



DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA ATRAVÉS DA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO CHANGE VECTOR ANALYSIS (CVA) NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ – FORTALEZA/CE

Detection of change in Land Cover through the Implementation of the Change Vector Analysis Algorithm (CVA), in Parque Estadual do cocó – Fortaleza/Ce

Detección de cambios en la cobertura de la tierra a través de la implementación del algoritmo Change Vector Analysis (CVA), en el parque Estadual del cocó – Fortaleza/Ce

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v24.887>

Jack Endrick Pastrana Mojica¹

Lidia Gomes de Castro²

Jader de Oliveira Santos³

Histórico do Artigo:

Recebido em 23 de dezembro de 2022

Aceito em 30 de junho de 2023

Publicado em 09 de julho de 2023

RESUMO

As ocorrências ambientais na Unidade de Conservação de Proteção Integral (UC) no Parque Estadual do Cocó (PEC), representam um problema constante que leva à degradação ambiental. Esse estrago foi gerado inicialmente pela implementação das atividades e práticas de extração de salineira que foram desenvolvidas no passado e que progressivamente afetaram a funcionalidade do ecossistema, mesmo que, ao adensamento urbano na zona metropolitana de Fortaleza, o que gerou uma pressão constante sobre esta área. Portanto, o monitoramento espaço-temporal torna-se indispensável para assegurar a proteção e gestão ambiental. Nesse sentido a utilização do sensoriamento remoto auxilia na monitorização e seguimento 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 identificar padrões de mudanças da cobertura, através do algoritmo Change Vector Analysis (CVA). A metodologia utilizou a plataforma de geoprocessamento Google Earth Engine (GEE) e a linguagem de programação Python como ferramenta para processar e manipular dados de sensoriamento remoto para identificar 4 categorias de mudanças: *sem alteração*, *alagamento*, *recrescimento* e *degradação* dentro do PEC.

Palavras-Chave: Coberturas da Terra; Sensoriamento Remoto; Detecção de Mudanças.

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: pastrana061931@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6424-589X>

² Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Email: Lidiagomes291@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8441-5489>

³ Professor-doutor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: jader.santos@gmail.com

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

RESUMEN

Las ocurrencias ambientales en la unidad de conservación de Protección Integral (UC) en el parque Estadual do cocó (PEC) representan un problema constante que lleva a la degradación ambiental. Esa perturbación fue generada inicialmente por la implementación de las actividades y prácticas de sal que fueron desarrolladas en el pasado y que progresivamente afectaron la funcionalidad del ecosistema, al igual que la expansión urbana en la zona metropolitana de Fortaleza que generó una presión sobre esta área. Por tanto, el monitoreo espacio temporal es indispensable para garantizar la protección y gestión ambiental. En ese sentido la utilización de la teledetección remota auxilia en el monitoreo y seguimiento de los factores que inciden en la transformación del parque. Este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de la vegetación en las condiciones ambientales entre el periodo 2015-2021 para identificar patrones de cambios en la cobertura, a través del algoritmo Change Vector Analysis (CVA). La metodología utilizó la plataforma de geoprocetamiento (GEE) y el lenguaje de programación Python como herramienta para procesar y manipular datos provenientes de sensores remotos para identificar 4 categorías de cambios: sin alteración, alagamiento, recrecimiento y degradación dentro del PEC.

Palabras clave: Coberturas de La Tierra; Teledetección; Detección de Cambios.

ABSTRACT

The environmental occurrences in the Integral Protection Conservation Unit (UC) in the Cocó State Park represent a constant problem that lead to environmental degradation. This damage was initially generated by the implementation of the activities and practices of salt mine extraction that were developed in the past and which progressively affected the functionality of the ecosystem, even with urban densification in the metropolitan area of Fortaleza, thus generating constant pressure on this area. Therefore, space-time monitoring becomes essential to ensure environmental protection and management. In this sense, the use of remote sensing helps in monitoring and following the factors that affect the transformation of the park. This work aims to analyze the behavior of vegetation health under environmental conditions from 2015 to 2021 to identify patterns of cover changes, using the Change Vector Analysis (CVA) algorithm. The methodology used the Google Earth Engine (GEE) geoprocessing platform and the Python programming language as a tool to process and manipulate remote sensing data to identify 4 categories of changes: no change, flooding, regrowth and degradation within the park.

Keywords: Land Cover; Remote Sensing; Change Detection.

INTRODUÇÃO

O Parque Estadual do Cocó (PEC), localizado no município de Fortaleza/CE, tem sido reconhecido e incluído como Unidade de Conservação de Proteção Integral e articulado com um sistema de política pública e governança, a fim de promover sua proteção a partir do ano 2017.

Nas últimas décadas foram registrados eventos históricos da ocupação, que geraram efeitos negativos no desenvolvimento sustentável deste ecossistema, devido ao aumento dos núcleos habitacionais no município de Fortaleza, onde se apresentam atividades antropogênicas de desmatamento e a incidência de queimadas (FERREIRA ; COSTA 2021). Além disso, processos de ordem natural, como os períodos de secas, contribuíram para uma redução espacial dos manguezais (SANTOS, 2017).

Como evidência disso, autores como Carmo (2020) referem-se que as atividades salineiras na década de 1970, desencadearam ao longo do PEC, alteração nos manguezais aumentando as áreas de degradação, além da ocupação de assentamentos irregulares ao longo das margens de inundação

do Rio Cocó e do manguezal, possibilitando já o interesse do processo de urbanização após declínio da referida atividade.

A localização do PEC, sem dúvida coloca esta área em risco, devido as ocorrências ambientais, como os eventos relacionados a práticas de uso de fogo, que aconteceram em novembro de 2021. Segundo a Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE), as atividades de fogueiras para cozinhar alimentos, é a origem mais recorrente dos focos de incêndios florestais no PEC. Como consequência essa atividade originou a perda de 2,9 % de espécies herbáceas e arbustivas, além de espécies de animais em extinção (SEMACE, 2022).

Trabalhos como o de Ferreira e Costa (2021), evidenciaram que entre os anos de 1999 e 2018 o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará (CBMCE), atendeu 182 ocorrências de incêndios florestais no PEC, sendo um padrão que nos últimos três meses de cada ano sejam os de maior risco de queimadas no parque.

Autores como Ferreira Filho, (2019) mencionaram que o aumento dos incêndios florestais, pode estar relacionado com a necessidade de extração de madeira provavelmente para exploração comercial de algumas espécies, sendo assim, que, as atividades de desmatamento estão ligadas às ocorrências de fogo em vegetação no PEC.

Estes fatores geram na atualidade cenários de degradação, mas de outro ponto de vista representam uma oportunidade para avaliar e fazer um acompanhamento mais constante, com intuito de contribuir com propostas que permitam a fiscalização e proteção dessas áreas.

Diante dos aspectos anteriormente mencionados, estes ecossistemas devem ter um melhor planejamento ambiental e um monitoramento constante, objetivando garantir seu desenvolvimento sustentável e que sejam capazes de enfrentar os atuais desafios de forma resiliente.

Visando o aprofundamento dessas problemáticas, há a necessidade da aplicação de metodologias para o seguimento e monitoramento das alterações espaço-temporais destas áreas que possibilite compreender a dinâmica temporal destes fenômenos, sendo, uma contribuição para a geração de novas linhas de investigação científica e prospecção de problemas futuros.

Nesse sentido, as tecnologias de sensoriamento remoto tornam-se uma oportunidade para garantir a identificação através do uso de técnicas e métodos de detecção remota das principais problemáticas nas mudanças da cobertura da terra no PEC.

Existem diversas técnicas e métodos de detecção de mudanças (LU *et al*, 2004; HUSSAIM *et al*, 2013; TEWKESBURY 2015). A seleção do método e técnica dependerá dos objetivos temáticos da

pesquisa, bem como do conhecimento do intérprete na área de estudo, a dificuldade do método a ser aplicado, os recursos tecnológicos e a disponibilidade de dados de sensoriamento remoto.

Neste trabalho, foi utilizado o algoritmo Change Vector Analysis (CVA) a fim de obter resultados precisos para interpretar padrões de mudanças entre os anos de 2015 e 2021, que até o momento não tem sido apresentada em outros trabalhos para monitorar o Parque Estadual do Cocó (PEC).

Trabalhos como o de Salih et al, (2017); Allen et al, (2018) e Park et al, (2018) mapearam as mudanças na cobertura da terra utilizando o Change Vector Analysis (CVA) método de comparação direta do pixel, visando identificar mudanças na cobertura da terra através dos pixels alterados entre as datas comparadas.

Assim a implementação de dados e algoritmos desenvolvidos para determinar o comportamento temporal e espacial através de técnicas de sensoriamento remoto, auxilia no desenvolvimento da pesquisa

Baseado nestes argumentos, a pesquisa justificou-se em identificar padrões de mudanças nas coberturas da terra, que inclui áreas que devido a práticas antropogênicas como o desmatamento, queimadas ou qualquer outra alteração no Parque Estadual do Cocó (PEC), podem ser mapeados utilizando técnicas de sensoriamento remoto como instrumento de monitoramento e a análise ambiental.

Desta forma, esta pesquisa apresenta-se como aporte aos estudos ambientais, contribuindo para a utilização de ferramentas de análise que possibilitem o mapeamento das mudanças na cobertura da terra e para o conhecimento da problemática ambiental nas unidades de conservação integral no Estado do Ceará.

Além do fato de que este estudo mostra a importância para os profissionais da área possam desenvolver estas técnicas como instrumentos de planejamento e gestão, uma vez que atualmente há amplos recursos tecnológicos e ferramentas de geoprocessamento disponíveis, os quais permitem monitorar os recursos naturais de forma mais constante e com maior precisão, contribuindo para novas metodologias de conhecimento e geração de novas linhas de investigação científica.

PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A detecção remota é uma técnica que se refere a identificação e categorização de objetos a partir da radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida, que é registrada pelo sensor, sem que haja contato físico com ele. Os intervalos de comprimentos de onda que registra um sensor, se manifestam de acordo com a quantidade de energia ou irradiância solar que incide sobre um alvo ou

superfície. Desta forma, a distribuição da energia pode ser explicada através do espectro de emissão e espectro de absorção. (CHUVIECO, 1995; PARUELO *et al*, 2014).

O termo "comprimento de onda" é normalmente utilizado para se referir a uma banda do espectro eletromagnético. Oke *et al*, (2017) ressaltam que a relação entre o comprimento de onda e a energia emitida por um corpo e sua temperatura, determina a quantidade de energia emitida nas diferentes faixas do espectro.

Dessa maneira essas faixas estão compostas pelo espectro visível: azul (0,4 – 0,5 μm), verde (0,5–0,6 μm), e vermelho (0,6 – 0,7), infravermelho próximo (0,7 –1,35 μm), infravermelho médio (1,5– 1,8 μm , 2.0 – 2,4 μm , 2,9 a 4,2 μm e 4,5 a 5,5 μm), e infravermelho termal entre 8 e 14 μm . (JENSEN,2011), nessas faixas é possível estudar o comportamento espectral da superfície terrestre.

Dessa forma a radiação eletromagnética que é recebida pelo sensor é distribuída em diferentes bandas espectrais que indicam as características dos alvos na superfície da terra. A primeira informação registrada pelo sensor é dada em números digitais, que logo podem ser convertidos a parâmetros físicos, tais como: radiação espectral, que representa o fluxo de energia que é refletido pela superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda, e reflectância, que é a medida quantitativa que mede os parâmetros ambientais da superfície terrestre (JENSEN, 2011; MENESES e ALMEIDA, 2012 e RODRIGUEZ, 2020).

Estes parâmetros referem-se à conversão dos valores numéricos ou digitais das imagens a valores com significado físico como a radiância e a reflectância ou condicionamentos radiométricos, a fim de ter certeza de que um valor do pixel representa as características dos alvos (CHUVIECO,2010; RODRIGUEZ; 2020).

Em suma, Novo (2010) e Chen *et al*, (2022) consideram que as primeiras conversões baseiam-se na conversão dos níveis digitais em radiância espectral, a partir dos coeficientes de ajustamento para cada banda. Em seguida, se calcula a reflectância (TOA) através das informações de aquisição de imagem e o ângulo de aquisição, posteriormente, os valores de reflectância aparente (TOA) a reflectância de Superfície (SR). Processos que se tornam necessários para a normalização das imagens, a fim de utilizá-las nos métodos e técnicas de detecção (CHEN *et al*, 2022).

Por outro lado, outro aspecto que deve-se levar em consideração é o condicionamento geométrico das imagens que assegura a correspondência espacial precisa dos pixels e as propriedades radiométricas consistentes, sendo possível normalizar radiometricamente uma série temporalmente utilizando imagens de referência geocorretas (LEACH; COOPS e OBRKNEZEV,2019) Desta forma, a

correção geométrica garante que a representação de um ponto na superfície com coordenadas X e Y corresponda espacialmente com a informação recebida pelo sensor.

Nesta pesquisa, se utilizaram os valores de reflectância de superfície (SR) fornecidos pela plataforma *Google Earth Engine* (GEE) do sensor Sentinel 2A, missão responsável pela conversão e correções dos parâmetros físicos das imagens nos diferentes níveis de processamento. (GORELICK *et al*, (2017), YANG *et al*, 2017; PERILLA e FRANÇOIS, 2020).

MÉTODOS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Existem diferentes métodos desenvolvidos para a detecção das mudanças tipo pixel e objetos, cada um deles tem suas vantagens e desvantagens, Lu *et al*, (2004), definiu algumas categorias de detecção de mudanças: álgebra, transformação, classificação, modelagem avançada, Gis e análise visual, divididas em 31 técnicas de comparação, a fim de diminuir os efeitos espaciais, espectrais e temporais que interferem num processo de detecção da mudança, proporcionando uma melhor interpretação nos resultados (TEWKESBURY, 2015; ABDELAZIZ, 2019).

Dentro do grupo dos métodos por pixels, pressupõe-se que os valores espectrais são independentes de sua posição, e serão atribuídos a uma classe devido à similaridade espectral com outros pixels da imagem.

Chen *et al*, (2022) considera que a comparativa do pixel não deve ser considerada em imagens de alta resolução já que estas apenas identificam diferenças entre a luminosidade e o tom, sendo uma limitação para fornecer características para modelar um contexto.

Como é ratificado por Tewkesbury *et al*, (2015), esta técnica gera resultados efetivos quando é implementada em grandes pixels (baixa resolução) ou escalas médias baseadas em imagens de média resolução, uma vez que a informação não é generalizada.

Na detecção de mudanças deve-se identificar a unidade de análise e o método comparativo apropriado, baseado na escala com relação à resolução das imagens, consequentemente, a resolução espacial das imagens está relacionada com a seleção da unidade de análise (LU *et al*, 2004; HUSSAIM *et al*, 2013).

De acordo com as revisões anteriores, além de capturar as principais características de uma imagem, esta requer um método de comparação que permita a interpretação adequada das mudanças. Para a pesquisa em questão, foram selecionados os métodos para a análise comparativa de mudanças: *Tasselap CAP Transformation* (TCT) e *Change Vector Analysis* (CVA).

Tasselap CAP Transformation (TCT)

O método Tasselap CAP Transformation (TCT) gera uma separação de classes dentro das imagens, podendo ser considerada do tipo física, devido à alta e baixa variabilidade de correlação entre bandas. A intenção é obter informação com maior contraste visual que permite diferenciar áreas com vegetação arbustiva e estruturalmente homogênea (MACINTYRE, NIEKERK e MUCINA, 2020) que se relacionam com a umidade na vegetação, solo e saúde da vegetação.

Segundo (Chen *et al*, 2022 e Duan *et al*, 2022) esta transformação não adiciona informações, além daquelas que estão nas imagens, pois a combinação linear de bandas apenas permite melhorar a disposição de dados e a visualização que contém as imagens.

Para Roemer *et al*, (2010), esta transformação é entendida como uma definição de um novo sistema de coordenadas, na qual os dados espectrais das diferentes bandas ocupam novos eixos associados às propriedades biofísicas dos objetos. Nesse caso, tais eixos são o verdor “*greenness*”, que se refere à quantidade e vigor da vegetação, luminosidade “*brighthness*”, associado às variações na reflectância do solo e “*Wetness*” para determinar o conteúdo de água no solo na vegetação (HUANG *et al*, 2002; BIAG *et al*, 2014; NEDKOV, 2017 e CHEN *et al*, 2022).

Chen *et al*, (2022) ratifica que a análise espaço temporal com a abordagem dos TCT ressalta o contraste visual entre a água, solo e vegetação nas imagens, o que melhora a separação de classes a partir das interpretações nos tons de cinza.

A revisão de trabalhos prévios realizados, visam entender como os TCT tem sido utilizados como dados bi-temporais no *Change Vector Analysis* (CVA). De acordo com Allen *et al*, (2018), a implementação dos TCT no CVA permitiu estabelecer 4 possíveis direções de mudança da luminosidade (L) e do verdor (V), tais como: a diminuição da luminosidade e o aumento do verdor (L-V+), que indicam o aumento da clorofila; o aumento da luminosidade e diminuição do verdor (L+V-) que indica perda de biomassa verde; o aumento em ambos os componentes (L+G+) representam pequenas perdas de biomassa.

Allen *et al*, (2018) e Macintyre *et al*, (2020), discutem que os TCT interpretam melhor as texturas das imagens para prever a composição da vegetação em comparação com índices derivados de NDVI e métodos classificadores por objetos como o SVM.

Esta interpretação só ocorre por que seus componentes são obtidos de uma maior quantidade de informação, que representam as bandas originais, e isso fornece uma vantagem já que se pode interpretar mudanças em áreas com limitações geográficas, o que torna a abordagem dos TCT extrair informações em áreas inacessíveis (CHEN *et al*, 2022 e DUAN *et al*, 2022).

Uma vantagem deste método é a redução de dados e a redundância entre bandas (ABDELAZIZ, 2019) o que pressupõem que entre o maior número de bandas, pode-se obter uma maior informação radiométrica, e maior informação contextual contéuda nos valores do pixel, a fim de identificar texturas de tons de cinza escuras, que representam menores mudanças e baixa variabilidade dos dados, do que os tons da cor claro que podem estar associados a áreas de maior expressividade de mudança.

Em contraste, alguns autores como Baig *et al*, (2014) e Allen *et al*, (2018) diferem deste método, já que não permite gerar uma matriz de erro e devem ser selecionados limiares para identificar áreas de mudança, o que reduz a eficácia para a definição de informações pelo intérprete.

Na prática, para aplicar a transformação de *Tasseled Cap* (Tabela 1) para a missão Sentinel 2A e seus componentes de verdor e luminosidade são utilizados os seguintes coeficientes (NEDKOV,2017).

Tabela 1: Coeficientes Tasseled Cap Sentinel 2A.

BANDS	B2	B3	B4	B5	B8	B11
BRIGHTNESS	0.0822	0.1360	0.2611	0.2964	0.3895	0.3882
GREENNESS	-0.1128	-0.1680	-0.3480	-0.2964	0.3165	-0.4578
WETNESS	-0.1363	-0.2802	0.3072	0.5288	-0.0807	-0.4064

Fonte: Nedkov (2017).

