valores estão associados à cobertura arbustiva de carnaubais identificada nesta área em particular. Em comparação, no início de 2021, observa-se um menor desenvolvimento devido às práticas de desmatamento realizadas pelos moradores locais, o que corrobora com o Plano de Manejo do PEC (2020), que ratifica que esta área é a mais afetada pelas atividades antropogênicas no PEC. Embora não tenha sido possível acessar a área do desmatamento, se verificou a degradação dos Carnaubais no bairro Cajazeiras, nas proximidades da R. Francisco Nogueira que margeia o PEC.

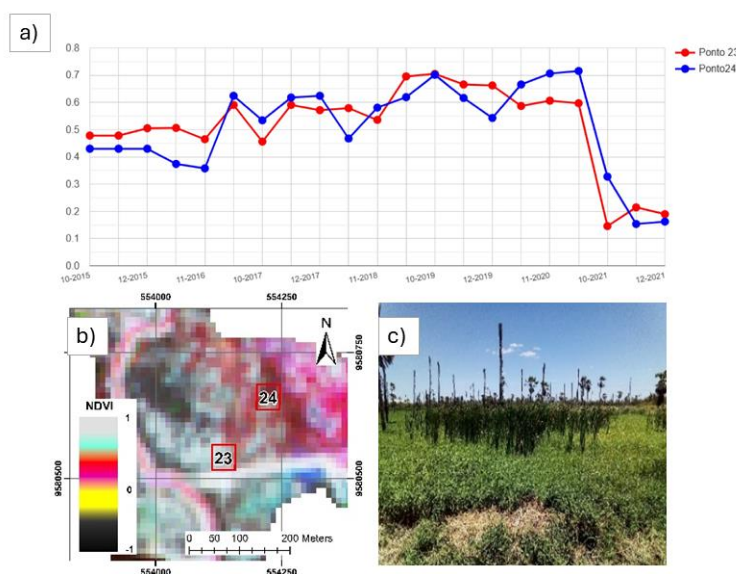


Figura 11 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas em processos de desmatamento na vegetação de carnaubais no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 23 e 24 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 24, Setor bairro Cajazeiras, imagem datada em:10 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Conforme destacado no Plano de Manejo do PEC (2020), a barragem do Rio Cocó foi inaugurada em 2017, resultando em enchentes constantes na área e em seu entorno. Desde então, observou-se um declínio no índice de NDVI a partir de outubro de 2017, com quedas contínuas até a última data de referência,

PASTRANA et al.

chegando a valores próximos de -0,1. Esse comportamento pode ser observado na Figura 12, que ilustra a área próxima à rodoviária do Quarto Anel Viário.

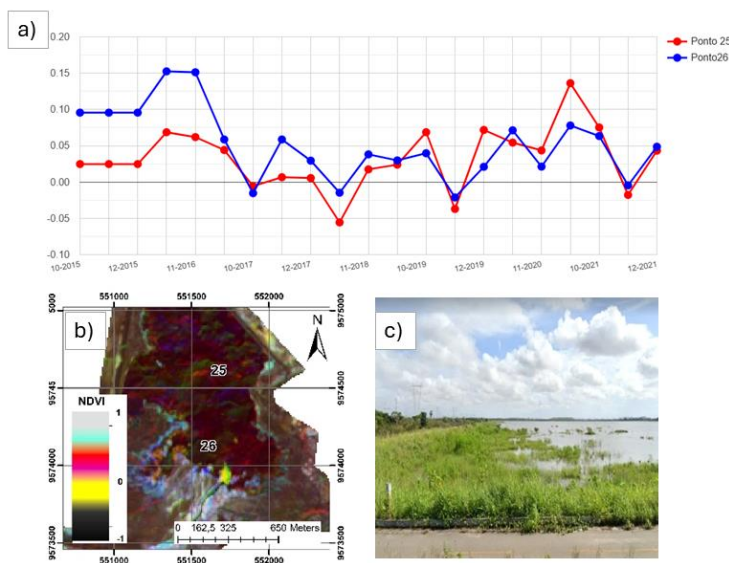


Figura 12 - (a) Flutuação do NDVI nas áreas com processos de eutrofização em áreas alagadas no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 25 e 26 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 25, Setor barragem de contenção de cheias do Rio Cocó, imagem datada em:20 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Na Figura 13, observa-se um aumento significativo nos valores do NDVI, de quase 0,8, entre dezembro de 2017 e outubro de 2018. No entanto, essa dinâmica de crescimento constante foi interrompida por episódios de alagamentos, principalmente devido às cheias da barragem do Rio Cocó durante o período de 2017 a 2018. Como resultado, houve uma queda nos valores de NDVI nos três pontos de observação (27, 28 e 29), com valores entre 0,1 e 0,2. A partir de outubro de 2019, ocorreu um aumento considerável na vegetação, com valores de NDVI novamente se aproximando de 0,8. Esse crescimento pode ser atribuído à presença da vegetação de carnaúbas e vegetação aquática herbácea, observadas nas proximidades da rodovia Quarto Anel Viário.

