

Received:
August 7, 2025

Accepted:
October 19, 2025

Published:
October 31, 2025

Analysis of Seasonal Variation in the Vegetation Carbon Flux in Quiterianópolis, Ceará, Brazil

Douglas Cavalcante Holanda¹ 

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Crateús, Brasil.

Email address

douglas.contato.holanda@gmail.com (Douglas C. Holanda) – Corresponding author.

Abstract

Vegetation is of significant importance in various ecosystemic, biotic, and abiotic relationships, particularly for its active role in maintaining biogeochemical cycles. A prime example is the carbon cycle, where carbon is removed from the atmosphere and relocated to the biosphere through photosynthesis. Recognizing the importance of vegetation in mitigating the climatic and environmental impacts of carbon, this study aimed to perform a spatial-seasonal analysis of phytomass development, light use efficiency in photosynthesis, and carbon flux for the municipality of Quiterianópolis, Ceará. The analysis was conducted using biophysical indices (NDVI, sPRI, and CO2Flux) derived from Landsat 8 satellite imagery. The findings revealed that climatic seasonality influences the spatial distribution and values of phytomass development, light use efficiency, and carbon assimilation. The variables analyzed during the rainy season were found to be more developed compared to the results from the dry season. This phenomenon is related to the phenological stages of vegetation, which respond to the abiotic stimuli provided by climatic seasonality.

Keywords: Vegetation, Carbon Cycle, Biophysical Indices.

1. Introdução

A vegetação como constituinte da biosfera, possui significativa importância, protegendo os solos, influenciando no microclima local, além de ter ativa participação na manutenção dos ciclos biogeoquímicos (Townsend et al. 2010; Romero, 2013; Molnar et al. 2018). A atuação da vegetação nos ciclos do carbono ocorre por meio da retirada do gás carbônico da atmosfera, alocando-o na biosfera por meio da fotossíntese, a vegetação neste sentido exerce a função de mitigar, ou minimamente diminuir os impactos do carbono na atmosfera (Nowacki & Rangel, 2014).

Para Grotzinger e Jordan (2013), o carbono é um elemento essencial à vida, constituindo boa parte da matéria orgânica, fazendo-se presente em várias esferas da natureza tais como a pedosfera, biosfera, atmosfera e hidrosfera. Com o constante aumento nas emissões de carbono, problemáticas relacionadas a acidificação do meio, mudanças nos padrões climáticos globais, perturbação dos ciclos biogeoquímicos e o surgimento de epidemias vêm se tornando crescente, ocasionando uma série de

impactos ambientais e sociais (Barbosa et al. 2013; Nowacki & Rangel, 2014).

Neste sentido as tipologias vegetais presentes no domínio morfoclimático da caatinga, possuem um alto rendimento no fluxo de carbono, sendo um sumidouro eficiente, contribuindo para a mitigação dos impactos do carbono atmosférico (Mendes et al. 2025). Vale ressaltar que o carbono atmosférico assimilado pela vegetação, também compreendido como dióxido de carbono (CO₂), é considerado um gás de efeito estufa (GEE), ou seja, é um poluente atmosférico responsável por fomentar as mudanças climáticas em diversas escalas, além de promover uma série de desequilíbrios ecossistêmicos, sendo a ação antrópica responsável por parte do aumento nas concentrações do CO₂ atmosférico (Townsend et al. 2010).

O domínio morfoclimático da caatinga tem como característica o tipo climático semiárido, que apresenta reduzidas precipitações pluviométricas anuais (600 a 800 mm/ano), o que corrobora para a intermitência dos rios além da abundante presença de solos pouco desenvolvidos com pouca espessura e reduzida presença de matéria orgânica (Ab'Sáber,

2021). Por conta de tais características, boa parte da vegetação do semiárido é adaptada de forma a sobreviver a sazonalidade climática, por meio da caducifolia e da subcaducifolia, sendo estas, etapas fenológicas que ocorrem em resposta à estímulos abióticos (variações sazonais), no qual a vegetação tende a reduzir sua biomassa foliar em detrimento das altas temperaturas, do prolongado fotoperíodo e da baixa disponibilidade hídrica, característicos dos períodos de estiagem, de forma a promover a senescência foliar, que ocasiona a diminuição do uso eficiente da luz, bem como a redução nas taxas fotossintéticas (Matos et al. 2019).

Portanto o presente estudo buscou avaliar o desenvolvimento da fitomassa, o uso eficiente da luz na fotossíntese e a assimilação de carbono para os diferentes períodos sazonais do município de Quiterianópolis, por meio dos índices biofísicos elaborados com produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Segundo o Perfil Municipal elaborado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2017), o município de Quiterianópolis é caracterizado pela presença de vegetação do tipo carrasco, floresta subcaducifolia tropical pluvial, caatinga aberta arbustiva e floresta caducifolia espinhosa, tendo predominância de vegetação do tipo caducifolia que em períodos de estiagem tende a reduzir sua biomassa foliar ocasionando déficit nos conteúdo de clorofila e nas taxas de fotossíntese (Taiz et al. 2017), sendo tais alterações sensíveis aos índices biofísicos.

