

## MONITORAMENTO DA FOTOSSÍNTESE VIA SENSORIAMENTO REMOTO: UMA ABORDAGEM PARA O ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL

GABRIEL BONETTI SCARABEL<sup>1</sup>, GUSTAVO ANDRÉ DE ARAÚJO SANTOS<sup>1</sup>,  
LUIS MIGUEL DA COSTA<sup>1</sup>, FERNANDO SARAGOSA ROSSI<sup>1</sup>, GLAUCO DE  
SOUZA ROLIM, NEWTON LA SCALA JÚNIOR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** A maior vantagem de utilizarmos o índice SIF (Florescência da Clorofila Induzida pelo Sol) é que este indicativo está mais correlacionado com os processos fisiológicos, no caso fotossintético, portanto temos uma acurácia melhor em relação a outros índices de vegetação mais comuns. Dito isso, objetivamos com esse estudo mapear a variabilidade espacial da fluorescência da clorofila induzida pelo sol nos comprimentos de onda 757 e 771(nanômetros) para o estado do Mato Grosso do Sul por meio de dados do observatório do carbono 2 (OCO-2). Os valores médios para SIF 757 variaram entre  $0,587 \pm 0,011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  a  $0,620 \pm 0,012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  para os anos de 2016 e 2018, respectivamente. Para a SIF 771, variaram de  $0,587 \pm 0,011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  a  $0,614 \pm 0,012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  para os anos de 2015 a 2018, enquanto. Nossos resultados demonstram que o uso de sensoriamento remoto para monitorar a atividade fotossintética por meio da emissão da fluorescência da clorofila induzida pelo sol pode distinguir a cobertura vegetal característica de cada bioma, além de apresentar um enorme potencial na compreensão dos efeitos da sazonalidade climática sob a vegetação em clima tropical.

**PALAVRAS-CHAVE:** OCO-2. Sensoriamento remoto. Fluorescência da clorofila.

## MONITORING PHOTOSYNTHESIS BY REMOTE SENSING: AN APPROACH TO MATO GROSSO DO SUL STATE

**ABSTRACT:** The biggest advantage of using the SIF (Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence) index is that this indicator is more correlated with the physiological processes, in the photosynthetic case, therefore we have a better accuracy in relation to other more common vegetation indices. That said, with this study we aim to map the spatial variability of the chlorophyll fluorescence induced by the sun at wavelengths 757 and 771 nanometer for the state of Mato Grosso do Sul using data from the carbon observatory 2 (OCO-2). The average values to SIF 757 ranged from  $0.587 \pm 0.011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  to  $0.620 \pm 0.012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  for the years 2016 and 2018, respectively. For SIF 771, the ranged from  $0.587 \pm 0.011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  to  $0.614 \pm 0.012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  for the years 2015 to 2018. Our results demonstrate that the use of remote sensing to monitor photosynthetic activity through the emission of chlorophyll-induced fluorescence by the sun it can distinguish the characteristic vegetation cover of each biome, besides presenting an enormous potential in the understanding of the effects of climatic seasonality under the vegetation in tropical climate.

**KEYWORDS:** OCO-2. Remote sensing. Fluorescence of chlorophyll.

## **INTRODUÇÃO:**

Na fotossíntese a luz do Sol incide as moléculas de clorofilas das plantas e esta energia é capturada pelos complexos antenas (que captam os fótons) e transferida por ressonância para o centro de reações que nesse sítio ocorrerá a transformação da energia luminosa em energia química, que passa para uma sequência de oxido-redução pelas cadeias transportadora de elétrons passando pelos fotossistema I (absorve comprimentos de onda de 680 nanômetros) e fotossistema II (absorve comprimentos de onda de 700 nanômetros) até chegar no O<sub>2</sub> final somadas com NADPH e ATP (MOHAMMAD et al., 2019). A Fluorescência da clorofila induzida pelo sol (SIF) é um sinal eletromagnético refletido pela clorofila a, em resposta a fotossíntese, no comprimento de ondas do vermelho ao infravermelho que compreende de 680 nanômetros até 850 nanômetros (JULITTA et al, 2016). A maior vantagem de utilizarmos o índice SIF é que este indicativo está mais correlacionado com os processos fisiológicos, no caso fotossintético portanto temos uma acurácia melhor em relação ao NDVI (Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada) (JOINER, et al, 2014). Dito isso, objetivamos com esse estudo mapear a variabilidade espacial da fluorescência da clorofila induzida pelo sol nos comprimentos de onda 757 e 771(nm) para o estado do Mato Grosso do Sul por meio de dados do observatório do carbono 2 (OCO-2).