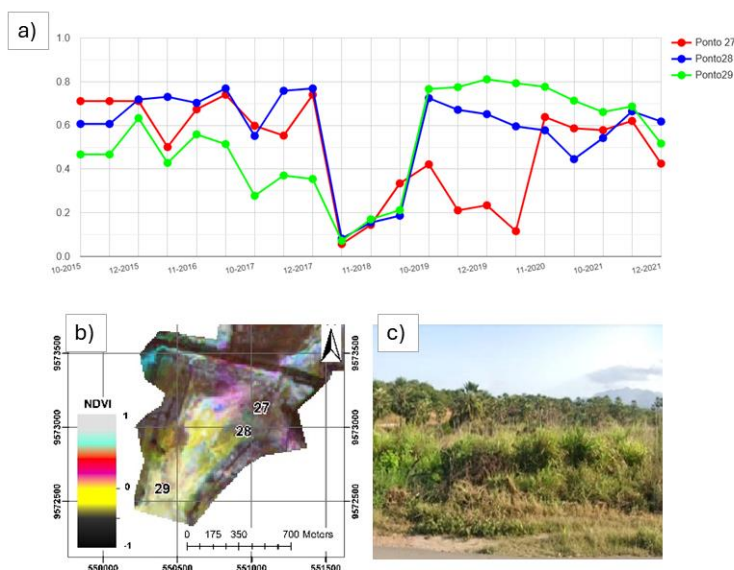


Figura 13 - (a) Flutuação do NDVI em diferentes estágios de desenvolvimento da vegetação arbustiva carnaubal (no fundo) no período de 2015 a 2021 em cada um dos compostos mensais. (b) Pontos 27,28,29 de amostragem com legenda de cores do NDVI. (c) Representação do ponto 29, Setor Distrito Industrial III, 25 de setembro de 2022. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

3.2 Classificação supervisionada

Na figura 14 podemos verificar o mapa vetorial das categorias de mudanças das trajetórias do NDVI, vale ressaltar que o processo de edição cartográfica foi realizado na escala 1:25.000, levando em consideração a unidade mínima de mapeamento, que neste caso, qualquer área menor a 0,5 não é representada no mapa ou deve ser generalizada, sugerindo que seja mesclado à categoria mais próxima (CHAVEZ, PUEBLA, 2013).

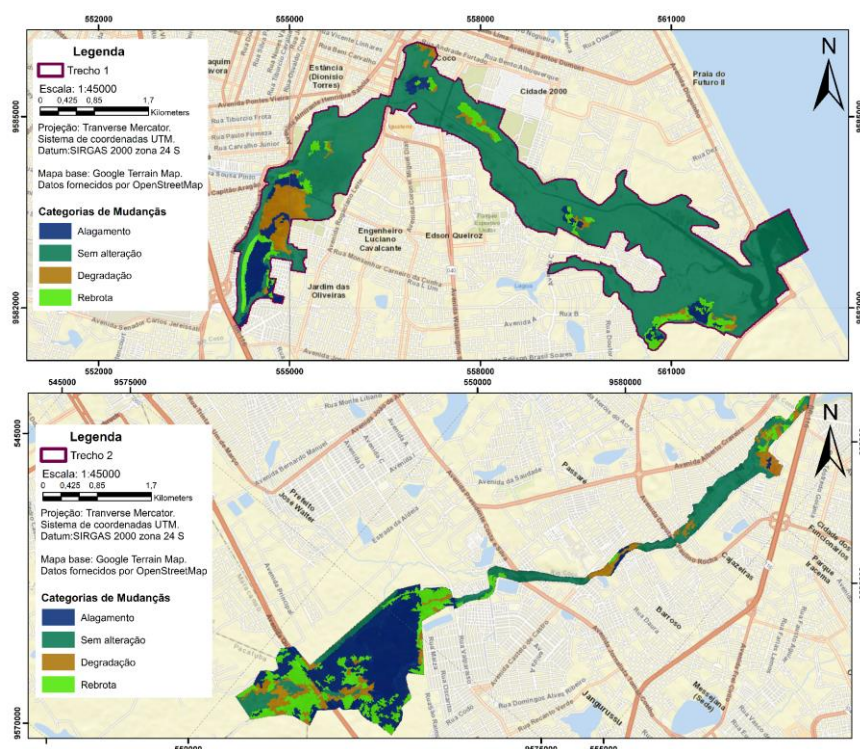


Figura 14 - Classificação supervisionada das categorias de mudanças identificadas nas trajetórias de NDVI. Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