Change Vector Analysis (CVA)

A maior vantagem deste algoritmo é a comparação direta entre as imagens que estão sendo comparadas, o que indica que é sensível as variações individuais dos pixels, e a capacidade de utilizar transformações nas imagens o que fornece uma interpretação razoável e uma visão do tipo de mudança com base em sua magnitude e direção em comparação com os métodos de álgebra de bandas e transformações (PARK *et al*, 2018; SUN *et al*, 2019).

Para Zhou *et al*, (2020), tem sido dos principais métodos de detecção de mudanças para obter diferenças espectrais entre imagens multiespectrais, já que utiliza dois componentes *verdor* e *luminosidade* para mapear a magnitude e direção entre as datas de referência e a data prevista.

Algumas pesquisas, tem se utilizado os Tasselap Cap para melhorar a eficácia nos resultados, como LAMBIN e STAHLER, (1994); ALLEN e KUPFER, (2000); ALLEN *et al*, (2018).

Alguns autores como Lu *et al*, (2004) e Allen *et al*, (2018) consideram que as limitações do CVA estão relacionadas com a verificação das trajetórias angulares, o que pode gerar subjetividade na

interpretação das mudanças. Portanto, é necessário que o intérprete tenha conhecimento na área de estudo, assim como, a habilidade para encontrar limiares que representam a realidade das mudanças.

De acordo XIAO *et al*, (2021) o CVA é um método eficiente para discriminar os pixels que mudaram e o tipo de mudanças que pode ser interpretado através do ângulo da mudança (HUSSAIN *et al*, 2013; XIAO *et al*, 2021).

Para determinar a intensidade de variação dos vetores entre as imagens que estão sendo comparadas, tem-se a distância euclidiana que calcula a diferença espectral para cada posição dos pixels nos eixos verdor e luminosidade (BORREGO, 2002; ROEMER *et al*, 2010). A análise de vetor de mudança é determinada a partir do modelo teórico onde:

$$\begin{aligned} C_{ix} &= (x_i)F_2 - (x_i)F_1 \\ C_{iy} &= (y_i)F_2 - (y_i)F_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Sendo $(x_i)F_2$ o valor da luminosidade ano 2021, $(x_i)F_1$ o valor da luminosidade ano 2015, $(y_i)F_2$ o valor do verdor ano 2015 e $(y_i)F_1$ o valor do verdor ano 2021. Os valores C_{ix} e C_{iy} representam a variação espectral que se tem como resultado da comparação entre duas datas.

O componente magnitude da mudança representa a medida quantitativa do algoritmo (RUIZ,2013) e, para seu cálculo, se utiliza as variações espectrais obtidas na comparativa anterior, como poder ser visualizado na equação 2:

$$L_i = \sqrt{C_{ix}^2 + C_{iy}^2} \quad (2)$$

Onde: L_i : magnitude da mudança. Desta forma, a componente direção ou ângulo do vetor de mudança é computada pelo ângulo (α) do vetor de mudança a partir do valor do pixel nessas duas datas (KARNIELI *et al*, 2004), a partir da equação:

$$\alpha_i = \text{Arctan} \frac{C_{iy}}{C_{ix}} \quad (3)$$

Sendo α_i direção ou ângulo de mudanças. Devido ao fato de dois componentes *verdor* e *luminosidade* serem utilizados para o CVA, é possível interpretar quatro mudanças (BORREGO,2002; ROEMER 2010; SALIH, GANAWA, e IMAHL, 2017).

Sucedendo-se a esse fato, nos ângulos entre 0-90° há um aumento (+) em ambos componentes, sendo considerada as áreas com processo de aumento de biomassa verde ou sem alteração; os ângulos entre -90-180° representam o aumento de verdor, e diminuição de Luminosidade, associado a áreas de revegetação. Entretanto, os ângulos de 180-270° apresentam uma diminuição em ambos componentes, sugerindo áreas de alagamento; entre os 270-360° há aumento na luminosidade,

diminuição no Greenness, sendo áreas desprovidas de material vegetal ou processo de degradação (ROMER, *et al*, 2010; VOROVENCII, 2017; ALLEN, *et al*, 2018).

Tabela 2: Direções e classes de mudanças em relação ao Change Vector Analysis (CVA).

Classes de mudanças	Brightness	Greenness	Ângulos de mudança
Sem alteração.	+	+	0-90°
Recrescimento	-	+	90-180°
Alagamento	-	-	180-270°
Degradação.	+	-	270-360°

Fonte: Adaptado de Borrego *et al*, (2002) e Roemer (2010).

Com base no exposto, os procedimentos utilizados, foram selecionados visando à integração de dados transformados, como entrada de dados bi temporais, o que possibilita maior informação para caracterizar a nível do pixel as mudanças na cobertura da terra.

Portanto, para a pesquisa em questão as técnicas e métodos de detecção de mudanças selecionados: *Tasselled cap* e *Change Vector Analysis (CVA)*, atendem às necessidades do intérprete de acordo aos objetivos temáticos da pesquisa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo foi delimitada de acordo com os termos de regulamento da Secretaria do Estado de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) e o Plano de Gestão do Parque Estadual do Cocó (2020). Localizada na região metropolitana de Fortaleza/CE, esta área abrange 1.571,29 hectares, no grupo de Unidades de Conservação de Proteção Integral (UC), é abrangida pela bacia hidrográfica do rio Cocó sendo responsável por uma grande parte da drenagem da água do território municipal de Fortaleza.

Se caracteriza pelas superfícies planas, encharcadas e úmidas e alto conteúdo de matéria orgânica advindas dos processos fluviais e marinhos ao longo da foz da bacia hidrográfica do rio cocó (FREIRES, 2014). Estando incluída nessas características físico-geográficas apresenta aspectos vegetacionais de importância ambiental que favorecem à formação de unidades fitogeográficas dentro do parque, sendo as espécies de manguezais as de maior abrangência.

Conforme a Tabela 1 o PEC é conformado por quatro municípios, sendo Fortaleza de maior abrangência dentro do PEC, valendo destacar que Fortaleza é o município com maior contingente

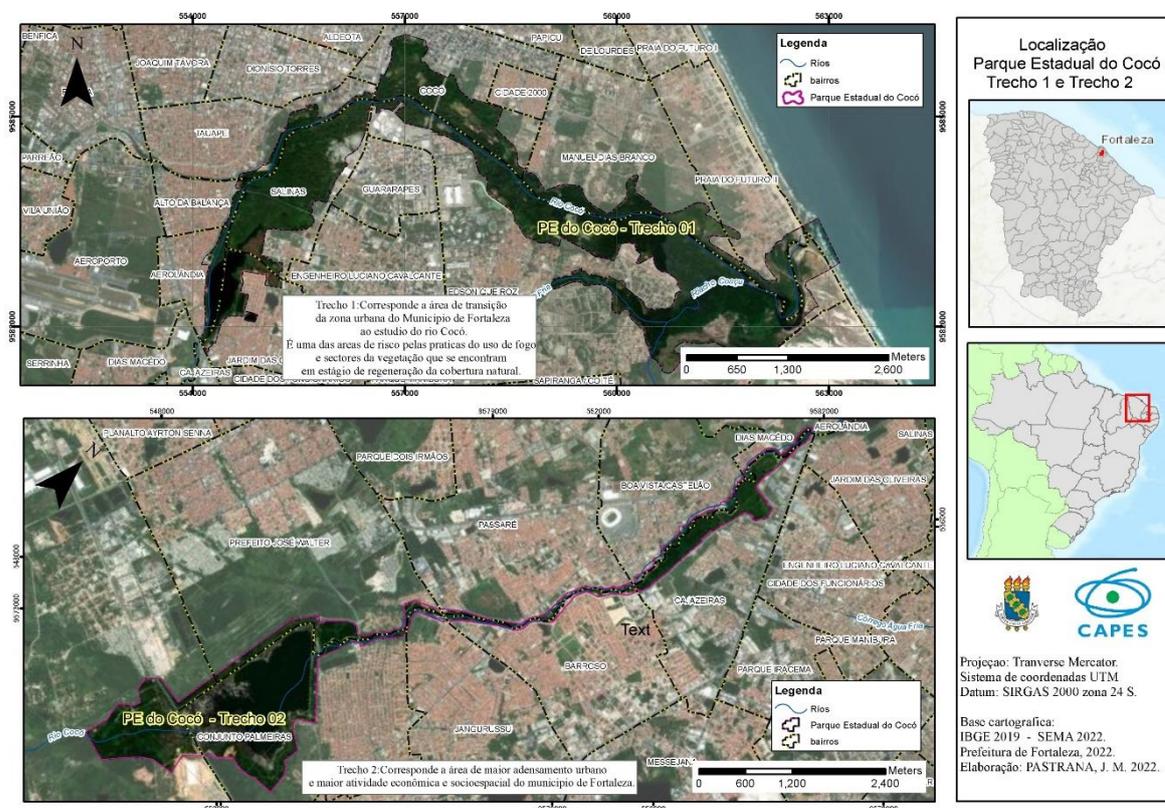
populacional e com maior equipamento urbano que influenciam nos principais fatores que geram alterações nos aspectos vegetacionais sobre o PEC em relação com os outros municípios.

Portanto para a pesquisa em questão, foram utilizados os dois trechos que conformam as Unidades de Conservação de Proteção Integral. Os trechos 1 e 2 (Figura 1) se estendem da foz do rio Cocó na região metropolitana de Fortaleza/CE até a área de transição litorânea que avança para o oceano atlântico.

O trecho 1 se caracteriza pela separação entre a zona urbana de Fortaleza que é a transição ao estuário do rio Cocó, com 490,5547 ha, se conforma pelos municípios que integram a região metropolitana de Fortaleza/CE, como: Pacatuba, Itaitinga e Maracanaú. O trecho 2 conforma a área de maior adensamento residencial e de equipamento urbanos, onde se situa a maior atividade econômica e socioespacial da área de estudo, de acordo com o Plano de Gestão do Parque Estadual do Cocó (2020) abrange uma área de 1.080,7377 ha, e está inserido no município de Fortaleza (ARCADIS, 2020).

