

## VARIABILIDADE INTERANUAL DA SIF NOS BIOMAS BRASILEIROS

Luis Miguel da Costa<sup>1\*</sup>, Gustavo André de Araujo Santos<sup>2</sup>, Alan Rodrigo Panosso<sup>3</sup>,  
Gislaine Costa de Mendonça<sup>4</sup>, Newton La Scala Jr.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrônoma, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), luism.costa00@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. em Agronomia (Ciência do Solos), ICMBio – Imperatriz, gustavo\_anndre@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., FCAV, alan.panosso@unesp.br

<sup>4</sup> Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), FCAV, gislaine.cmendonca@gmail.com

<sup>5</sup> Prof. Dr., FCAV, la.scale@unesp.br

\* Autor correspondente

Apresentado no

L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021

08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** A detecção da fluorescência induzida pelo sol (SIF) por satélites tem possibilitado uma nova perspectiva para o entendimento do ciclo do carbono terrestre. Sua diferença para outros índices de vegetação é que a SIF é capaz de expressar a fotossíntese da planta, externando sinais como relacionados ao estresse hídrico, por exemplo. O objetivo do trabalho foi analisar a variabilidade espaço-temporal da SIF sobre o território brasileiro entre 2015 a 2018. Para isso utilizamos uma base de dados de alta resolução (0,05° graus) com cobertura global, modelada a partir de dados do OCO-2 e do MODIS, todo o processo de obtenção de dados e filtragem para área de interesse foi realizada em R. A Amazonia tem valores médios (0,3 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>) mais altos de SIF para todos os anos analisados em contraste com a Caatinga (0,1 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>), para o Cerrado, Pampa, Mata atlântica e Pantanal, os valores médios foram intermediários (0,2 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>), onde a distribuição de chuvas nesses biomas segue o mesmo padrão. Diante do exposto podemos concluir que existe diferença entre o comportamento interanual quando se contrasta os biomas brasileiros do ponto de vista fotossintético, e que a SIF pode ser uma ferramenta sintética que auxilia no entendimento dos biomas brasileiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ecossistemas; fotossíntese; índice de vegetação

## INTERANNUAL VARIABILITY OF SIF IN BRAZILIAN BIOMES

**ABSTRACT:** The detection of sun-induced fluorescence (SIF) by satellites has enabled a new perspective for the understanding of the terrestrial carbon cycle. Its difference to other vegetation indices is that SIF is able to express the photosynthesis of the plant, expressing signals related to water stress, for example. The objective of the work was to analyze the spatio-temporal variability of the SIF over the Brazilian territory between 2015 and 2018. For this we used a database of high resolution (0.05° degrees) with global coverage, modeled from OCO-2 and MODIS data, the whole process of obtaining data and filtering for area of interest was performed in R. The Amazon has higher average values (0.3 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>) of SIF for all years analyzed in contrast to the Caatinga (0.1 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>), for the Cerrado, Pampa, Atlantic Forest and Pantanal, the average values were intermediate (0.2 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>), where the distribution of rainfall in these biomes follows the same pattern. In view of the above we can conclude that there is difference between the interannual behavior when contrasting the Brazilian biomes from the photosynthetic point of view, and that the SIF can be a synthetic tool that helps in the understanding of the Brazilian biomes.

**KEYWORDS:** Ecosystems; Photosynthesis; Vegetation Index

**INTRODUÇÃO:** A detecção da fluorescência induzida pelo sol (SIF) por satélites tem aberto uma nova perspectiva para o entendimento do ciclo do carbono terrestre (Frankenberg et al., 2012; Sun et al., 2018), desde ecossistemas até áreas agrícolas (Parazoo et al., 2013, Guan et al., 2016; Morais Filho et al., 2021). Outros índices de vegetação também são utilizados com esse fim, contudo eles captam as mudanças após a planta externar sinais de estresse, a SIF por outro lado é capaz de detectar sinais de estresse antes da planta externar os mesmos, pois se

