ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Fluxo de CO₂ e os índices de vegetação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Piauí, Brasil

Luana de Castro Pereira¹, Arnon Batista Nunes², Israel Lobato Rocha³, Janeil Lustosa de Oliveira⁴, Maria Letícia Stefany Monteiro Brandão⁵, Luiz Fernando Carvalho Leite⁶, Bruna de Freitas Iwata⁷

¹Gestora ambiental, Instituto Federal do Piauí-IFPI, Campus Corrente, Rua 6, bairro Nova Corrente, 64980000, Corrente, Piauí, luannapereira.c@gmail.com. ²Mestre em Geografia, Instituto Federal do Piauí – IFPI, Campus Corrente, Rua 6, bairro Nova Corrente, 64980000, Corrente, Piauí, arnongeioambiental@gmail.com. ³Mestre em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, Prof. do Instituto Federal do Piauí-IFPI, Campus Corrente, Rua 6, bairro Nova Corrente, 64980000, Corrente, Piauí, israel.lobato@ifpi.edu.br. ⁴Analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio, Av. Nossa Senhora da Conceição, bairro Nova Corrente, 64980000, Corrente, Piauí, janeil.oliveira@icmbio.gov.br. ⁵Gestora ambiental, Pesquisadora do grupo de estudos IQAm do Instituto Federal do Piauí-IFPI, Campus Teresina Central, Praça da Liberdade, bairro Centro, 64000040, Teresina, Piauí, marialeticia.gab@gmail.com. ⁶Dr. em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Meio Norte, Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, bairro Buenos Aires, 64006220, Teresina, Piauí, luiz.f.leite@embrapa.br. ⁷Dr. em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Prof. do Instituto Federal do Piauí-IFPI, Campus Teresina Central, Praça da Liberdade, bairro Centro, 64000040, Teresina, Piauí, iwata@ifpi.edu.br.

Artigo recebido em 18/05/2020 e aceito em 13/07/2020

RESUMO

As emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera trazem consequências para o meio ambiente e saúde pública. Logo, ambientes naturais, como as Florestas Nativas do Cerrado são essenciais no processo de equilíbrio de carbono, pela fixação do mesmo. Com o objetivo estimar o fluxo de CO₂ com base em diferentes índices de vegetação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP), essa pesquisa, utilizou-se dos seguintes índices: Pré Processamento das Imagens (PPI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Vegetação Fotossintético – PRI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI, Índice de Área Foliar- IAF e CO₂FLUX. Referente ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), verificou-se que a maior parte da área PNNRP se encontra sob a vegetação considerada densa, sendo os valores de SAVI encontrados próximos aos valores de NDVI, que pode estar relacionado a uma boa cobertura vegetal presente, indicando pouca influência das características do solo sob os índices de vegetação. A partir dos resultados encontrados através do IAF do PNNRP verificou que em áreas que os valores são maiores encontram-se as vegetações com o melhor desenvolvimento. Levando em conta os valores relacionados ao CO₂Flux, IAF, NDVI e os demais índices, percebeu-se a capacidade do Parque no aproveitamento da luz solar e a realização da fotossíntese, além de abrigar uma vegetação saudável, podendo assim afirmar o grande potencial do PNNRP em armazenar carbono. Portanto, evidencia-se que o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba possui uma alto potencial de fluxo de carbono.

Palavras-chave: biomassa, bioma cerrado, fluxo de carbono.