Ambas as áreas correspondem ao Parque Estadual do Cocó, totalizando 1.571,29 ha de área protegida, na qual foi implementada as técnicas e métodos de detecção de mudanças da pesquisa em questão.

Figura 1: Janelas de mapeamento Trecho 1 e Trecho 2 do Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Aquisição de dados

Para a análise de detecção de mudanças da cobertura da terra no Parque Estadual do Cocó foram utilizadas imagens de *Sentinel 2A MultiSpectral Instrument* (MSI), fornecidas pela European Space Agency (ESA), consideradas imagens de escala média, foram selecionadas por apresentar uma frequência temporal ou revisita de 5 dias, fornecendo imagens de alta qualidade radiométrica (12 bits) e resolução de 10 metros por pixel, 20 ou 60 metros (ESA, 2022), sendo adequadas para representar as informações temáticas no mapa a escala.

Para o pré-processamento das imagens se utilizou a plataforma Google Earth Engine (GEE), através de funções específicas de processamento (GOOGLE DEVELOPERS, 2018) e a linguagem de programação python, utilizando a janela do editor de código em Arcgis, foi possível digitar as funções que permitem utilizar as ferramentas de geoprocessamento com dados de entrada, tipo raster ou vetor, o que forneceu uma rápida e eficiente implantação dos métodos de detecção de mudanças.

O fluxo de trabalho de preparação de dados iniciou-se com a leitura do *Dataset* de Imagens Sentinel 2A, "*ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')*", estas são fornecidas com o nível de processamento de Refletância de Superfície (SR) e corrigidas geometricamente (ESA, 2021), garantindo a correspondência espacial entre as séries de imagens filtradas (GORELICK *et al*, 2017; PERILLA e FRANÇOIS, 2020), sendo assim se verificou visualmente esta correspondência. Além disso, a correção geométrica não foi um elemento crítico dentro da área de estudo, uma vez que é considerada uma área com baixa topografia, foi necessário reprojeter a área de estudo para o sistema de projeção Transversa de Mercator (UTM), Zona 24 Sul, Datum SIRGAS 2000.

Quanto à escala temporal, esta foi definida para os anos 2015 e 2021, a partir da função "*filterDate* ('2015-10-01', '2015-12-31') e ('2021-10-01', '2021-12-31')". Para a filtragem de bandas se utilizou a função "*filterBounds()*", correspondentes à área de interesse, o Parque Estadual do Cocó, foi utilizado um arquivo *shapefile* que define o seu limite. Foram selecionados os últimos três meses do ano (outubro-novembro-dezembro), devido que naquela época é o período menos chuvoso na zona metropolitana de Fortaleza. (FUNCEME, 2022).

Em seguida, foram criados compostos temporais de refletância de superfície (SR) a fim de gerar uma imagem individual que represente a tendência central de toda a série temporal. Para obter a mediana da série temporal das imagens é aplicado ao 'dataset' a função "*Statistical median*".

Transformação Tasselap CAP (TCT)

Uma vez obtidos os Compostos temporais anuais de refletância de superfície (SR) para os anos 2015 e 2021, foram selecionadas as bandas espectrais: verde (560nm 665nm), vermelha (665nm 842nm), Infravermelho próximo (842nm 865 nm) e infravermelho de ondas curtas (1375nm 1610nm) Em seguida, foram utilizados os coeficientes TCT para imagens Sentinel 2A (NEDKOV,2017), em cada uma das bandas selecionadas nesta pesquisa verde (B4), vermelho (B5), infravermelho próximo (B8) e infravermelho de ondas curtas (B11).

A função 'expression' em GEE é aplicada para multiplicar e totalizar os valores de cada uma das bandas, sendo a expressão estatística que permitiu realizar a combinação linear.

Uma vez definidos os parâmetros iniciais, se obteve uma imagem individual que representa os componentes TCT do verdor e luminosidade. Neste trabalho, foi considerada a transformação Tasseled Cap, a fim de ser utilizada como camada de entrada no algoritmo CVA, para melhorar a separabilidade espectral entre classes e distinguir melhor as mudanças da cobertura da terra.

Detecção de mudanças com o método CVA

Para elaborar o algoritmo Change Vector Analysis (CVA) foi utilizado a linguagem de programação python, de acordo com os passos descritos neste tópico.

A fim de identificar as imagens transformadas (MALILA,1980; ALLEN e KUPFER 2000; ALLEN *et al*, 2018), se criam objetos das datas de entrada do CVA: "l2015", "v2015", "l2021", "v2021", as datas de cada imagem fazem parte de cada um dos nomes das imagens transformadas a TCT. A seguir, se define a função "Float ()", para extrair os valores decimais que contém os pixels nos TCT (Figura 2).

Figura 2: Definição de dados de entrada no CVA.

```

... l2015 = Float ('luminosidade2015.tif')
... v2015 = Float ('verdor2015.tif')
... l2021 = Float ('luminosidade2021.tif')
... v2021 = Float ('verdor2021.tif')

```

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

O próximo passo, consiste em estabelecer a variação espectral nos componentes de "luminosidade" e "verdor", primeiro, define-se a variáveis "CIX" e "CIY", e logo obtém-se a diferença espectral dos pixels, subtraindo as datas comparadas, através do código "l2021- l2015" e "v2021- v2015". Como se evidencia na figura 3.

Para o cálculo do vetor de magnitude da mudança é executada a função matemática “*SquareRoot*”, preencher os parâmetros definidos para o cálculo da distância euclidiana, e utiliza-se as variações espectrais obtidas no passo anterior como dados de entrada.

Figura 3: cálculo Magnitude de mudança.

```
... cix = l2021 - l2015
... ciy = v2021 - v2015
... IntesidadeMudanca = SquareRoot(Power(cix,2) + Power(ciy,2))
```

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Uma vez criadas as variações espectrais entre as duas datas, é importado o módulo “*import math*” para executar operações trigonométricas, calcula-se a função inversa arcotangente, a partir de “*ATan2*”, definidos os parâmetros (“*Ciy*” - Luminosidade) e (“*Cix*” - Verdor), se transformam os valores de radianos em graus, e a conversão deve ser feita, multiplicando-se por 360 e dividido por “*pi*”, a fim de obter as trajetórias angulares, atribuídos aos pixels da imagem. Finalmente “*save*”, permite especificar os parâmetros de saída das imagens, fazendo o download das camadas computadas no ambiente local de trabalho do notebook (Figura 4).

Figura 4: Cálculo Direção de mudança.

```
>>> import math
... DireçaoMudança = ATan2 (ciy, cix) * 360.0 / math.pi
... output_path = ("" )
... DireçaoMudança.save (output_path)
... MagnitudeMudança.save (output_path)
```

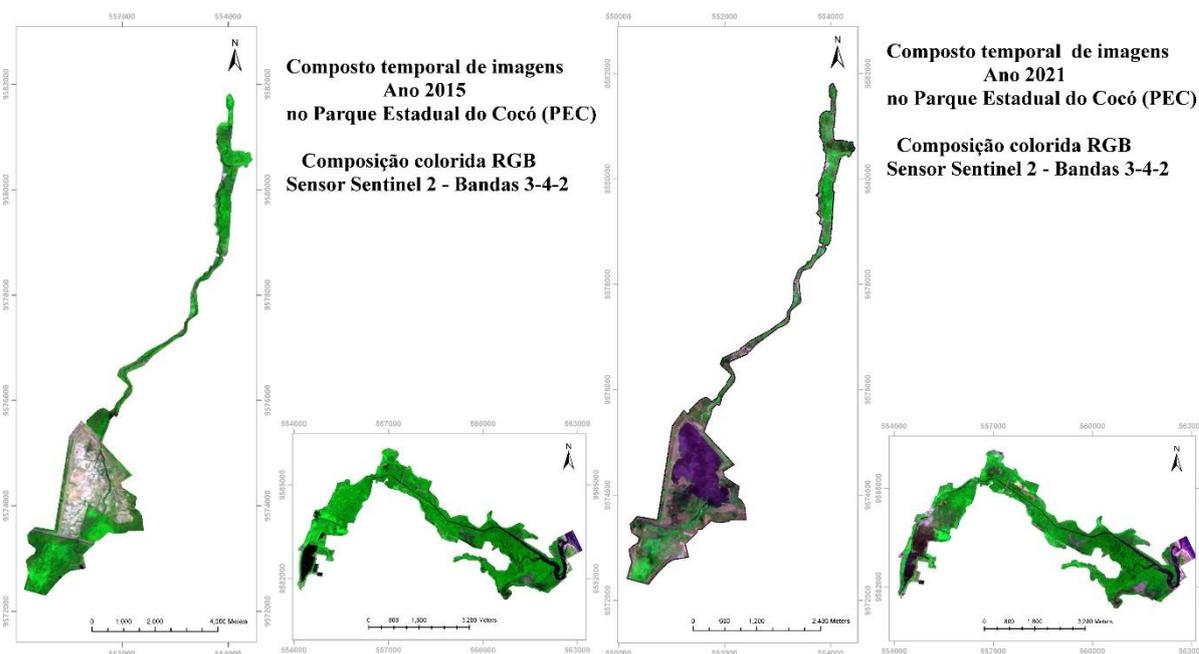
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Compostos Imagens 2015 e 2021

Os resultados dos compostos do ano 2015 e 2021 foram criados a partir dos meses com menos chuva no município de Fortaleza o que reduz os efeitos atmosféricos. A composição colorida RGB 5-8-4 (vermelho, infravermelho próximo, verde), permitiu diferenciar a vegetação saudável na cor verde, em relação a outro tipo de cobertura da terra como: solo exposto e água com tom roxa.