A Tabela 2 apresenta as áreas e porcentagens correspondentes a cada uma das categorias identificadas pelos métodos utilizados na pesquisa. A categoria "sem alteração" abrangeu a maior área, com 1.302,58 hectares, representando 82,37% da área total de estudo. Em comparação, as categorias "rebrotou" (10,19%), "degradação" (7,96%) e "alagamento" (16,61%) mostraram menores porcentagens de área dentro do método de trajetórias de mudanças.

Tipo de mudanças	Área (ha)	Porcentagem (%)
Sem alteração	1.031,63	65,24
Rebrota	161,08	10,19
Degradação	125,89	7,96
Alagamento	262,65	16,61
Total	1.581,25	100%

Tabela 2 – Relação de áreas e percentual das trajetórias de mudanças 2015-2021 no PEC. Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

Os resultados da classificação foram avaliados pelas metodologias recomendadas por Cabrera *et al.*, (2011); Boca e Rodriguez, (2012) e Avogadro e Padró, (2019). Na tabela 3 pode-se evidenciar que o erro de omissão na categoria de degradação foi de 20% o que sugere que só 79% do valor total da amostragem

PASTRANA et al.

se classificaram corretamente o que gera subjetividade ao ser a categoria com menor grau de confiabilidade na classificação, ainda assim pode-se observar que na acurácia do usuário foi obtido um percentual de 93% sendo o erro de comissão mais aceitável por ser inferior a 10.

Categorias mudanças	Degradação	Sem alteração	Rebrota	Alagamento	Total amostra pixels	Erro de Comissão (%)	Acurácia usuário (%)
Degradação	2.183	38	4	99	2.324	6,06 %	93,93 %
Sem alteração	16	3766	0	0	3.782	0,42 %	99,57%
Rebrota	90	1	429	616	1.136	62,23%	37,76%
Alagamento	474	0	50	6.477	7.001	7,48 %	92,51 %
Total pixel amostra	2.763	3.805	483	7.192	14.243		
Erro de Omissão (%)	20,99%	1,02%	11,18%	9,94%			
Acurácia do produtor (%)	79,00 %	98,97 %	88,81 %	90,05 %			
Exatidão global NDVI	90,25						
Índice Kappa Tr. NDVI	0,84						

Tabela 3 – matriz de avaliação para a classificação do método de trajetórias do NDVI, período 2015-2021.

Nesta classificação, as categorias com maior acurácia do produtor foram "sem alteração" e "alagamento", com valores de 98,97% e 90,05%, respectivamente. A acurácia do usuário para essas categorias também foi elevada, atingindo 99,57% e 92,51%, o que indica uma alta correspondência com a realidade observada em campo.

Por outro lado, a categoria de "rebrota" apresentou o maior erro de comissão, chegando a 62,23%. Isso sugere uma significativa confusão entre as categorias de "alagamento" e "rebrota", devido à classificação incorreta de pixels na última categoria, resultando em uma acurácia do usuário de apenas 37,76% na correspondência com a realidade do terreno. Essa confusão pode ter sido causada por uma interpretação inadequada durante a construção das amostras de avaliação, além do fato de que as áreas de rebrota no PEC estão localizadas em zonas lamacentas e de lagoas, o que dificulta a separação espectral das áreas com desenvolvimento de vegetação nessas regiões alagadas.

Em contraste, o método classificador obteve resultados mais precisos na categoria "sem alteração", permitindo uma distinção clara do estado de saúde da vegetação. Apenas 4% dos pixels foram superestimados, enquanto 1% foi subestimado, confirmando que o NDVI é um índice eficaz para identificar a vegetação fotossinteticamente ativa. A classificação alcançou uma exatidão global do mapa de 90,25% e um índice Kappa de 84%.