## **MATERIAL E MÉTODOS:**

O estudo foi realizado levando em consideração toda a extensão territorial do estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. A série temporal foi de janeiro de 2015 a dezembro de 2018, sendo os resultados apresentados de forma anual. Os dados foram obtidos a partir da plataforma do OCO-2. Para esse estudo utilizou-se somente as variáveis SIF 757 E SIF 771, os números após a sigla significam os comprimentos de onda em que a emissão da fluorescência da clorofila é detectada pelo sensor do OCO-2. Para atenuar a diferença entre as observações dos diferentes satélites utilizados, foram coletadas as coordenadas obtidas pelo OCO-2 para as demais plataformas (SIABI et al., 2019; GOLKAR et al., 2020). Os dados foram analisados, por meio da estatística descritiva (média, desvio-padrão da média, erro-padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação). Os mapas foram gerados por meio da técnica de Krigagem utilizando o software ArcMAP.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

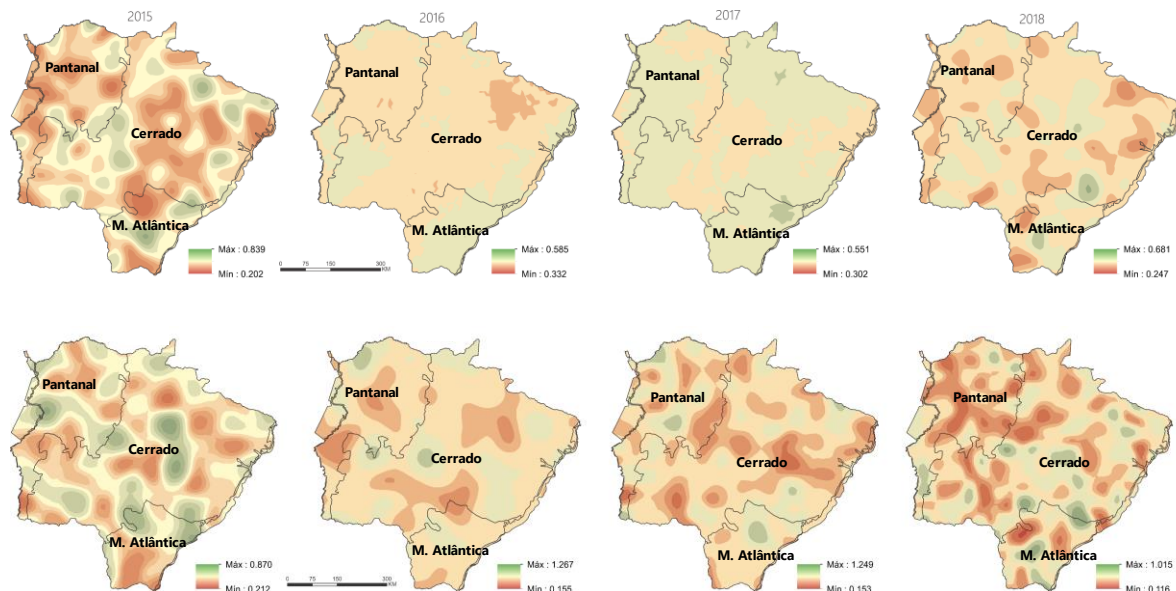
Os valores médios para SIF 757 variaram entre  $0,587 \pm 0,011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  a  $0,620 \pm 0,012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  para os anos de 2016 e 2018, respectivamente (Tabela 1). O pico mais alto para SIF 757 foi observado em 2015  $1,724 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ . Para a SIF 771, variaram de  $0,587 \pm 0,011 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  a  $0,614 \pm 0,012 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  para os anos de 2015 a 2018, enquanto, o pico máximo da SIF 771 foi de  $1,683 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  observada nos anos de 2015, 2017 e 2018. De acordo com Migliavacca et al., (2017) a abundância relativa de espécies afeta a estrutura do dossel e a dispersão da fluorescência, e que essas mudanças no dossel estrutura dominam as variações observadas no SIF entre a vegetação. O estado do Mato Grosso do Sul é composto por três biomas, o Cerrado, a Mata Atlântica e o Pantanal, o que significa que a variabilidade do dossel das plantas que compõem cada bioma pode interferir na variação da fluorescência da clorofila.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos dados de fluorescência da clorofila induzida pelo sol SIF 757 em  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$  e SIF 771 em  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$  para o estado do Mato Grosso do Sul.

Ano	Variável	N	Média ± EP	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2015	SIF 757	949	0,616±0,013	0,403	<0,001	1,724
	SIF 771	998	0,587±0,011	0,377	0,003	1,683
2016	SIF 757	1203	0,604±0,011	0,403	<0,001	1,722
	SIF 771	1225	0,604±0,010	0,379	<0,001	1,680
2017	SIF 757	927	0,598±0,013	0,408	<0,001	1,722
	SIF 771	967	0,625±0,012	0,401	0,002	1,683
2018	SIF 757	1030	0,620±0,012	0,417	<0,001	1,716
	SIF 771	1125	0,614±0,012	0,407	<0,001	1,683