trata da reemissão dos fótons absorvidos pela planta nos comprimentos entre 650 a 850 nm, o que ocorre em qualquer estágio de seu desenvolvimento, é justamente esse sinal que tem origem na clorofila *a* que os sensores captam (Sun et al., 2018; Mohamed et al., 2019). De maneira geral, missões espaciais voltadas ao sensoriamento remoto tem como objetivo mensurarem comprimentos de ondas, sendo que as missões desenvolvidas com objetivo primário de detectar a coluna média de CO<sub>2</sub> atmosférico, tiveram como objetivo secundário a detecção da SIF, pois devido a sobreposição de bandas que acontece entre o comprimento da coluna de O<sub>2</sub> e os comprimentos emitidos pela clorofila *a* tornou possível que elas obtivessem esse índice (Sun et al., 2018; Mohamed et al., 2019). Recentemente, modelos baseados na SIF e em dados do MODIS foram desenvolvidos para aumentar a resolução espacial (Zhang et al., 2018; Yu et al., 2019). No Brasil, existem poucos estudos sobre o tema e de maneira geral são focados no bioma amazônico (Castro et al., 2020; Moraes Filho et al., 2021), contudo o Brasil é composto por 6 biomas com características próprias, por exemplo a Amazonia é a maior floresta tropical do mundo e apresenta alto índice de chuvas durante o ano (Marengo et al., 2014), a Caatinga por outro lado sofre com o estresse hídrico, que por consequência afeta na taxa fotossintética de plantas (Silva; Cruz., 2018). Considerando o potencial da SIF apresentado para diferenciar ecossistemas, considerando as características intrínsecas de cada um dos biomas brasileiros e utilizando dados de alta resolução da SIF, o objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade interanual da SIF para análise do comportamento fotossintético de cada um dos macros biomas brasileiros e possíveis aplicação no estudo de ecossistemas e agroecossistemas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi conduzido no Brasil ( $\approx 8.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ), a maioria do território brasileiro é caracterizado como clima tropical e uma parte em subtropical úmido, com variações microclimáticas, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). Este país é composto por 6 biomas característicos: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (Zappi et al., 2015) (Figure 1a). As etapas envolvidas desde a aquisição dos dados até a geração dos produtos final pode ser observada na Figura 1b, e consiste em quatro etapas. I) A aquisição dos dados pelo repositório da NASA (Yu et al., 2019) a serie temporal desenvolvida durante este trabalho envolve os anos de 2015 a 2018. II) Todo o processo de filtragem dos dados, delimitação da região de interesse, filtragem de outliers e médias anuais para cada coordenada foram realizados em R (R Core Team, 2021). Após a criação da nova base de dados para o Brasil (etapa III), foi realizada a média e desvio padrão (IV).