Na avaliação do método, destaca-se que a categoria de "rebrotar" foi a de menor confiabilidade, com apenas 37,76% de correspondência com a realidade do terreno. Ainda assim, a classificação ficou dentro dos limites recomendados pelos autores (BOCA, RODRIGUEZ, 2012; AVOGADRO, PADRÓ, 2019), alcançando uma boa concordância global com uma exatidão de 90,25%.

4. Considerações Finais

As séries temporais foram construídas utilizando dados dos últimos três meses do ano, período em que a variabilidade climática é relativamente menor em comparação a outras épocas. No entanto, houve uma perturbação no monitoramento das áreas de manguezal, que interrompeu o comportamento estável das trajetórias da vegetação no ano em análise. Isso ressalta a importância de observar as condições meteorológicas de forma mais detalhada na região metropolitana de Fortaleza em pesquisas futuras, pois essas variáveis afetam significativamente a interpretação das mudanças.

As áreas mapeadas na categoria de degradação somaram 125,89 hectares, correspondendo a 7,96% da área total do PEC. As principais atividades responsáveis por essa transformação da cobertura do solo foram queimadas, desmatamento e pela poluição dos corpos de água.

Esta pesquisa destaca que a metodologia utilizada pode ser aplicada em áreas urbanas, vegetação densa e zonas costeiras, servindo como uma ferramenta eficaz para a gestão e conservação territorial.

O aumento da rebrota, principalmente nos corpos de água de pouca profundidade, foi gradualmente intensificado pela poluição urbana. Esse processo é resultado da eutrofização causada pela descarga direta de esgoto doméstico pela empresa Reversora de Água e Esgoto, construída em 2017, o que resultou em um aumento nos valores de NDVI na lagoa de Aerolândia. Identificou-se que a espécie aguapé foi a principal responsável pelos valores mais elevados de NDVI nas séries temporais.

Após o incêndio de 2021 no bairro Salinas, foi possível concluir que as condições ambientais do PEC durante os meses de maior estiagem, como altas temperaturas e baixa umidade, refletiram nos valores baixos de NDVI (pontos 4 e 5) indicando condições de vegetação seca antes do incêndio. Somado a isso, o uso de fogueiras para cozinhar alimentos foi um gatilho para a ocorrência de fogo. Portanto é necessário articular ações voltadas à fiscalização mais eficiente da vegetação na época do ano em que ocorrem os maiores acionamentos ao combate de fogo.

O NDVI possibilitou mapear as recorrências de desmatamento, sendo que, nos últimos compostos temporais, foram registrados valores baixos que, conforme verificado (pontos 23 e 24), correspondem às atividades de desmatamento evidenciadas em Aerolândia e, principalmente, no bairro Cajazeiras, nos trechos onde esta espécie está em maior desenvolvimento. As práticas tradicionais de extração da cera das folhas de carnaúba, com fins econômicos, continuam sendo um fator de pressão sobre a vegetação, especialmente nas áreas próximas ao adensamento urbano. Nesta perspectiva, esta metodologia permitiu identificar essas dinâmicas de degradação para um planejamento de estratégias de conservação e manejo sustentável dentro do PEC.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de um monitoramento contínuo e de alta resolução temporal das áreas de manguezal e outras zonas sensíveis dentro do PEC. Este monitoramento poderia incorporar técnicas avançadas de sensoriamento remoto, como o uso de imagens de satélite com maior frequência de captura e a integração de dados de radar, que são menos

afetados por condições meteorológicas adversas. Além disso, seria valioso explorar a modelagem preditiva para identificar possíveis mudanças na cobertura vegetal em resposta a cenários climáticos projetados e atividades antrópicas. Tais abordagens poderiam fornecer subsídios mais robustos para a gestão e conservação do parque, bem como para a mitigação de impactos ambientais.

Financiamento:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

5. Referências Bibliográficas

ALLEN, H. Satellite remote sensing of land cover change in a mixed agro-silvo-pastoral landscape in the Alentejo, Portugal. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 14, p. 4663-4683, 2018. DOI: 10.1080/01431161.2018.1440095.

AVOGADRO, E. G.; PADRÓ, J. C. Comparación de métodos de clasificación aplicados a imágenes sentinel-2 y landsat-8, para la diferenciación de plantaciones forestales en entre ríos, argentina. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 24, p. 8, 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7383249>.

BOCA, T.; RODRÍGUEZ, G. Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos. **Instituto de Clima y Agua**, INTA Castelar, 2012.

CASTILLEJO, Isabel *et al.* Evaluation of pixel-and object-based approaches for mapping wild oat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBird imagery for site-specific management. **European Journal of Agronomy**, v. 59, p. 57-66, 2014. DOI: 10.1016/j.eja.2014.05.009.