Neste sentido o uso do sensoriamento remoto traz consigo uma série de vantagens na análise da fitomassa do município em questão, uma vez que os índices biofísicos permitem inferir análises tanto qualitativa quanto quantitativa no desenvolvimento de variáveis biofísicas, outra grande vantagem do sensoriamento remoto está na possibilidade de se elaborar estudos sazonais, dada a alta variabilidade espaço-temporal das imagens de satélite, o que na prática permite elaborar análises de um mesmo ponto para distintas escalas temporais ou sazonais (Guedes e Silva, 2018).

2. Área de Estudo

2.1 Localização Caracterização

O município de Quiterianópolis, situado no estado do Ceará, pertence à região de planejamento dos Sertões dos Inhamuns (Figura 1). Segundo o portal cidades do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE, 2024), Quiterianópolis conta com uma população de aproximadamente vinte mil habitantes, com uma área territorial de mil e vinte e dois quilômetros quadrados (1022 km²). A área de estudo localiza-se em região de depressão sertaneja com a presença da porção meridional do Planalto da Ibiapaba localizada a oeste do município, sendo tais formas de relevo características do domínio da caatinga.

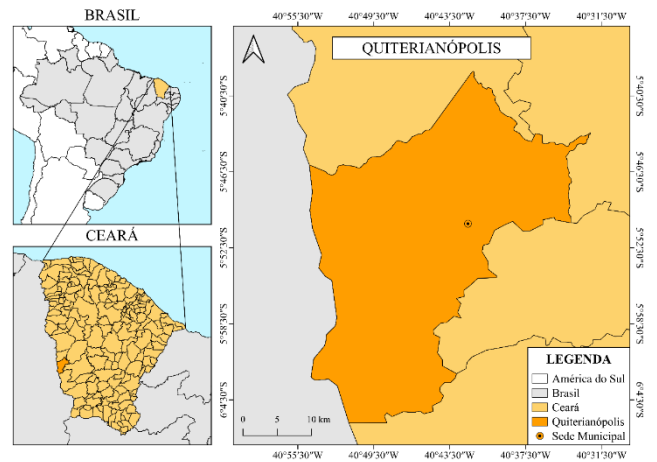


Figura 1 - Mapa de Localização do município de Quiterianópolis.

Segundo o IPECE (2017), o município de Quiterianópolis apresenta as seguintes tipologias de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo e o Bruno não Cálcico. Nesse contexto, os solos Bruno Não Cálcico e Planossolo Solódico são caracterizados pela baixa a moderada condutividade hídrica, o que limita sua utilização para atividades agropastoris. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2025), os solos Latossolo Vermelho-Amarelo e o Podzólico Vermelho-Amarelo, são caracterizados por serem solos profundos, bem desenvolvidos, estando estes localizados próximos ao Planalto da Ibiapaba. Tais tipologias em conjunto aos fatores climáticos do Planalto da Ibiapaba favorecem o desenvolvimento de tipologias vegetais tais como o carrasco e a floresta subcaducifolia tropical pluvial, conhecida também como mata seca (Almeida Santos e Souza, 2012).

2.2 Sazonalidade Climática

Ainda segundo dados do IPECE (2017), a área de estudo apresenta pluviosidade média anual de seiscentos e cinco milímetros, com chuvas que vão

de janeiro a abril tendo seu clima classificado segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2025), como do tipo semi-árido, baseado no Índice de Aridez (IA), com valor igual a (37,4). Tais resultados condizem com os aspectos climáticos esperados para um município localizado no domínio morfoclimático da caatinga, apresentando portanto dois períodos

sazonais bem definidos, sendo o período chuvoso de janeiro à abril e o período de estiagem de maio à dezembro conforme é possível notar no gráfico da (Figura 2), neste sentido destaca-se a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua no clima do estado do Ceará, definindo as variações sazonais de acordo com sua posição no Oceano Atlântico (Zanella, 2014).