CO₂ flow and vegetation indices of the Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Piauí, Brazil

ABSTRACT

Emissions of greenhouse gases into the atmosphere have consequences for the environment and public health. Therefore, natural environments, such as the Cerrado's Native Forests are essential in the carbon balance process, due to its fixation. With the objective of estimating the CO₂ flow based on different vegetation indexes of the Nascentes do Rio Parnaíba National Park (PNNRP), this research used the following indexes: Pre-Processing of Images (PPI), Vegetation Index by Difference Normalized - NDVI, Photosynthetic Vegetation Index - PRI, Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI, Leaf Area Index - IAF and CO₂FLUX. Regarding the Index of Vegetation by Normalized Difference (NDVI), it was found that most of the PNNRP area is under dense vegetation, with SAVI values found close to NDVI values, which may be related to good coverage present, indicating little influence of soil characteristics on vegetation indexes. From the results found through the IAF of the PNNRP verified that in areas with higher values are the vegetation with the best development. Taking into account the values related to CO₂Flux, IAF, NDVI and other indexes, the Park's capacity to use sunlight and photosynthesis was observed, as well as to house healthy vegetation, thus confirming the great potential of PNNRP in storing carbon. Therefore, it is evident that the Parnaíba River National Park has a high carbon flow potential.

Keywords: biomass, cerrado biome, carbon flow.

Introdução

As emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) são os maiores influenciadores para as alterações climáticas e o aquecimento global. Às mudanças de uso da terra, à queima de combustíveis fósseis e às atividades industriais, que são as principais fontes de emissões dos GEE's trazem consequências significativas para o meio ambiente (Cotta, 2008; Veres et al., 2020).

O bioma Cerrado ao longo do tempo, em virtude do desenvolvimento e ocupação humana, vem sendo ocupado, principalmente, pela mudança do uso da terra para práticas de agricultura e pecuária extensiva, alterando uma grande parte da paisagem (Roquette, 2018). Sendo a sua paisagem natural e seus elementos ainda incipientemente conhecida.

O bioma tem grande extensão no Brasil e abriga uma grande diversidade biológica, entretanto o bioma sofre com diversos impactos ambientais como queimadas e desmatamento que põe em risco a existência do bioma, além de contribuir para as emissões de CO₂.

Além da importância biológica do bioma e apesar dos impactos sofridos, o Cerrado possui grande importância no sequestro de carbono, as suas fitofisionomias são consideradas de alta capacidade nesse processo, no entanto, devido às diferentes situações que o bioma é exposto, como o clima e as frequentes queimadas, a quantidade de biomassa aérea é inferior à subterrânea (Lopes e Miola, 2016).

Embora conhecidos os papéis das florestas de Cerrado, ainda há necessidade de levantamentos aperfeiçoados e detalhados sobre cada região. Uma das formas de se conhecer as suas diferentes formações florestais, principalmente as de difícil acesso, são por meio

da aplicação dos índices de vegetação, que são obtidos através de imagens de sensoriamento remoto.

A aplicação de dados obtidos a partir da aplicação do sensoriamento remoto é de grande relevância para o monitoramento da cobertura vegetal, por meio dos índices de vegetação. Dois índices importantes aplicados são, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Fotossintético (PRI), que por meio deles gera o índice de CO₂FLUX responsável por mensurar a capacidade do sequestro de carbono das florestas (Braz et al., 2015).

Considerando o bioma Cerrado, ressalta-se que a elevada biodiversidade, as grandes estratificações fitossociológicas e a enorme variação de ambientes aponta o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP) como um dos principais sumidouros de carbono do bioma, logo, o objetivo deste estudo foi estimar o fluxo de CO₂ com base em diferentes índices de vegetação desta Unidade de Conservação.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (Figura 01), que mesmo possui aproximadamente uma área territorial de 749.774,18 hectares e abrange alguns municípios do Estado da Bahia (Formosa do Rio Preto), Tocantins (Lizarda, Mateiros, São Félix do Tocantins), Maranhão (Alto Parnaíba) e Piauí (Barreiras do Piauí, Corrente, Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia) (ICMBio, 2013).

Figura 01. Localização Geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019 (Adaptado de-IBGE, (2017)).

A vegetação é complexa e diversificada, a sua fitofisionomia pertence ao bioma Cerrado com diferentes aspectos. O Cerrado *Sensu Stricto* e o Cerradão são predominantes e a vegetação chega a 12 metros.