CASTRO, A. S. Farias; MORO, Marcelo Freire; MENEZES, Marcelo OliveiraTeles de. O complexo vegetacional da zona litorânea no Ceará: Pecém, São Gonçalo do Amarante. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 108-124, 2012.

CASTRO, L. G. Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana. 2022. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do

Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/68170>.

CABRERA, E. *et al.* Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, Bogotá, v. 2, p. 44, 2011.

CHÁVEZ, E. S.; PUEBLA, Adonis, M. R. Propuesta metodológica para la delimitación semiautomatizada de unidades de paisaje de nivel local. **Revista do departamento de geografia**, v. 25, p. 1-19, 2013.

E.S.A. **European Space Agency Satellite Missions**. 2022. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2>.

FERREIRA F. J. Mapeamento das Áreas de Risco de Incêndio Florestal no PEC: A Importância das Áreas Verdes no Atual Cenário Climático. Dissertação (Mestrado em Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África) -- Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Estadual do Ceará, 2019.

FERREIRA, J E.; ARAÚJO, A. C. Análise de Ocorrências de Incêndios Florestais na área do PEC, Região Metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 563-569, 2021.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FREIRES, E.V. *et al.* Análise da evolução urbana no entorno do estuário do Rio Cocó-Fortaleza/Ceará nos anos de 1985, 1996 e 2007. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 3, 2013.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA (FUNCEME). Fortaleza. Postos Pluviométricos. Fortaleza. 2021. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694.

GAO, W. *et al.* NDVI-based vegetation dynamics and their responses to climate change and human activities from 1982 to 2020: A case study in the Mu Us Sandy Land, China. **Ecological Indicators**, v. 137, p. 108745, 2022. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108745.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

PASTRANA et al.

HUSSAIN, M. *et al.* Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. **ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 80, p. 91-106, 2013. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006.

HOLBEN, Brent N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International journal of remote sensing*, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

JIANG, L. *et al.* Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data. **Ecological Indicators**, v. 129, p. 107933, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107933.

KLIMAVIČIUS, L. *et al.* Seasonality and long-term trends of NDVI values in different land use types in the eastern part of the Baltic Sea basin. **Oceanologia**, 2023. DOI: 10.1016/j.oceano.2022.02.007.

LAMBIN, E. F. *et al.* Change-vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote sensing of environment*, v. 48, n. 2, p. 231-244, 1994.

PARUELO, J. M.; DI BELLA, C.; MILKOVIC, M. Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica: Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales. 1 ed. Buenos Aires: hemisfério sur, 2014.

QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <https://qgis.org>.

MOJICA, J. E. P.; DE CASTRO, L G.; DE OLIVEIRA S, J. Detecção de mudanças na cobertura da terra através da implementação do algoritmo Change Vector Analysis (CVA) no PEC-Fortaleza/CE. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 24, n. 3, p. 504-531, 2022. DOI: 10.35701/rcgs.v24.887.

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. *Rodriguésia*, v. 66, p. 717-743, 2015.

Plano de Manejo do PEC, Produto 22, Plano de Manejo Consolidado. Secretaria do Meio Ambiente do Ceará, Fortaleza, 2020.

ROUSE, J. W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Earth Resources Technology Satellite**, Washington, p.309-317.1974.

Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE). Incêndio no Parque Estadual Cocó é debelado pelas forças de Segurança e brigadistas florestais. 2022. Disponível em:

<https://www.Ceará.gov.br/2021/11/18/incendio-no-parque-estadual-do-cocó-e-debelado-pelas-forças-de-segurança-e-brigadistas-florestais/>.

SANTOS, J. O. Fragilidade e Riscos Socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial. 2011. 331 f. Tese (Doutorado em Geografia), -Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade de São Paulo, 2011.

SPADONI, Gian Luca *et al.* Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100419, 2020. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100419.

SOUZA, M. J. N. Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo-PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, p. 172, 2009.

SOUZA, D. J. L. Pontederiaceae in Flora do Brasil 2020 em construção. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB13742>.

TUCKER, C. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**. Maryland, v. 8, p. 127-150, 1979.

VOROVENCII, L. Applying the change vector analysis technique to assess the desertification risk in the south-west of Romania in the period 1984–2011. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 10, p. 1-18, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6234-6>.

WANG, N. *et al.* Graph-based block-level urban change detection using Sentinel-2 time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 274, p. 112993, 2022. DOI:10.1016/j.rse.2022.112993.