Figura 5: Compostos temporais de Imagens Sentinel 2A anos 2015 e 2021. Parque Estadual do cocó.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Construção Tasseled Cap

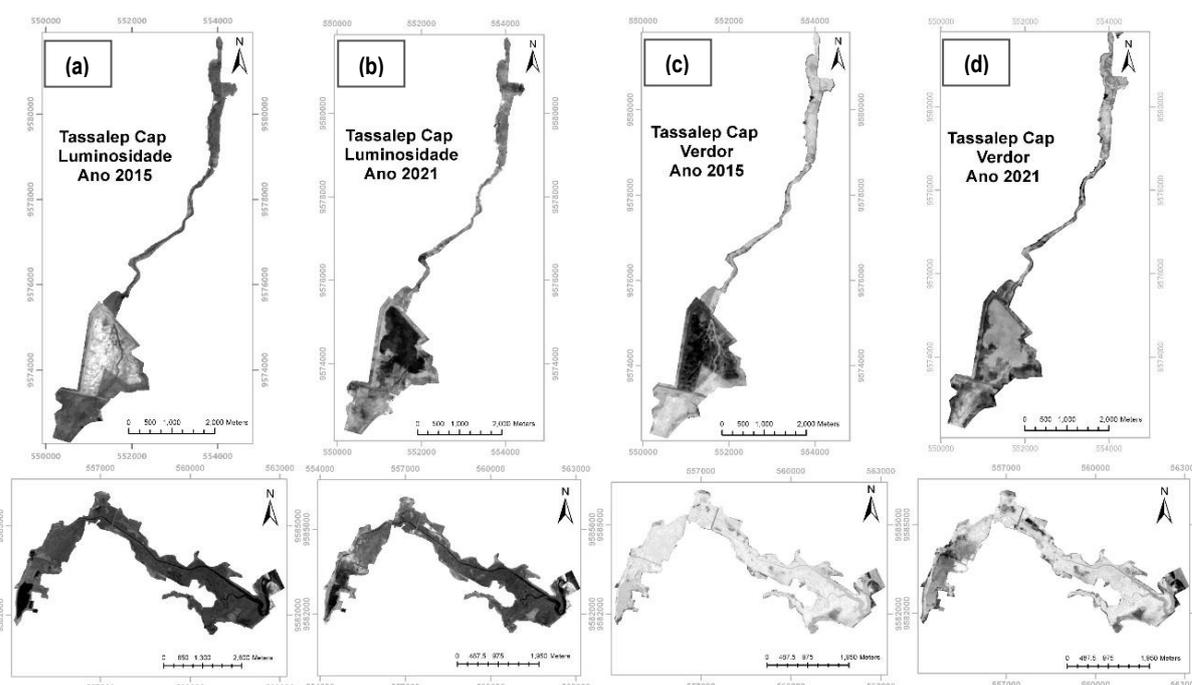
Uma vez criados os compostos temporais do ano 2015 e 2021 foram utilizados os coeficientes TCT para imagens Sentinel 2A (NEDKOV,2017) e aplicados às bandas verdes (B3), vermelho (B4), infravermelho próximo, (B8) e infravermelho de ondas curtas (B11), utilizando o código de GEE de acordo à metodologia proposta nesta pesquisa.

A partir disso, se obtiveram quatro imagens individuais com os componentes *Luminosidade* e *Verdor* para as datas 2015 e 2021. Na imagem 6 (a) e (b) os resultados mostraram que tons de cinza mais brancos para a luminosidade, representam as áreas de maior refletância do solo, já que o aumento da refletância nas bandas do espectro visível permitiu uma resposta espectral mais eficaz para identificar a variação do solo em áreas desprovidas de vegetação ou em áreas com processo de senescência.

Na figura 6 (a) e (b) observa-se que no ano 2015, ao sul no Trecho 2, se evidencia uma variação do solo. Esta área teve processo de exposição do solo devido à construção da barragem de contenção de cheias do Rio Cocó. Já no ano 2021, é possível verificar a mesma área onde é evidenciada o alagamento por corpos hídricos como o Rio Cocó.

O componente *Verdor* na figura 6(c) e (d) das imagens, é possível verificar que os tons de cinza-brancos estão associados à saúde da vegetação. Este comportamento pode ser explicado pelas áreas com maior desenvolvimento vegetacional, sendo os tons da cor branco em grande parte do PEC, principalmente no Trecho 1, o que sugere que a vegetação está em bom estado de conservação. Essa interpretação visual do componente de verdor responde bem às áreas com cobertura natural densa e aos processos de recrescimento da vegetação.

Figura 6 : Tasseled Cap Luminosidade e Verdor ano 2015 e 2021. Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Implementação do método Change Vector Analysis (CVA)

Para a análise do CVA, foram utilizados os componentes luminosidade e verdor gerados na pesquisa em questão como dados de entrada do algoritmo. As mudanças da cobertura da terra ocorridas no intervalo de tempo de 2015 a 2021 no PEC foram mapeadas uma vez que as variações espectrais entre os componentes de verdor e luminosidade de duas datas apresentaram um aumento ou diminuição dos valores de refletância como se mostra na tabela 3.

Tabela 3: Magnitude e direção para cada tipo de categoria de mudança.

Tipo de mudança	Luminosidade	Verdor	Descrição	Significado
			Magnitude do vetor de mudança	Direção do vetor de mudança
Categoria 1	+	+	menores perdas de biomassa	Sem alteração (0-90°)
Categoria 2	-	+	Aumento de Biomassa	Recrescimento
Categoria 3	+	-	Expansão do solo descoberto	Degradação
Categoria 4	-	-	Perdida biomassa	Alagamento

Fonte: Adaptado de Borrego *et al.*, (2002) e Roemer (2010).

Na categoria 1, o aumento da luminosidade e aumento do verdor, representa uma magnitude do vetor que é principalmente relacionada a menores perdas de biomassa, enquanto que a categoria 2, sugere uma diminuição da luminosidade e aumento do verdor, que representa as áreas com recrescimento vegetal. A categoria 3, que se refere a expansão do solo descoberto, está fortemente relacionado com perdas de biomassa vegetal, sendo áreas ocupadas pela vegetação que passou por processos de queimada ou desmatamento.

Finalmente na categoria 4, foi possível evidenciar a extensão das áreas alagadas, o que permitiu realizar algumas associações, tais como os CAP que registraram uma área com menor umidade no solo no ano 2015, em contraste com o ano 2021 onde apresentou uma maior área de superfície alagada no sudoeste da área de estudo, localizado no Trecho 2, a qual foi mapeada pelo CVA, sendo a mudança de maior abrangência observada no PEC.

Magnitude do vetor de mudança

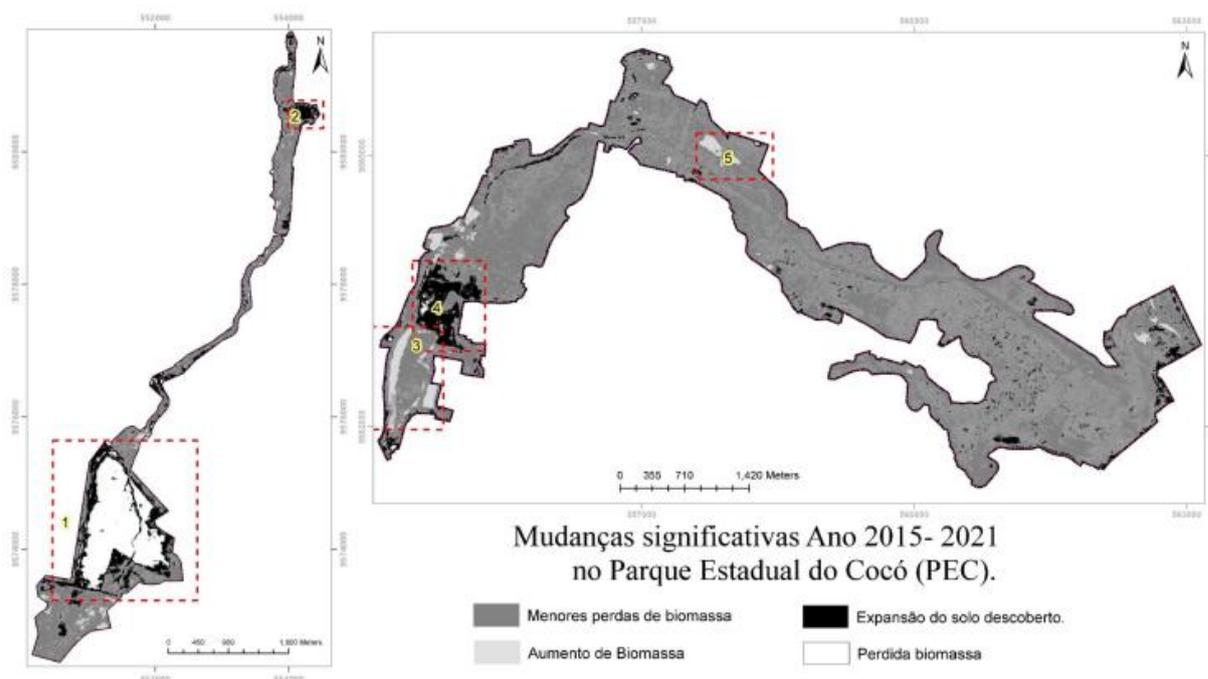
A figura 7 mostra os resultados obtidos na magnitude do vetor de mudança, neste caso é possível verificar as áreas de maior expressividade, sendo a área 4 no Trecho 1 e a área 1 localizada no Trecho 2 as de maior abrangência.