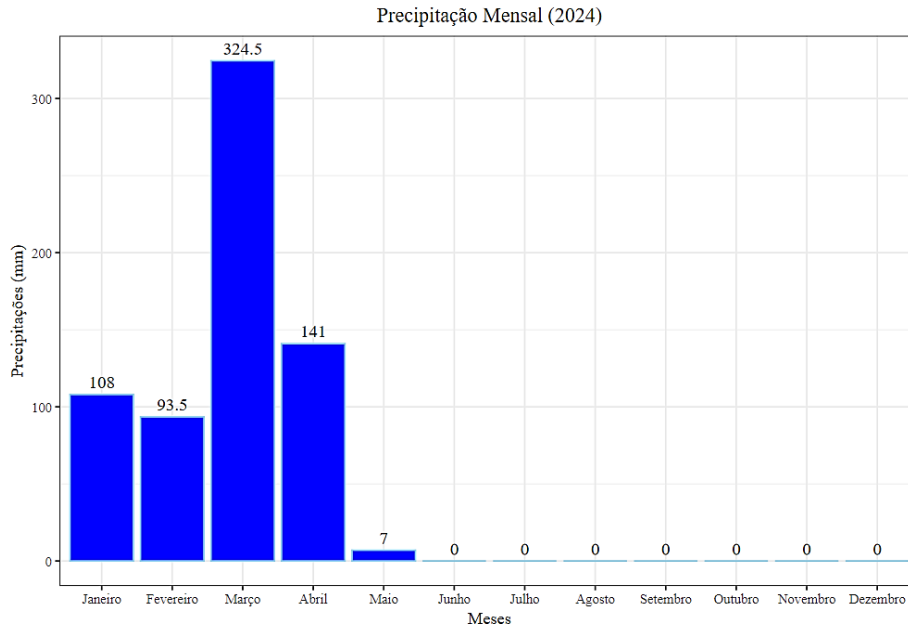


Figura 2 – Gráfico com distribuição mensal de precipitações pluviométricas em Quiterianópolis para o ano de 2024.

A distribuição mensal de precipitações para o ano de 2024 foi extraída do posto pluviométrico de Quiterianópolis (FUNCEME, 2024). O gráfico de precipitações mensais demonstra a duração de cada período sazonal em relação a atuação da ZCIT no estado do Ceará, onde os meses de janeiro a abril apresentam um total de 667 milímetros com apenas 7 milímetros para o mês de maio, os demais meses não apresentaram precipitações, estabelecendo-se, portanto, o período de estiagem, entre os meses de maio a dezembro, onde a ZCIT muda seu curso em direção ao Hemisfério Norte (Zanella, 2014).

3. Metodologia

Para a análise sazonal do desenvolvimento de fitomassa, da eficiência no uso da luz e da assimilação de carbono da vegetação do município de Quiterianópolis, fez-se uso do sensoriamento remoto aplicado em conjunto ao geoprocessamento presentes em pesquisas como as de Rouse et al. (1973), Gamon et al. (1992), Gamon et al. (1997) e Rahman et al. (2001). Para o geoprocessamento, foram escolhidas imagens do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), composto

de nove bandas das quais foram utilizadas neste estudo quatro bandas espectrais, sendo elas a Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo. Para o processamento das imagens, fez-se uso do *software* Qgis versão (3.40.8), que configura-se como um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) de código aberto.

Para a composição deste estudo fez-se uso das imagens do satélite Landsat 8 (OLI), Level-2, que possui um elevado grau de correções atmosféricas, excluindo assim a etapa de pré-processamento das imagens (USGS, 2024), além de permitir melhores resultados na obtenção dos índices biofísicos. Quanto à escolha das imagens foi adotado alguns parâmetros de qualidade, como o baixo percentual de nuvens (inferior a 20% para a área de estudo) e boa visibilidade tendo por objetivo minimizar a influência de efeitos atmosféricos nos valores dos índices biofísicos. Para compor o município de Quiterianópolis optou-se pelo uso de uma imagem para cada período sazonal adotado no estudo, tendo sido utilizadas imagens datadas de 01 de abril de 2024 e de 26 de outubro de 2024, com horário de passagem aproximado em (12:53 PM), de posição Órbita/Ponto: (218/64).

Para a obtenção dos valores de CO₂Flux, inicialmente elaborou-se para a área de estudo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973), depois elaborou-se o Índice de Reflectância Fotoquímica do inglês *Photochemical Reflectance Index* (PRI) proposto por Gamon et al. (1992). Após obter o PRI, reescalou-se os valores tornando-os positivos, gerando, portanto, um novo índice denominado de Índice de Reflectância Fotoquímica escalonado do inglês *scaled Photochemical Reflectance Index* (sPRI), que constitui-se como uma etapa necessária na obtenção do CO₂Flux que é gerado a partir da combinação do NDVI com o sPRI.

O NDVI proposto por Rouse et al. (1973), permite analisar e quantificar o vigor vegetativo por meio da reflectância do Infravermelho Próximo (NIR) e do vermelho (RED) na clorofila presente na biomassa vegetal. O proposto índice pode ser obtido através da razão entre a subtração e a adição dos canais (NIR) e (RED), quantificando assim o desenvolvimento da fitomassa por meio de uma diferença normalizada, onde os valores negativos representam áreas de mananciais e de solo exposto enquanto os valores positivos tendem a indicar a presença bem como o vigor da fitomassa. O NDVI pode ser obtido pela (Equação 1).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

Onde:

(NIR): Equivale a reflectância da banda do Infravermelho Próximo (Banda 5);

(RED): Equivale a reflectância da banda do Vermelho (Banda 4);