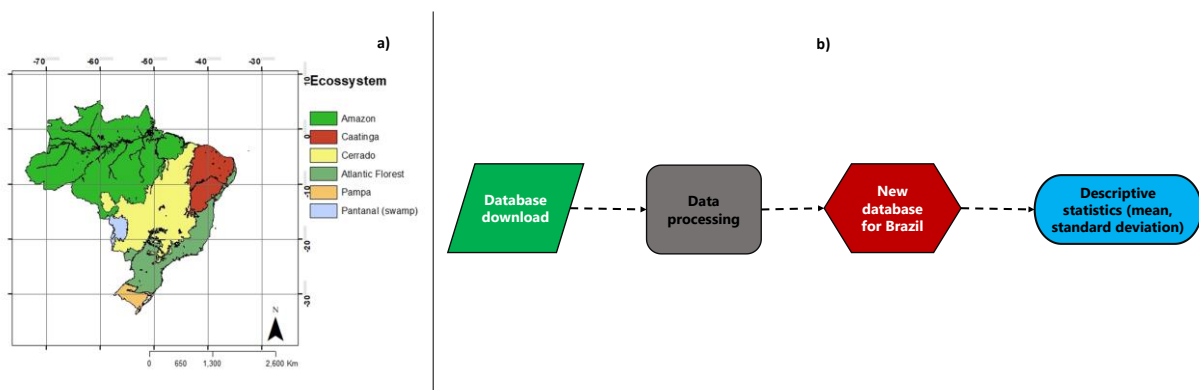


FIGURA 1. Material e métodos. Onde: a) Area de estudo; b) fluxograma do tratamento de dados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para todos os anos, as médias anuais da SIF para Amazônia foi de aproximadamente  $0.3 \pm 0.04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , já a Caatinga foi de  $0.1 \pm 0.04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e para os demais biomas foi de aproximadamente  $0.2 \pm 0.04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . A SIF já demonstrou resultados promissores para detecção de diferentes ecossistemas em outras regiões do mundo (Yu et al., 2019; Tagliabue et al., 2020; Castro et al., 2020). Na Itália, Tagliabue et al. (2020), utilizando o sensor Hyplant, estimaram de forma sintética a heterogeneidade de um ecossistema a partir da SIF. Nos Estados Unidos da América Yu et al (2019), observou que a SIF diferenciava os diferentes tipos de vegetação predominantes no país. Para o Brasil quando observamos a variabilidade interanual das médias para cada bioma, pode-se notar que a Amazonia sempre tem as médias mais altas para todos os anos, a Caatinga as médias mais baixas, e os demais biomas, médias mais centrais com poucas diferenças (Figura 2). Atualmente os biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pampa correspondem aos maiores polos agrícolas no país (Bordonal et al., 2018), e apesar da diversidade de espécies comerciais e de coberturas do solo, a atividade fotossintética das principais culturas brasileiras são semelhantes, pois se tratam da mesma família de plantas, as *Poaceae* (Judd et al., 2009; Raven et al, 2014), em contraste temos a Amazonia e Caatinga, onde temos valores muito altos ou muito baixos de SIF respectivamente, isso deve-se ao fato da vegetação e do clima predominante nestas duas regiões, onde na Amazonia se encontra a maior floresta tropical do mundo e, portanto, a taxa fotossintética que é realizada nessa região em média é maior do que no resto do território brasileiro (Marenco et al., 2014) e a Caatinga que tem um clima semiárido terá menor quantidade média de fotossíntese ao longo do ano devido ao déficit hídrico (Silva; Cruz, 2018). Além disso, a quantidade de chuva anual para cada bioma é um fator influente, Paredes-Trejo et al. (2019) investigaram a distribuição anual para cada bioma brasileiro, e concluíram que a Amazonia é bioma onde há maior precipitação acumulada, a Caatinga o menor, e os demais biomas índices de precipitação acumulada são semelhantes.

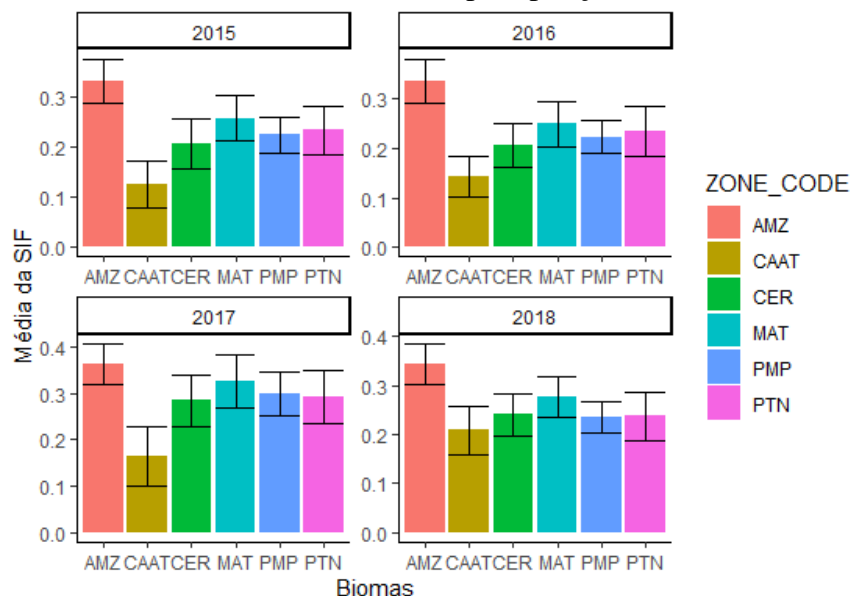


FIGURA 2: Distribuição interanual da SIF entre 2015 a 2018 para cada bioma brasileiro. Onde: AMZ= Amazonia; CAAT = Caatinga; CER= Cerrado; MAT= Mata Atlantica; PMP= Pampa e PTN= Pantanal.