Em termos de interpretação visual na figura 7, cada valor em escala de cinza representa um padrão de mudança, sendo os pixels alterados exibidos em branco que representam áreas de alagamento, as áreas pretas indicam áreas degradadas, enquanto que, áreas cinza da cor claro representam áreas em recrescimento. No entanto as áreas da cor cinza indicam que não houve

alteração. Na figura 7, é possível identificar visualmente as áreas de maior expressividade de acordo à magnitude de mudanças.

Uma vez mapeada estas alterações, o trabalho de campo ocorreu entre os dias 31 de agosto, 3, 7, 8, 13 e 27 de setembro de 2022, com intuito de conferir as mudanças obtidos pelo CVA, assim como aquelas de maior abrangência, também e recolhidas informações através de registros fotográficos e pontos GPS de navegação, permitindo identificar os principais aspectos vegetativos dentro do PEC.

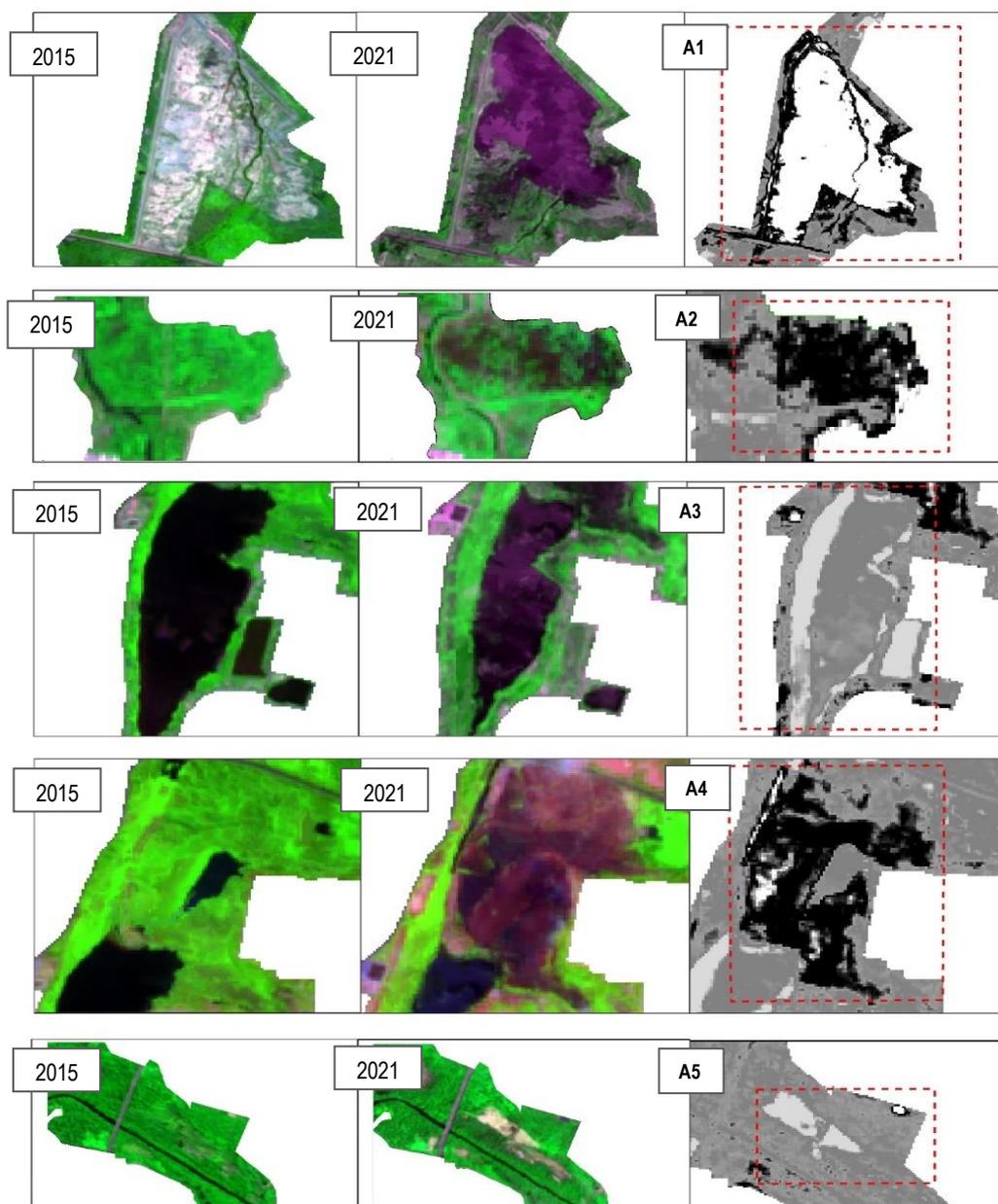
Figura 7: Imagem com informação de Magnitude do vetor de mudanças no período de 2015 - 2021 no PEC.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Desta forma a mudança mostrada na Figura 8 (A1), é encontrada apenas no sudeste da área de estudo no Trecho 2, com base na verificação em campo, essa zona corresponde a uma planície inundável sendo uma área ideal para o controle excedente de água nos períodos chuvosos, onde foi construído no ano 2017, à barragem de contenção de cheias do Rio Cocó (ARCADIS,2020).

Figura 8: Áreas de maior expressividade de mudança mapeada pelo Método de detecção de mudanças Change Vector Analysis no período de 2015 - 2021 no PEC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Este processo foi registrado pelo CVA como uma perda de material vegetal e solo devido às diferenças espectrais nos valores de pixels entre as imagens comparadas, sendo que, já no ano 2021, refletem uma condição diferente, substituídos por valores com baixa resposta espectral, sugerindo áreas de trechos alagados.

Figura 9: Mudança com perda de biomassa registrado pelo CVA no período de 2015 - 2021 no PEC.

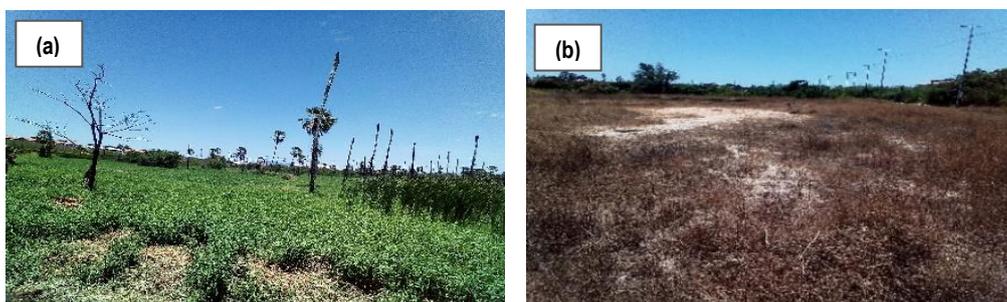


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

A mudança evidenciada na Figura 8 (A2), localizada no Trecho 2, no bairro Cajazeiras, a noroeste da área de estudo, se observou que esta, apresenta uma transição da vegetação para solo exposto, do ponto de vista espectral a alteração dos valores nos pixels registrou uma diminuição do verdor e aumento da Luminosidade do solo no ano 2021. Neste caso, a interpretação do significado biofísico, refere-se a uma área com processo de degradação.

Nos trechos foi observado que estas áreas apresentam uma condição de vegetação herbácea seca que se interpõem como barreiras físicas, entre ambientes brejosos e paludosos. De acordo com relatos da população do bairro Cajazeiras, na R. Francisco Nogueira que margeia esta área, tem sido utilizada a prática de desmatamento queimadas a fim de aproveitar a exploração comercial das espécies de carnaúbas. Alguns eventos visíveis dos pontos de observação podem ser vistos na figura 10.

Figura 10: Mudança na área de degradação registrado pelo CVA no período de 2015- 2021 no PEC. a. área com presença de vegetação de carnaúba onde atualmente se realizam atividades de extração das folhas para aproveitamento comercial. b. áreas com pouco desenvolvimento vegetal ou solo exposto.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

A mudança evidenciada na Figura 8 (A3), localizada no Trecho 1, correspondem a padrões espaciais, localizadas nas lagoas no bairro Aerolândia, que indicam o aumento da biomassa no CVA, registrando uma maior resposta fotossintética da vegetação nos corpos de água com pouca

profundidade, o que ratifica que o componente Verdor do CVA, respondeu bem aos pixels que mudaram no ano 2021 (XIAO *et al*, 2021), para discriminar áreas de recrescimento na vegetação aquática herbácea da espécie Aguapé (*Eichhornia crassipes*).

De acordo com a mudança supramencionada, na figura 11, pode ser verificado que este tipo de vegetação abrange extensas superfícies, seu desenvolvimento é próximo à construção da empresa Reversora de Água e Esgoto no bairro Aerolândia, o que ratifica que é uma espécie que se adapta a ambientes de poluição urbana, processo que afeta os corpos hídricos dentro do PEC.

Figura 11: Mudança área de recrescimento de biomassa identificado pelo CVA no período de 2015 - 2021 no PEC. a. presença de vegetação herbácea aquática margeando as lagoas do bairro Aerolândia. B. presença de Aguapé, notar o crescimento da vegetação junto a fluxo de água urbana que sai da Companhia Captação, Tratamento e Distribuição de Água do Ceará (CAGECE) no bairro Aerolândia.