O PRI proposto por Gamon et al. (1992), permite analisar e mensurar a eficiência do uso da luz pela vegetação fotossinteticamente ativa, por meio da diferença normalizada sendo semelhante ao NDVI. O PRI tende a ser sensível às alterações nos pigmentos carotenoides presentes na fitomassa (Almeida & Rocha, 2018). Para a composição do PRI, utilizou-se a versão presente em Gamon et al. (1997), podendo ser obtido através da razão entre a subtração e a adição da reflectância dos canais do Azul (BLUE) e do Verde (GREEN), expresso na (Equação 2).

$$PRI = \frac{(BLUE-GREEN)}{(BLUE+GREEN)} \quad (2)$$

Onde:

(BLUE): Equivale a reflectância da banda do Azul (Banda 2);

(GREEN): Equivale a reflectância da banda do Verde (Banda 3);

Após obter o PRI é necessário reescalonar os valores para assim então obter o sPRI, que é um índice derivado do PRI com valores positivos que quantificam o uso eficiente da luz pela vegetação. Segundo Correia Filho et al. (2021), a conversão de PRI para sPRI busca também corrigir os valores de eficiência do uso da luz, sendo a obtenção do sPRI uma etapa necessária para a obtenção do CO₂Flux. O sPRI com os valores reescalados pode ser obtido pela (Equação 3).

$$sPRI = \frac{(PRI+1)}{2} \quad (3)$$

O índice CO₂Flux proposto por Rahman et al. (2001), permite analisar a eficiência do fluxo de carbono pela vegetação, de forma quantitativa e qualitativa, permitindo mapear o fluxo espacial e temporal da assimilação de carbono no ecossistema. O CO₂Flux pode ser obtido através da combinação do NDVI e do sPRI expresso pela (Equação 4).

$$CO_2Flux = NDVI \times sPRI \quad (4)$$

4. Resultados e Discussão

Analisando o NDVI (Figura 3), percebe-se a discrepância quanto à distribuição de vegetação na área de estudo, onde a vegetação apresentou estar mais desenvolvida e melhor distribuída no período chuvoso, tal fenômeno pode ser explicado a partir da fenologia da vegetação que tende a aumentar sua biomassa foliar no período chuvoso uma vez que, o mesmo proporciona condições ideais para tal desenvolvimento, dentre as condições destacam-se o curto fotoperíodo, as baixas temperaturas e a alta disponibilidade hídrica (Matos et al. 2019). Já no período de estiagem percebeu-se uma diminuição na distribuição de vegetação, bem como menores valores se comparado ao período chuvoso, onde o período em questão propiciou a senescência foliar, que ocorre em resposta aos estímulos climáticos e ambientais tais como a indisponibilidade hídrica, o aumento das temperaturas e o prolongamento do fotoperíodo (Taiz et al. 2017).

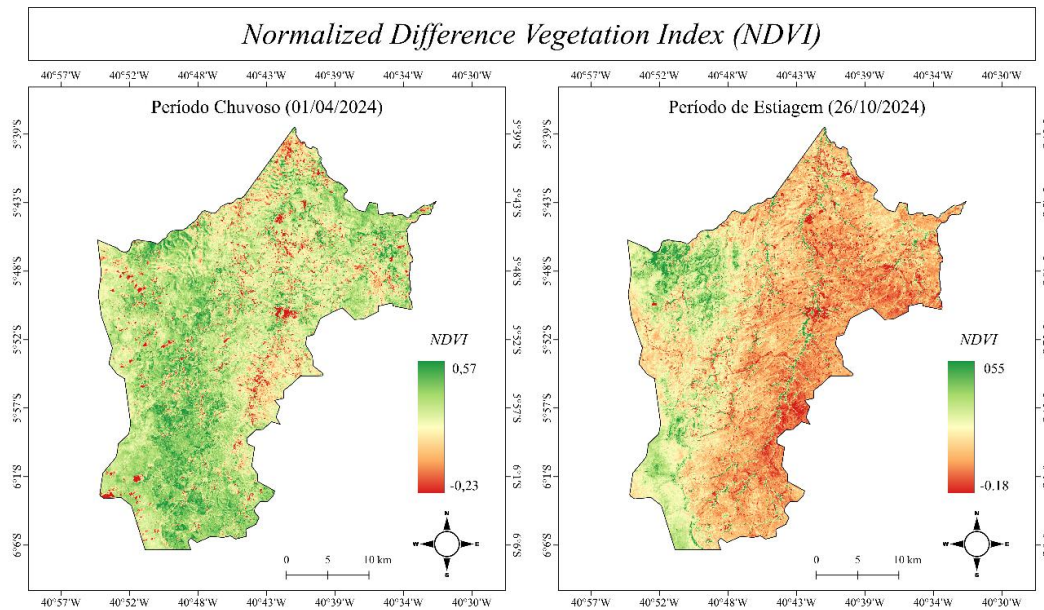


Figura 3 – NDVI para diferentes períodos sazonais.

