











CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E O ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NA FLORESTA AMAZÔNICA

Iací Dandara Santos Brasil¹, Emmanoella Costa Guaraná Araujo², Franciele Alba da Silva¹
, Carla Talita Pertille¹, Karla Mayara Almada Gomes¹, Girlene da Silva Cruz¹, Carlos
Roberto Sanquetta¹, Ana Paula Dalla Corte¹

1 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: iacidandara@yahoo.com.br; francielealba47@gmail.com; carla.pertille@ufpr.br; karlaalmada@ufpr.br; girlene.lenecruz@gmail.com; carlossanquetta@gmail.com; anapaulacorte@gmail.com

1 Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil. E-mail: manugarana@gmail.com

Autor correspondente: Iací Dandara Santos Brasil. E-mail: iacidandara@yahoo.com.br

RESUMO

Os índices espectrais são amplamente associados com diversos indicadores da floresta. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o grau de correlação entre o estoque de carbono em áreas de plantio florestal localizada em Rondônia e índices espectrais oriundos de imagens orbitais. Para isso, utilizou o estoque de carbono de parcelas de plantios de restauração florestal e extraiu-se o valor médio de oito índices das parcelas utilizadas. Em seguida, foi realizada a correlação de Pearson entre o estoque de carbono por parcela e o valor médio por índice por parcela. Todos os índices espectrais apresentaram baixa correlação, a maior correlação foi com o Índice de Sombra e o CO₂FLUX, assim, acredita-se que a resolução das imagens orbitais e as características do local podem ter influenciado na baixa correlação. Concluindo que houve baixo grau de correlação entre o estoque de carbono dos plantios de restauração com os índices espectrais.

Palavras-chave: Carbono; correlação; índice espectral

CORRELATION BETWEEN VEGETATION INDEX AND CARBON STOCK IN RESTORATION PLANTINGS IN THE AMAZON RAINFOREST, BRAZIL

ABSTRACT

Spectral indices are widely associated with several forest indicators. Thus, the objective of this study was to evaluate the degree of correlation between carbon stock in areas of forest planting located in Rondônia and spectral indices from orbital images. For this, the carbon stock of forest restoration plantation plots was used and the mean value of eight indices was extracted from the plots used. Then, Pearson correlation was performed between carbon stock per plot and the average value per index per plot. All spectral indices showed low correlation, the highest correlation was with the Shadow Index and CO₂FLUX, thus, it is believed that the resolution of the orbital images and the site characteristics may have influenced the low correlation. Concluding that there was a low degree of correlation between the carbon stock of the restoration plantations with the spectral indices.

Key words: Carbon; correlation; spectral index

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo com uma rica biodiversidade e papel fundamental nos ciclos biológicos. No entanto atividades econômicas desenvolvidas na região Amazônica estão fortemente ligadas à degradação e desmatamento da floresta, como pecuária, agricultura e extração madeireira (Sampaio *et al.*, 2007; Rivero *et al.*, 2009; Arima *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2017).

Rondônia reflete o que acontece na Amazônia brasileira com altos níveis de desmatamento e regeneração florestal em áreas abandonadas após o uso antrópico trazendo benefícios ecológicos quando bem planejadas (Brasil *et al.*, 2022). A restauração da vegetação após corte raso é importante visto que florestas regeneradas podem acumular quantidades substanciais de carbono independentemente dos tratamentos silviculturais (Lennox *et al.*, 2018). Áreas perturbadas requerem maior investigação porque a remoção da vegetação natural promove além da exportação de biomassa, uma quebra no ciclo do carbono no local (Araujo, 2022).

Apresentando o Sensoriamento Remoto como uma ferramenta de suma importância do estudo de carbono e biomassa desde da década de 70 (Angelopoulou *et al.*, 2019; Xiao *et al.*, 2019), pode-se destacar a utilização de índices espectrais como medidas espectrais primordiais da atividade biológica vegetal do espaço (Xiao *et al.*, 2019).

Nesse contexto, sabendo que a dinâmica do estoque de carbono de área de restauração florestal depende da idade do plantio, tipo de vegetação, proximidades com fragmentos de floresta, tratamento silvicultural, entre outros fatores, torna-se imprescindível analisar a capacidade de armazenamento de carbono nessas áreas a partir de tecnologias de Sensoriamento Remoto. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o grau de correlação entre o estoque de carbono em áreas de plantio florestal localizada em Rondônia e índices espectrais oriundos de imagens orbitais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado nos municípios de Itapuã do Oeste, Cujubim, Rolim de Moura, Castanheiras e Novo Horizonte do Oeste localizados estado de Rondônia, com coordenada geográfica central do estado $62^{\circ}50'27,253''\text{W}$ e $10^{\circ}56'44,217''\text{S}$ (Figura 1).