**CONCLUSÕES:** A Amazônia em todos os anos foi o bioma em que observamos os valores médios mais altos de SIF, a Caatinga tem o comportamento inverso, os demais biomas tiveram médias anuais similares entre eles. Com relação a variabilidade interanual, os biomas

não sofrem drásticas mudanças quando comparados a eles mesmo na série temporal analisada. Diante do exposto podemos concluir que a SIF pode ser uma ferramenta que auxilia no entendimento dos biomas brasileiros do ponto de vista fotossintético e que pode ser utilizada como um índice sintético de variabilidade ecossistêmica.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte dado (n° 2019/ 25812-4), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 304075/2018-3) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 001). Os autores também são gratos aos projetos da NASA que disponibilizam gratuitamente os dados aqui utilizados

## **REFERÊNCIAS:**

- FRANKENBERG, C. et al. Remote sensing of near-infrared chlorophyll fluorescence from space in scattering atmospheres: implications for its retrieval and interferences with atmospheric CO<sub>2</sub> retrievals. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 5, n. 8, p. 2081-2094, 2012.
- SUN, Y. et al. Overview of Solar-Induced chlorophyll Fluorescence (SIF) from the Orbiting Carbon Observatory-2: Retrieval, cross-mission comparison, and global monitoring for GPP. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, p. 808-823, 2018.
- PARAZOO, N. C. et al. Interpreting seasonal changes in the carbon balance of southern Amazonia using measurements of XCO<sub>2</sub> and chlorophyll fluorescence from GOSAT. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 11, p. 2829-2833, 2013.
- GUAN, K. et al. Improving the monitoring of crop productivity using spaceborne solar-induced fluorescence. **Global change biology**, v. 22, n. 2, p. 716-726, 2016.
- MORAIS FILHO, L. F. F. et al. xCO<sub>2</sub> temporal variability above Brazilian agroecosystems: A remote sensing approach. **Journal of Environmental Management**, v. 288, p. 112433, 2021.
- MOHAMMED, G. H. et al. Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in vegetation: 50 years of progress. **Remote sensing of environment**, v. 231, p. 111177, 2019.
- MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, p. 786-799, 2014.
- SILVA, D. V. S.; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Tipologias de Caatinga: Uma Revisão em Apoio a Mapeamentos Através de Sensoriamento Remoto Orbital e GEOBIA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 113-120, 2018.
- MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000.
- BORDONAL, R. O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 1-23, 2018.
- ROSSI, F. S.; SANTOS, G. A. A.. Fire dynamics in Mato Grosso state, Brazil: The relative roles of gross primary productivity. **Big Earth Data**, v. 4, n. 1, p. 23-44, 2020.
- ZHANG, Y. et al. A global spatially contiguous solar-induced fluorescence (CSIF) dataset using neural networks. **Biogeosciences**, v. 15, n. 19, p. 5779-5800, 2018.
- CASTRO, A. O. et al. OCO-2 solar-induced chlorophyll fluorescence variability across ecoregions of the Amazon basin and the extreme drought effects of El Niño (2015–2016). **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1202, 2020.
- YU, L. et al. High-resolution global contiguous SIF of OCO-2. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 3, p. 1449-1458, 2019.
- TAGLIABUE, G. et al. Sun-induced fluorescence heterogeneity as a measure of functional diversity. **Remote Sensing of Environment**, v. 247, p. 111934, 2020.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ZAPPI, Daniela C. et al. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.
- JUDD, W; S. et al. **Sistemática Vegetal:- Um Enfoque Filogenético**. Artmed Editora, 2009.
- RAVEN, P.; EICHHORN, S.; EVERT, R.F. **Biologia Vegetal**. 8ª Edição. Editora Guanabara Koogan. 876p. 2014
- PEREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H.; DOS SANTOS, C. A. C. Evaluation of the performance of SM2RAIN-derived rainfall products over Brazil. **Remote Sensing**, v. 11, n. 9, p. 1113, 2019.