Vale ressaltar que ao oeste da área de estudo, onde localiza-se a porção meridional do Planalto da Ibiapaba, foi constatado a presença de elevados valores de NDVI para ambos os períodos sazonais, o que indica a presença de fitomassa desenvolvida, tal fato se deve pela tipologia da vegetação da área do Planalto da Ibiapaba, que em sua maioria é caracterizada como floresta subcaducifólia tropical pluvial que tende a manter sua biomassa foliar desenvolvida mesmo em períodos de estiagem, em decorrência das chuvas orográficas e das demais condições climáticas e ecossistêmicas próprias do Planalto da Ibiapaba, favorecendo assim os altos valores de desenvolvimento vegetal constatados pelo NDVI (Almeida Santos e Souza, 2012).

Autores como Matos et al. (2019) e Taiz et al. (2017), afirmam que a senescência foliar pode ser compreendida como um processo altruísta, ou seja um processo benéfico à vegetação permitindo sua sobrevivência em condições desfavoráveis. Tal característica pode influenciar em variáveis como o uso eficiente da luz na fotossíntese e até mesmo na eficiência do sequestro de carbono. Neste sentido utilizou-se do sPRI (Figura 4), para analisar o uso eficiente da luz na fotossíntese para os diferentes períodos sazonais adotados no estudo, constatando uma baixa variação nos resultados do sPRI, com um moderado aumento nos valores de uso eficiente da luz para o período de estiagem.

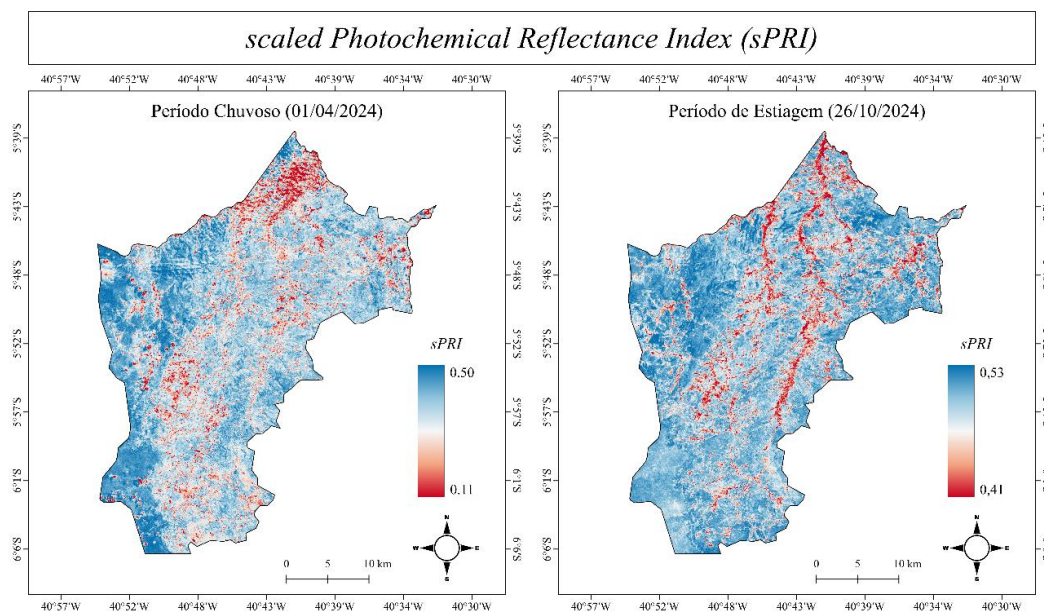


Figura 4 – sPRI para diferentes períodos sazonais.

O sPRI, mostrou-se mais bem distribuído para o período de estiagem evidenciando um maior uso eficiente da luz na fotossíntese em grande parte da vegetação, já para o período chuvoso constatou-se valores que variam de moderado para alto, estando os altos valores de uso eficiente da luz presentes na porção oeste da área de estudo onde localiza-se o Planalto da Ibiapaba. Constatou-se que a vegetação do Planalto da Ibiapaba apresentou alto rendimento para ambos os períodos sazonais analisados, tal área apresenta uma predominância da vegetação do tipo floresta subcaducifólia tropical pluvial que possui um alto rendimento no uso da luz se comparado as demais tipologias presentes na área de estudo.

Em estudo sobre o PRI, Zhang et al. (2016), afirma que o índice e seus derivados podem ter sua eficiência analítica reduzida a depender de fatores, tais como o ângulo de iluminação solar, a estrutura do dossel, fatores atmosféricos e a alta variabilidade de tipologias vegetais, estando tais fatores atrelados à possíveis alterações no uso eficiente da luz e na relação com o fluxo de carbono. Vale ressaltar que o estudo de Zhang et al. (2016), afirma que o PRI e

seus mecanismos não foram totalmente entendidos, sendo necessário mais estudos com variadas escalas espaciais e temporais para a total compreensão do PRI e de seus derivados.