Quantificação da biomassa e carbono

As coletas da biomassa ocorreram em 36 parcelas de plantios de restauração de diferentes idades. Os plantios de restauração estudados contavam com diversas espécies florestais e espaçamento distinto. Cada unidade amostral foi instalada como parcela permanente retangular, com dimensões de 20 m x 10 m.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

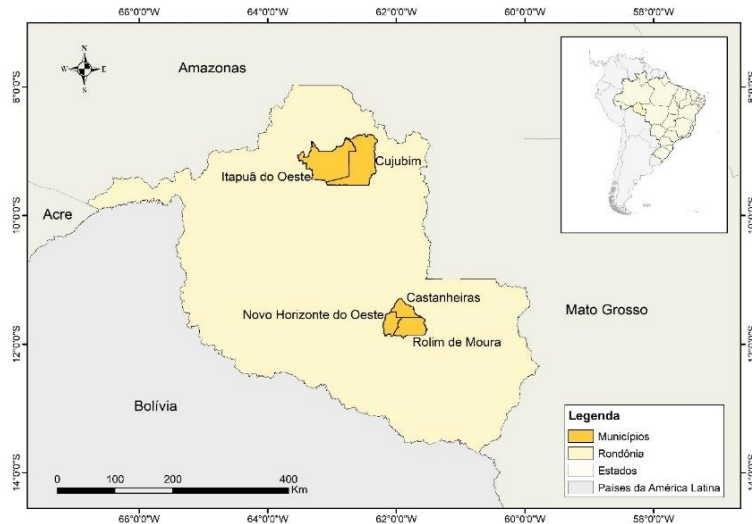


Figura 1. Localização da área de estudo

Para determinação do estoque de biomassa, foi considerado somente a biomassa arbórea viva acima do solo. Em cada parcela, uma árvore foi escolhida para determinação da biomassa, de acordo com dois critérios; i) representatividade do indivíduo para a população com relação à variação das alturas e circunferência a 1,30m do solo (C), e ii) intensidade amostral. A determinação da biomassa desses indivíduos foi feita pelo método direto, com a derrubada da árvore e respectivas pesagens (peso úmido e peso seco), medição de alturas e C. As medições ao longo do fuste para cubagem das árvores pelo método de Hohenadl.

Por fim, o teor de carbono foi obtido pelo método de combustão seca utilizando o equipamento Leco C-144. Assim, o estoque de carbono foi determinado multiplicando o teor de carbono pela biomassa vegetal (Equação 1).

$$EC = W \frac{T_c}{100} \quad (1)$$

Em que: EC = estoque de carbono (kg árvore⁻¹); W = biomassa seca (kg); Tc = Teor de carbono (%).

Dados orbitais

Todo o processamento e obtenção dos dados espaciais ocorreu na plataforma *Google Earth Engine*. Os dados foram extraídos do mosaico de imagem do satélite Sentinel-2 do período de 01/01/2019 a 31/12/2019 com resolução espacial de 10 metros. As bandas utilizadas no estudo foram: vermelho, azul, infravermelho próxima e infravermelho média. Com tais dados e a partir da matemática de bandas, foram extraídos os seguintes índices espectrais:

- i) Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI);
- ii) Simple Razão (SR);
- iii) Índice de Sombra (SI);
- iv) Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI);
- v) Índice de Vegetação Melhorado (EVI);
- vi) Índice de Vegetação Melhorado-2 (EVI 2);
- vii) Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI);
- viii) CO₂FLUX.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Em ambiente SIG, extraiu-se o valor médio de cada índice nas parcelas utilizadas. Posteriormente, foi realizada a correlação de Pearson entre o estoque de carbono por parcela e o valor médio por índice por parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices espectrais podem combinam a banda de absorção vermelha sensível à clorofila com a banda infravermelho próximo sensível à estrutura da folha e do dossel, para representar uma o dossel (Xiao *et al.*, 2019). Os índices são variáveis de fácil acesso por meio de matemática de bandas em imagens da superfície terrestre. No entanto, o estudo mostrou a ineficiência no uso de índices de vegetação como variável preditora no presente estudo.