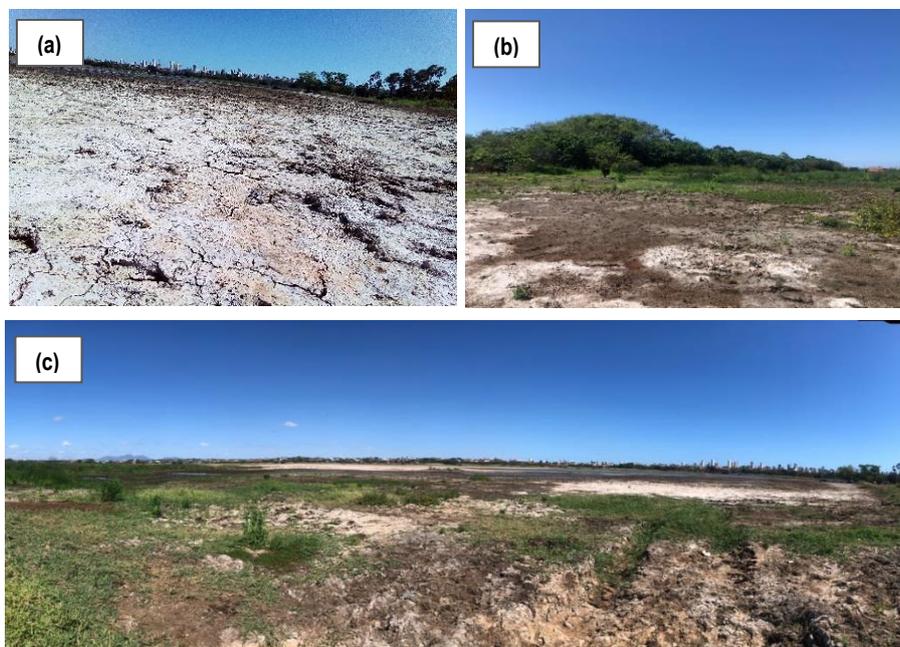
Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

A localização do ponto A4 representa a conversão de áreas com vegetação para solo exposto, esta interpretação, refere-se ao aumento da *Luminosidade* devido à alta resposta espectral que refletem o solo desprovido de vegetação no espectro visível, fornecendo a diminuição na intensidade do *Verdor*, sendo substituídos na data prevista valores com baixa resposta espectral no componente CAP.

ZHOU *et al*, (2020) menciona que essa forte variação espectral na magnitude da mudança, facilita as interpretações, a partir dessas variações espectrais entre os componentes de *Luminosidade* e *Verdor*. Neste caso, os valores dos pixels alterados devido à completa perda da vegetação.

Esta categoria de mudança proporcionou conhecimento do grau de alteração causado pela atividade antropogênica dentro do PEC. Na figura 12 foi possível identificá-lo como a área de maior expressividade no trecho 1, localizado no bairro Salinas.

Figura 12: Mudança da vegetação arbórea e arbustiva atingida pelo incêndio dentro do PEC em novembro 2021. a. vista panorâmica do incêndio dentro do PEC. b. Transição entre a fisionomia vegetal para solo exposto, no fundo é possível observar vegetação que existia antes do incêndio.

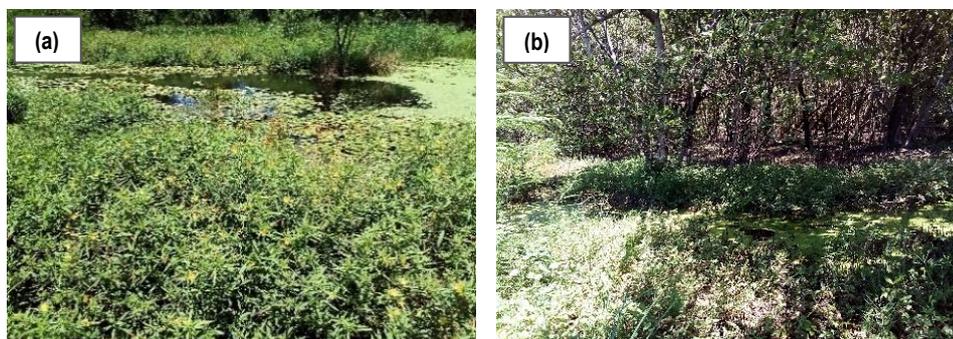


Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

A mudança evidenciada na Figura 8 – (A5), localizadas no Trecho 1, nordeste da área do PEC, é encontrada apenas no bairro cidade 2000. Autores como Allen *et al*, (2018) e Macintyre *et al*, (2020) mencionam, que a utilização dos TCT como unidade de entrada no CVA melhoram as interpretações dos padrões de mudanças, isto foi verificado nesta pesquisa uma vez que o CVA mapeara o desenvolvimento da vegetação aquática com presença de macrófitas, características de ambientes paludosos e lagoas sazonais do PEC.

Uma vez feita a verificação em campo e a coleta de relatos de moradores locais, ditos padrões espaciais correspondem à recuperação de áreas que foram ocupadas por cultura de subsistência e antigas salineiras. Na figura 13, constatou uma espécie de vegetação aquática herbácea como as apresentadas nas mudanças (A3). Pode se observar que este tipo de espécies apresenta diferentes condições fito-vegetacionais, um indicador de que esta área apresenta um ambiente com menor poluição urbana, uma vez que não foi observada a presença de Aguapé.

Figura 13: Recrescimento da vegetação aquática no PEC. a. Presença de macrófitas em lagoas sazonais do PEC. b. Transição entre vegetação aquática para áreas lamacentas, no fundo é possível observar vegetação de manguezal.



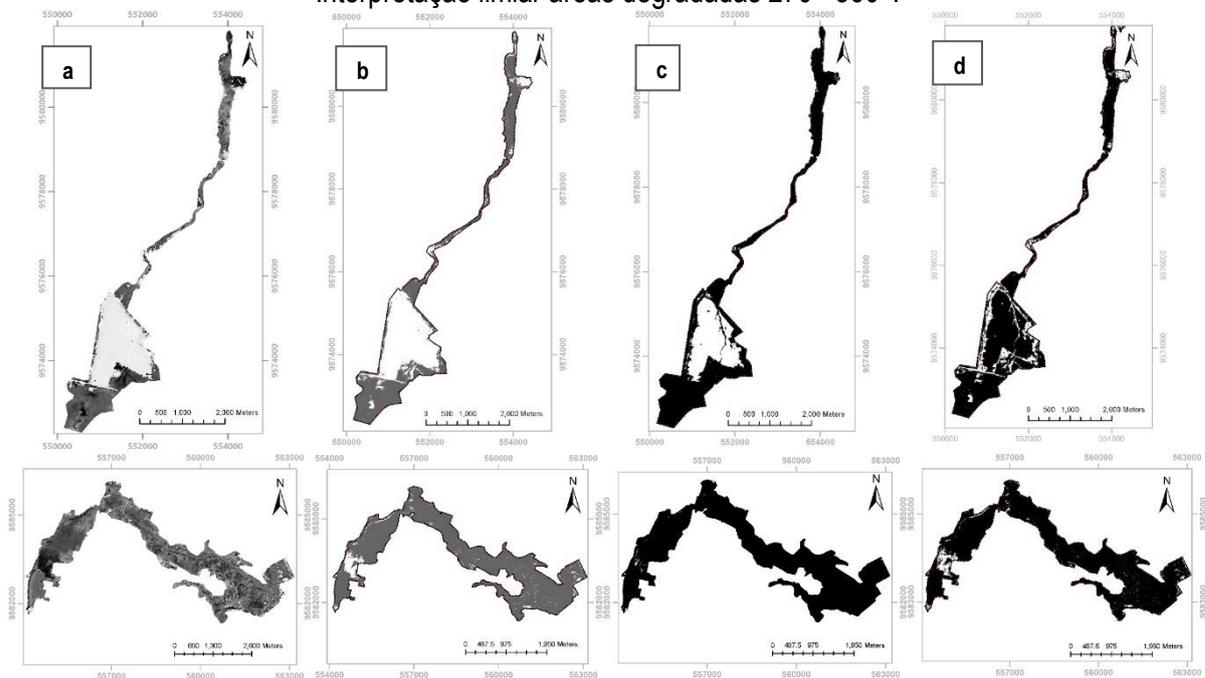
Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

Direção do vetor de mudança

No que se refere ao vetor direção de mudança calculado pelo método do CVA nesta pesquisa, pode-se verificar as áreas: sem alteração, recrescimento, alagamento e degradação, através da figura 14 (a).

Neste estudo, para melhorar a interpretação visual das categorias foi considerado que as situações de 'sem alteração' e 'áreas de recrescimento' representam áreas que permanecem em um processo de regeneração natural, por tanto foram agrupados em uma única categoria de mudança. Assim foi possível agrupar três tipos de direções de mudanças que pode ser visto nas figuras seguintes (14a,14b,14c,14d). Os tons de cinza permitiram visualizar os resultados da imagem de direção de mudança, a cor branca representa as áreas que mudaram, a área de tons de preto indica que não houve mudança, enquanto as áreas em cinza indicam aquelas áreas sem alteração ou recrescimento.

Figura 14: (a). Imagem com informação de direção de mudanças no período de 2015- 2021 no PEC. (b) sem alteração e recrescimento 0° - 180° . (c) Interpretação limiar áreas alagadas 180° - 270° . (d) Interpretação limiar áreas degradadas 270° - 360° .



Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

Podem ser vistas na Figura 14 (b) as áreas que de 2015 a 2021 não tiveram alteração, esta categoria foi definida com uma trajetória angular entre 0° - 180° no componente de direção de mudança. Devido às medidas de proteção tomadas pelas diferentes entidades para garantir o desenvolvimento sustentável do PEC, mesmo que essas medidas tenham sido implementadas dois anos depois de data prevista desta pesquisa o processo de recuperação natural é evidente, em grande parte do Trecho 1, se verificou que a vegetação de mangue e a vegetação de tabuleiro se encontram em um estágio de maior desenvolvimento ou sem alteração.

De acordo com a figura 14 (c), os tipos de categorias das mudanças na cobertura da terra no PEC, ocorreram principalmente na conversão de solo descoberto a áreas alagadas no trecho 2. O motivo é que as informações espectrais do composto temporal de 2015, foi obtida quando nessa área ainda não existia a barragem de contenção de cheias do Rio Cocó (ARCADIS,2020), sendo na atualidade uma das mudanças mais representativas. Se definiu a trajetória angular entre 180° - 270° .