O CO2Flux (Figura 5), apresentou uma maior distribuição do sequestro de carbono para o período chuvoso se comparado ao período de estiagem. O CO2Flux relacionou-se melhor com NDVI, o que evidencia uma possível relação do desenvolvimento de fitomassa com o sequestro de carbono, sendo tal relação também constatada em pesquisas como a de Almeida e Rocha (2018) e de Caetano et al. (2022). Para o período de estiagem o sequestro de carbono ficou concentrado basicamente na vegetação do Planalto da Ibiapaba, evidenciando a importância ecossistêmica que a floresta subcaducifólia tropical pluvial possui no período de estiagem, as demais tipologias não apresentaram um alto rendimento no período em questão, dada a caducifolia que ocorre como etapa fenológica responsável pela diminuição da biomassa foliar ocasionando a diminuição da fotossíntese e a consequente redução na eficiência do sequestro de carbono (Taiz et al. 2017).

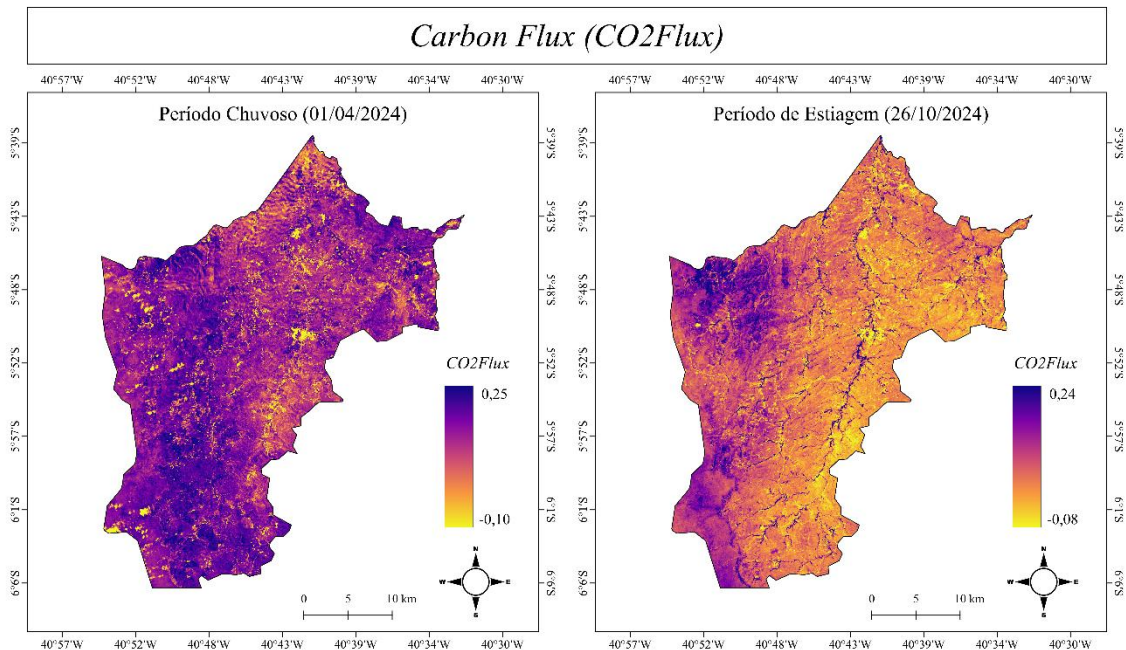


Figura 5 – CO2FLux para diferentes períodos sazonais.

Analisando os resultados obtidos a partir dos índices biofísicos pode-se afirmar que a vegetação da área de estudo possui alto potencial no sequestro de carbono, sobretudo no período chuvoso quando as condições climáticas e ecossistêmicas favorecem o desenvolvimento da biomassa foliar, beneficiando os mecanismos fisiológicos que atuam na absorção da luz para a fotossíntese e no sequestro de carbono.

Por meio dos valores apresentados na (Tabela 1), é possível analisar a resposta de cada índice biofísico utilizado à variação sazonal, como exemplo tem-se o NDVI que apresentou uma média elevada para o período chuvoso (0,39) e uma média baixa para o período de estiagem (0,16), já o sPRI deteve de uma baixa variação nas médias analisadas, variando de (0,46) no período chuvoso, para (0,47) no período

de estiagem, o CO₂Flux por sua vez, apresentou médias que variaram de (0,18) no período chuvoso, a (0,07) no período de estiagem, evidenciando assim a influência da sazonalidade nos índices biofísicos.

Tabela 1 – Valores dos índices biofísicos para cada período sazonal.