Fonte : O autor

Para a SIF 757  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ , é possível observar uma menor variabilidade na distribuição espacial nos anos de 2016 e 2017 e uma maior variabilidade para os anos de 2015 e 2018 (Figura 1a). De modo geral, no bioma cerrado é possível observar uma maior predominância para os valores mínimos de SIF 757  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ , o que indica uma menor taxa fotossintética. Em contrapartida, os valores máximos observados na interpolação podem ser observados mais no bioma mata atlântica. A SIF 771  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$  (Figura 1B) apresentou mais variabilidade espacial em todos os anos estudados. Semelhante a SIF 757  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ , o bioma Cerrado apresentou os valores mais baixos de SIF 771  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ , seguido do bioma Pantanal. Rossi e Santos (2020) observaram que a dinâmica do carbono da vegetação nos biomas Cerrado e Pantanal se comportam de forma diferente, isso, graças a variação da composição vegetal de cada bioma. Além disso, é importante ressaltar que as emissões de SIF no nível dos fotossistemas I e II, são responsáveis pelas variações observadas entre tipos ou espécies funcionais de plantas, incluindo SIF mais alto em algumas espécies de folhas largas e em outras de folhas estreitas (ROSSINI et al., 2016).



**Figura 1.** Mapas da variação espacial da (a) SIF 757 em  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$  e (b) 771 em  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$  para o estado do Mato Grosso do Sul.

## CONCLUSÕES:

Os resultados demonstram que o uso de sensoriamento remoto para monitorar a atividade fotossintética por meio da emissão da fluorescência da clorofila induzida pelo sol pode distinguir a cobertura vegetal característica de cada bioma, além de apresentar um enorme potencial na compreensão dos efeitos da sazonalidade climática sob a vegetação em clima tropical. As diferenças observadas dentre os anos estudados podem indicar uma variação na estrutura do dossel.

## AGRADECIMENTOS:

Este estudo foi concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) código de financiamento 19/11319-4, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) sob o código de financiamento 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS:

- C., Rascher, U., Berninger, A., Bessenbacher, V., Burkart, A., Carrara, A., Fava, F., Guan, J.-H., Hammer, T.W., Henkel, K., Juarez-Alcalde, E., Julitta, T., Kolle, O., Martín, M.P., Musavi, T., Pacheco-Labrador, J., Pérez-Burgueño, A., Wutzler, T., Zaehle, S., Reichstein, M., 2017b. **Plant functional traits and canopy structure control the relationship between photosynthetic CO<sub>2</sub> uptake and far-red sun-induced fluorescence in a Mediterranean grassland under different nutrient availability.** *New Phytol.* 214, 1078–1091.
- Golkar, F., Al-Wardy, M., Saffari, S.F., Al-Aufi, K. and Al-Rawas, G., 2020. **Using OCO-2 Satellite Data for Investigating the Variability of Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration in Relationship with Precipitation, Relative Humidity, and Vegetation over Oman.** *Water*, 12(1), p.101.
- JOINER, J; YOSHIDA, Y; VASILKOV, A.P; SCHAEFER, K; JUNG, M; GUANTER, L; ZHANG, Y; GARRITY, S; MIDDLETON, E.M; HUENNRICH, K.F; GU, L; BELELLI MARCHESINI, L. **The seasonal cycle of satellite chlorophyll fluorescence observations and its relationship to vegetation phenology and ecosystem atmosphere carbon exchange.** *Remote Sensing of environment*, v.152, p. 375-391, 2014.
- JULITTA, T; CORP, L. A; ROSSINI, M; BURKART, A; COGLIATI, S; DAVIES, N; HOM, M; ARTHUR, A.MAC; MIDDLETON, E. M; RASCHER, U; SCHICKLING, A; COLOMBO, R. **Comparison of Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence estimates obtained from portable field spectroradiometers.** *Remote Sensing*, V.8, n.2, p.1-14, 2016.
- Migliavacca, M., Perez-Priego, O., Rossini, M., El-Madany, T.S., Moreno, G., Van der Tol, Mohammed, G.H., Colombo, R., Middleton, E.M., Rascher, U., van der Tol, C., Nedbal, L., Goulas, Y., Pérez-Priego, O., Damm, A., Meroni, M. and Joiner, J., 2019. **Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in vegetation: 50 years of progress.** *Remote sensing of environment*, 231, p.111177.
- Rossi, F.S. and Santos, G.A.D.A., 2020. **Fire dynamics in Mato Grosso State, Brazil: the relative roles of gross primary productivity.** *Big Earth Data*, pp.1-22.
- Rossini, M., Meroni, M., Celesti, M., Cogliati, S., Julitta, T., Panigada, C., Rascher, U., Van der Tol, C., Colombo, R., 2016. **Analysis of red and far-red sun-induced chlorophyll fluorescence and their ratio in different canopies based on observed and modeled data.** *Remote Sens.* 8, 412.
- Siabi, Z., Falahatkar, S. and Alavi, S.J., 2019. **Spatial distribution of XCO<sub>2</sub> using OCO-2 data in growing seasons.** *Journal of environmental management*, 244, pp.110-118.