As áreas de degradação do ecossistema foram desenvolvidas principalmente por práticas de uso de fogo e atividades de desmatamento na vegetação, gerando padrões de mudanças de degradação no trecho 1 Figura 14 (d). O composto temporal de imagens de 2021 coincidiu com o incêndio do parque estadual do Cocó que atingiu parte da vegetação, considerando-se um dos padrões mais

representativos em termos de área e de importância. Esta mudança representa a trajetória angular entre 270° - 360° no componente de direção da mudança.

A análise do vetor de direção de mudanças permitiu extrair informação qualitativa dos padrões de mudanças. Essa interpretação de limiares no CVA, foi baseada nos resultados angulares da imagem do vetor de direção de mudança (figura 14a), sendo essa uma das limitações discutida por vários autores, já que pode gerar subjetividade nas interpretações, uma vez que sua definição é feita por um ajustamento interativo, conhecimento do intérprete na área de estudo, e destreza na identificação das mudanças.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos componentes CAP utilizados para calcular as diferenças espectrais no método CVA (ALLEN *et al*, 2018; ZHOU *et al*, 2020) permitiu obter melhores resultados nas interpretações das alterações na cobertura da terra no CVA, sendo as áreas com perda de biomassa e expansão do solo descoberto às categorias mais perceptíveis de interpretar no componente *magnitude de mudanças*.

A definição das trajetórias angulares no componente *Direção de mudanças* é uma das limitações do CVA, ratificando o que mencionaram Lu *et al*, (2004) e Allen *et al*, (2018) as interpretações podem gerar subjetividade no ajustamento interativo na definição de categorias. Uma alternativa para esta limitação pode ser o uso de técnicas estatísticas avançadas baseadas no cálculo de desvio padrão que possibilitem obter precisão neste componente.

Lorena *et al*. (2002) e Roemer *et al*, (2010), afirmaram que o CVA gera resultados mais eficazes nas áreas de vegetação densa; ao contrário do que foi exposto por eles, nesta pesquisa o método demonstrou que pode ser aplicado em áreas de menor escala, obtendo informações para mapear o recrescimento de espécies aquáticas. Ratificando que o CVA é muito sensível para interpretar as variações da luminosidade e verdor em áreas com menor desenvolvimento florestal nas imagens (PARK *et al*, 2018; SUN *et al*, 2019).

Na área atingida pelo incêndio ocorrido no ano 2021 no ano 2021 é recomendada uma intervenção dos órgãos competentes municipais, já que não se evidenciaram ações a favor da proteção dos solos após o incêndio, o que ajudaria a acelerar o processo de recuperação natural da vegetação, até mesmo ações de prevenção para monitorar e fiscalizar com mais eficiência a vegetação do Parque nos meses de maior estiagem.

Após serem desativadas as antigas salinas no PEC nos anos 70, foi possível verificar que aquelas áreas que antigamente foram utilizadas para este tipo de atividade, hoje, apresentam a recuperação destas áreas, promovendo o desenvolvimento com maior abrangência das espécies do manguezal nos bairros Cidade 2000, Cocó e Edson Queiroz. Constatando-se o exposto por Carmo (2020), as atividades salineiras são consideradas de baixo impacto, uma vez que cessada a atividade a tendência é a auto regeneração natural da vegetação.

O uso de algoritmos e a aplicação *Google Earth Engine* para a análise e processamento de dados, demonstrou que é uma vantagem para o controle e preservação da área, sendo uma oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas visando a utilização destas metodologias para o monitoramento constante. Nesta perspectiva, este trabalho incentiva o uso de ferramentas no âmbito das geotecnologias para serem implementadas na prevenção e resposta frente aos fatores de risco que incidem na transformação da vegetação do Parque do Cocó, embora se demonstrou a importância de se trabalhar métodos para uma análise mais integrada e abrangente nas unidades de conservação integral no Estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, Harriet et al. 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.
- ALLEN, Thomas R.; KUPFER, John A. Application of spherical statistics to change vector analysis of Landsat data: Southern Appalachian spruce–fir forests. **Remote sensing of environment**, v. 74, n. 3, p. 482-493, 2000.
- AZZOUZI, Soufiane Abdelaziz. **Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación**. 2019. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de València.
- BAIG, Muhammad Hasan Ali et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 5, p. 423-431, 2014.
- CHEN, Xuehong et al. An automated approach for updating land cover maps based on integrated change detection and classification methods. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 71, p. 86-95, 2012.
- CHEN, Chao *et al*, Temporal and spatial variation of coastline using remote sensing images for Zhoushan archipelago, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 107, p. 1027-11, 2022.
- CHUVIECO, Emilio. **Teledetección Ambiental**. La Observación De La Tierra Desde El espacio. Barcelona: Ed. Plalíquida, S.A, 2010.
- CHUVIECO, Emilio. **Fundamentos de teledetección espacial**. Estudios Geográficos, v. 52, n. 203, p. 371, 1995.
- DUAN, Mengqi et al. Mapping the soil types combining multi-temporal remote sensing data with texture features. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 200, p. 107230, 2022.
- E.S.A. **European Space Agency Satellite Missions**. 2015. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2>. Acesso em: 31 mai 2022.

FERREIRA FILHO, João Eufrásio; ARAÚJO, Alexandre Costa. Análise de Ocorrências de Incêndios Florestais na área do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 563-569, 2021.

FERREIRA FILHO, João Eufrásio. **Mapeamento das Áreas de Risco de Incêndio Florestal no Parque Estadual do Cocó: 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.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. Fortaleza. **Postos Pluviométricos**. Fortaleza. 2021. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 26 ago 2022.

FREIRES, Eduardo Viana et al. **Análise socioambiental do entorno do Estuário do Rio Cocó-Fortaleza / Ceará. 2014.**

FREIRES, Eduardo Viana et al. **Análise da evolução urbana no entorno do estuário do Rio Cocó–Fortaleza/Ceará nos anos de 1985, 1996 e 2007. 2013.**

GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

GOOGLE DEVELOPERS. **Get Started with Earth Engine.2018**. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/getstarted>. Acesso em: 21 jun 2022.

HUSSAIN, Masroor 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.

HUANG, Chengquan et al. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. **International journal of remote sensing**, v. 23, n. 8, p. 1741-1748, 2002.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

LAMQUIN, Nicolas et al. An inter-comparison exercise of Sentinel-2 radiometric validations assessed by independent expert groups. **Remote Sensing of Environment**, v. 233, p. 111369, 2019.

LAMBIN, Eric F.; STRAHLERS, Alan H. 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.

LEACH, Nicholas; COOPS, Nicholas C.; OBRKNEZEV, Nikola. Normalization method for multi-sensor high spatial and temporal resolution satellite imagery with radiometric inconsistencies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 164, p. 104893, 2019.

LORENA, Rodrigo Borrego et al. A change vector analysis technique to monitor land use/land cover in sw Brazilian amazon: Acre state. **PECORA 15-Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale**, p. 8-15, 2002.

LU, Dengsheng et al. Change detection techniques. **International journal of remote sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.

MACINTYRE, Paul; VAN NIEKERK, Adrian; MUCINA, Ladislav. Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p. 101980, 2020.

MALILA, William A. Change vector analysis: An approach for detecting forest changes with Landsat. In: **Laboratory for Applications of Remote Sensing**. 1980. p. 385.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, 2012.

NEDKOV, Roumen. Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel-2. **Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences**, v. 70, n. 5, p. 687-692, 2017.

OKE, Timothy R. et al. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

PARUELO, José M.; DI BELLA, Carlos; MILKOVIC, Mayra. **Percepção Remota y Sistemas de Información Geográfica: Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales**. 1 ed. Buenos Aires: hemisferio sur, 2014.

PARK, Honglyun et al. Modified S2CVA algorithm using cross-sharpened images for unsupervised change detection. **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. 3301, 2018.

Plano De Manejo Do Parque Estadual Do Cocó, Produto 22, Plano de Manejo Consolidado. ARCADIS. Secretaria do Meio Ambiente do Ceará, Fortaleza, 2020.

ROEMER, H. et al. Using remote sensing to assess tsunami-induced impacts on coastal forest ecosystems at the Andaman Sea coast of Thailand. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 10, n. 4, p. 729-745, 2010.

RODRÍGUEZ CORUJO, Sergio. **Detección de cambios en imágenes multibanda mediante reducción de su dimensionalidad**. 2020.

RUIZ, Fernando. **Métodos de detección de cambios**. ETSI. **Geodésica, Cartográfica y Topográfica** - Universidad Politécnica de Valencia, 2013.

SALIH, Abdelrahim AM; VOROVENCII EI-Tyeb; ELMAHL, Anwer Alsadat. Spectral mixture analysis (SMA) and change vector analysis (CVA) methods for monitoring and mapping land degradation/desertification in arid and semiarid areas (Sudan), using Landsat imagery. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 20, p. S21-S29, 2017.

SANTOS, Jader de Oliveira. **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.

FUNCEME. **Postos Pluviométricos**. 2021. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 25 ago 2022.

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-coco-e-debelado-pelas-forcas-de-seguranca-e-brigadistas-florestais/>. Acesso em: 9 jun 2022.

TEWKESBURY, Andrew P. et al. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 160, p. 1-14, 2015.

VOROVENCII, Iosif. 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.

XIAO, Han et al. Optimal and robust vegetation mapping in complex environments using multiple satellite imagery: Application to mangroves in Southeast Asia. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 99, p. 102320, 2021.

YANG, Chaowei et al. Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges. **International Journal of Digital Earth**, v. 10, n. 1, p. 13-53, 2017.

ZHOU, Yuan; LI, Xiangrui. Unsupervised Self-training Algorithm Based on Deep Learning for Optical Aerial Images Change Detection. **arXiv preprint**, 2020.