De acordo com a Tabela 1, a correlação entre as variáveis em estudo foi positiva. De maneira geral, pode-se perceber que o estoque de carbono (EC) apresentou baixa correlação com os demais índices, tendo maior correlação somente com o Índice de Sombra de aproximadamente 0,3351, seguido do CO₂FLUX (0,2575). Já o EVI apresentou correlação mais próxima a zero.

Tabela 1. Matriz de correlação entre a variável estoque de carbono e os índices espectrais obtidos a partir de imagens Sentinel-2 para uma área de regeneração localizada em Rondônia

Variável	EC	CO ₂ FLUX	EVI	EVI2	NDVI	NDWI	SAVI	SI	SR
EC	1								
CO ₂ FLUX	0,2575	1							
EVI	0,0641	0,7704	1						
EVI2	0,1479	0,8921	0,9183	1					
NDVI	0,2373	0,5357	0,6618	0,5867	1				
NDWI	0,2373	0,5357	0,6618	0,5867	0,99	1			
SAVI	0,1580	0,9012	0,9137	0,9997	0,5857	0,5857	1		
SI	0,3351	0,8593	0,3658	0,6472	0,2814	0,2814	0,6621	1	
SR	0,2486	0,9588	0,7462	0,9210	0,5250	0,5250	0,9271	0,8728	1

Em que: EC = estoque em carbono; EVI = índice de vegetação melhorado; EVI2 = índice de vegetação melhorado-2; NDVI = índice de vegetação de diferença normalizada; NDWI = índice de água de diferença normalizada; SAVI = índice de vegetação ajustado ao solo; SI = índice de sombra; SR = simples razão

Outro fator que pode ter contribuído para esse grau de correlação entre as variáveis é a escala da imagem utilizada. Imagens com alta resolução espacial podem fornecer maior nível de detalhamento, permitindo a extração de variáveis com maior qualidade. Além disso, deve-se ressaltar as características do local avaliado, pois, o grau de regeneração da floresta pode influenciar a capacidade da floresta em armazenar e remover dióxido de carbono presente na atmosfera.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que houve um baixo grau de correlação entre o estoque de carbono dos plantios de restauração de desenvolvimento médio na floresta amazônica com os índices espectrais derivados de imagens Sentinel-2.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, ao Centro de Excelência em Pesquisa de Biomassa e Carbono - BIOFIX, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES e ao Centro de Estudos Rioterra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelopoulou, T.; Tziolas, N.; Balafoutis, A.; Zalidis, G.; Bochtis, D. (2019). Remote sensing techniques for soil organic carbon estimation: A review. *Remote Sensing*, v. 11, n. 6, p. 676, 2019.
- Araujo, E. C. G. **Panorama do estoque de carbono florestal e matrizes de emissões e remoções por diferentes usos do solo na Amazônia, Curitiba, PR.** 2022. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/78168>. Acesso em: 15 Jun. 2023.
- Arima, E. Y.; Richards, P.; Walker, R.; Caldas, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 2, e024010, 2011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024010>.
- Brasil, I. D. S.; Corte, A. P. D.; Moura, M. M.; Nakajima, N. Y.; Sanquetta, C. R.; Rex, F. E.; Mallmann, A. A. Contributions of forest regeneration after intense fragmentation in the Amazon through morphological spatial pattern analysis. **Forest Science**, v. 68, n. 5-6, p. 508-520, 2022. <https://doi.org/10.1093/forsci/xfac034>.
- Costa, O. B. D.; Matricardi, E. A. T.; Pedlowski, M. A.; Cochrane, M. A.; Fernandes, L. C. Spatiotemporal mapping of soybean plantations in Rondônia, Western Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 47, n. 1, p.29–38, 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201601544>.
- Lennox, G. D.; Gardner, T. A.; Thomson, J. R.; Ferreira, J.; Berenguer, E. *et al.* Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p.5680–5694, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14443>.
- Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S.; Oliveira, W. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p.41–66, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>,
- Sampaio, G., Nobre, C.; Costa, M. H.; Satyamurty, P.; Soares-Filho, B. S.; Cardoso, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, eL17709, 2007. <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>.
- Xiao, J.; Chevallier, F.; Gomez, C.; Guanter, L.; Hicke, J. A. *et al.* Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years. **Remote Sensing of Environment**, v. 233, e111383, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111383>.