Período Chuvoso (01/04/2024)			
Índices	Mínimo	Média	Máximo
NDVI	0,23	0,39	0,57
sPRI	0,11	0,46	0,50
CO ₂ Flux	0,10	0,18	0,25
Período de Estiagem (26/04/2024)			
Índices	Mínimo	Média	Máximo
NDVI	0,18	0,16	0,55
sPRI	0,41	0,47	0,53
CO ₂ Flux	-0,08	0,07	0,24

Vale ressaltar que o sPRI apresentou respostas espectrais menores para o período chuvoso, sendo tal fenômeno resultado da interferência atmosférica característica do período em questão, sobretudo pela abundante presença de vapor de água e de aerossóis na atmosfera, reduzindo a transmitância por meio da absorção e do espalhamento molecular (Lorenzzetti, 2015). Neste sentido o PRI e seu derivado o sPRI apresentam-se, como índices sensíveis às variáveis ambientais, climáticas e fisiológicas, demonstrando, portanto, variações na resposta espectral mediante as condições atmosféricas das imagens utilizadas (Zhang et al. 2016).

O NDVI e o CO₂Flux apresentaram variações sazonais, ocasionadas pelas etapas fenológicas das tipologias vegetais caducifólias, que detiveram de influência na resposta espectral de cada índice, onde constatou-se que o período chuvoso de forma geral apresentou valores superiores, enquanto no período de estiagem percebeu-se uma redução dos valores. Tais resultados foram também obtidos por Caetano et al (2022), onde o mesmo analisou e constatou a influência da sazonalidade na resposta espectral dos índices NDVI e CO₂Flux. Vale ressaltar que a área de estudo apresentou áreas degradadas, com baixos valores de NDVI e CO₂Flux, tais áreas surgiram em detrimento dos processos de degradação ambiental ocasionadas pela mineração de ferro que ocorreu no município de Quiterianópolis, tendo impactos para além da vegetação, nos solos e nos recursos hídricos da região (Silva e Diniz, 2021).

De forma geral a metodologia escolhida para esta análise permitiu obter bons resultados, detendo de algumas limitações, que derivam da calibração e

até mesmo do geoprocessamento dos produtos de sensoriamento remoto adotadas neste estudo. Neste sentido as imagens Level-2 do satélite Landsat 8, tendem a apresentar ruídos nos canais de menor comprimento de onda, tais como os canais do Azul e do Verde, (Bandas 2 e 3), reduzindo, portanto, a precisão dos índices gerados (Adhikari et al. 2025). Outro fator limitante na acurácia de tais índices é a resolução espacial dos canais utilizados, que no caso do satélite Landsat 8, apresentam 30 metros, tal resolução faz com que um único pixel represente um conjunto de diferentes coberturas e não somente a vegetação, ocasionando a diminuição da acurácia. Portanto uma solução eficaz seria elaborar uma análise comparativa dos índices obtidos a partir dos canais do Landsat 8, com índices obtidos por outros satélites, tais como o Sentinel-2 e o CBERS-4A, que apresentam resolução espacial superior a do satélite Landsat 8 (OLI).

4. Conclusão

Por meio deste estudo foi possível determinar o desenvolvimento da fitomassa, a eficiência do uso da luz para a fotossíntese, bem como a assimilação de carbono, onde conclui-se que a sazonalidade teve influência tanto nos índices quanto na vegetação analisada. Neste sentido ressalta-se a necessidade de mais estudos que visem analisar a influência da sazonalidade nas variáveis biofísicas da vegetação, bem como nos índices utilizados.

De forma geral o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, apresentaram fatores limitantes, que derivam de suas características espectrais que muitas vezes sofrem interferências de fenômenos ambientais, reduzindo a precisão da análise, como foi o caso do sPRI. Por outro lado, o sensoriamento remoto demonstrou ser uma ótima metodologia que permite análises qualitativas e quantitativas em variadas escalas espaço-temporais, demonstrando, portanto, alto potencial para pesquisas como esta.

Como sugestão para futuras pesquisas, vale destacar a inferência estatística dos dados, na busca pela correlação entre os índices adotados, além de uma análise comparativa utilizando-se de satélites, tais como o Sentinel-2 e o CBERS-4A, que possuem resolução espacial superior à do Landsat 8 (OLI). Neste sentido é válido destacar a necessidade de mais estudos para o município de Quiterianópolis, visando compreender o impacto de fatores naturais (sazonalidade climática) e antrópicos (mineração de ferro), no desenvolvimento da vegetação.

Referências

- Adhikari, S., Leigh, L. and Pathiranage, D.S., 2025. *Pressure-Related Discrepancies in Landsat 8 Level 2 Collection 2 Surface Reflectance Products and Their Correction*. Remote Sensing, 17(10), p.1676. <https://doi.org/10.3390/rs17101676>
- Ab'Sáber, A.N., 2021. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 8th ed. São Paulo: Ateliê Editorial.
- Almeida Santos, F.L. and Souza, M.J.N., 2012. *Caracterização geoambiental do Planalto cuestiforme da Ibiapaba–Ceará*. Revista GeoNorte, 3(5), pp.301-309.
- Almeida, J.R.R. and Rocha, K. S., 2018. *Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI e CO₂flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra*. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 7., 2018, Jardim. pp.985-994.
- Barbosa, R.R.D.N., Silva, A.D.A., Neves, M.G., Galvão, A.D.A. and Neto, C., 2013. *Produção e sequestro de carbono na atmosfera*. Enciclopédia Biosfera, 9(16), p.1783.
- Caetano, R., Silva, T.B., Castro, D.R. and Benfica, N.S., 2022. *Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano*. Revista de Geociências do Nordeste, 8(2), pp.28-43. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>
- Correia Filho, W.L.F., Santiago, D.B., Oliveira-Júnior, J.F., Silva Junior, C.A., Oliveira, S.R.S., Silva, E.B. and Teodoro, P.E., 2021. *Analysis of environmental degradation in Maceió-Alagoas, Brazil via orbital sensors: a proposal for landscape intervention based on urban afforestation*. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 24, p.100621. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100621>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2025. *Sistema de Brasileiro Classificação de Solos*. 6th ed. Brasília: Embrapa.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2024. *Posto Pluviométricos*. Disponível em: Postos Pluviométricos – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. [Acessado 29 julho 2025].
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2025. *Índice de Aridez para o Ceará*. Disponível em: Índice de Aridez para o Ceará – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. [Acessado 30 julho 2025].
- Gamon, J.A., Penuelas, J. and Field, C.B., 1992. *A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency*. Remote Sensing of environment, 41(1), pp.35-44. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S)
- Gamon, J., Serrano, L. and Surfus, J., 1997. *The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels*. Oecologia, 112(4), pp.492-501. <https://doi.org/10.1007/s004420050337>
- Grotzinger, J. and Jordan, T., 2013. *Para entender a Terra*. 6th ed. Porto Alegre: Bookman.
- Guedes, J.C.F., and Silva, S.M.P., 2018. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos*. Acta Geográfica, 12(29), pp.127-144. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v12i29.4001>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. *Portal Cidade: Quiterianópolis*. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil. [Acessado 29 julho 2025].
- IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2017. *Perfil Básico Municipal de Quiterianópolis*. Disponível em: Caracterização Geográfica. [Acessado 25 julho 2025].
- Lorenzetti, J.A., 2015. *Princípios físicos de sensoriamento remoto*. 1st ed. São Paulo: Blucher.
- Matos, F.S., Borges, L.P., Amaro, C.L., Oliveira, D.B., Carmo, M.S. and Torres Júnior, H.D.T., 2019. *Folha seca: introdução à fisiologia vegetal*. 1st ed. Curitiba: Appris.

- Mendes, K.R., Oliveira, P.E.S., Lima, J.R.S., Moura, M.S.B., [et al.], 2025. *The caatinga dry tropical forest: A highly efficient carbon sink in South America*. Agricultural and Forest Meteorology, 369, p.110573.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110573>
- Molnar, M.A.S., Carbone, A.S., Cezare, J.P. and Castro, M.D.L., 2018. Planejamento territorial de áreas verdes. In: A. J. Philippi, (Org.), *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. 2nd ed., pp.805-838. Barueri: Manole.
- Nowacki, C.C.B. and Rangel, M.B.A., 2014. *Química ambiental: conceitos, processos e estudo dos impactos ao meio ambiente*. 1st ed. São Paulo: Érica.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*, NASA SP-351, I, pp.309-317.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6th ed. Porto Alegre: Artmed.
- Townsend, C.R., Begon, M. and Harper, J.L., 2010. *Fundamentos em ecologia*. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed.
- USGS - United State Geological Survey., 2024. *Landsat 8-9 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide*. Disponível em: <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1619_Landsat-8-9-C2-L2-ScienceProductGuide-v4.pdf> [Acessado 13 julho 2025].
- Rahman, A.F., Gamon, J.A., Fuentes, D.A., Roberts, D.A. and Prentiss, D., 2001. *Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106(D24), pp.33579-33591.
<https://doi.org/10.1029/2001JD900157>
- Romero, M.A.B., 2013. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 1st ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Silva, E.C. and Diniz, A.S., 2021. *Impactos e conflitos socioambientais da mineração de ferro nas comunidades composesas de Bandarro e Besouro em Quiterianópolis-CE*. Revista Territorium Terram, 4(6), pp.37-58.
- Zanella, M.E., 2014. *Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino*. Caderno Prudentino de Geografia, 1(36), pp.126-142.
- Zhang, C., Filella, I., Garbulsky, M.F. and Peñuelas, J., 2016. *Affecting factors and recent improvements of the photochemical reflectance index (PRI) for remotely sensing foliar, canopy and ecosystemic radiation-use efficiencies*. Remote Sensing, 8(9), p.677. <https://doi.org/10.3390/rs8090677>