O PNNRP é caracterizado por um clima Tropical semiúmido, com duas estações climáticas bem definidas: período seco, que vai de maio a novembro e o outro chuvoso, que vai de dezembro a abril, aproximadamente, sendo os meses de agosto a outubro os mais críticos em relação à seca e aos focos de incêndio. Os totais pluviométricos anuais ficam entre 750 e 1400 mm e a temperatura média anual é de 26 °C. O Parque está localizado no divisor de três grandes bacias: Bacia do Rio Parnaíba, Bacia do Rio São Francisco e da Bacia do Rio Tocantins. Sua hidrografia é muito densa, composta de nascentes e cursos d'água. A região se enquadra nos domínios dos Chapadões Tropicais compostos por vastas superfícies de aplainamento. Distinguem-se dois grandes segmentos, sendo eles, parte alta, superfícies de platôs, localizada na Chapada das Mangabeiras, com altitudes médias de 800 metros, que em decorrência da ausência de drenagem superficial, não há formações de vales e o relevo apresenta-se plano e monótono. E a parte baixa, formada pelo processo erosivo da Chapada das Mangabeiras, originando a Serra da Tabatinga, sua

altitude média é de 400 metros e corresponde à maior porção do Parque. (MMA, 2007).

No parque ocorrem formações campestres sazonais, principalmente na região próxima ao Jalapão, porção sudoeste da Unidade, a mesma apresenta também área de contato e tensão ecológica entre o cerrado e a caatinga, Na parte baixa do parque, o solo em geral é arenoso, apresentando-se com baixa fertilidade, exceto próximo às veredas. Na porção alta predomina solo areno-argiloso, atrativo para as grandes culturas, encontram-se ainda afloramentos rochosos nas escarpas das serras e montanhas (MMA, 2007).

Características Espectrais das Imagens

Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8, Sensor OLI, no qual o mesmo possui resolução espacial de 30m. As cenas escolhidas foram das datas de 11 de agosto do ano 2018, órbita ponto 221/067 e 28 de agosto de 2018, órbita ponto 220/067, das bandas espectrais 2, 3, 4 e 5 (Tabela 01), as mesmas foram escolhidas pela baixa nebulosidade apresentada garantindo a qualidade da imagem, cujos dados encontram-se disponibilizados, gratuitamente, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Tabela 01. Característica das bandas do Landsat 8.

<i>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) e sensor de infravermelho térmico (TIRS)</i>	<i>Bandas</i>	<i>Comprimento de onda (micrômetros)</i>	<i>Resolução (metros)</i>
	Banda 2 – Azul	0,45 - 0,51	30
	Banda 3 – Verde	0,53 - 0,59	30
	Banda 4 – Vermelho	0,64 - 0,67	30
	Banda 5 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	0,85 - 0,88	30

Pré Processamento das Imagens- Correção Atmosférica

As bandas do instrumento OLI, foram convertidas para o topo da atmosfera (TOA), em radiância espectral, usando os elementos de brilho redimensionado fornecidos no arquivo de metadados, registrado na Equação 1. Seguindo a metodologia proposta por Rahman et al. (2001).

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad (1)$$

Em que: $L\lambda$ =TOA radiância espectral ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$); ML =banda específica fator redimensionado multiplicador a partir dos metadados Radiância_Mult_Banda_ L , onde L é o número da banda; AL = banda específica fator escalonado aditivo a partir de metadados da Radiância_Add_Banda_ L , onde L é o número da banda; Q_{cal} =produto quantificado e calibrado padrão em valores de pixel (ND).

Índices de Vegetação

Os índices de vegetação estão associados com parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação (Ponzoni et al., 2012).

Para a realização da pesquisa, utilizou-se dos seguintes índices: Pré Processamento das Imagens (PPI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Vegetação Fotossintético – PRI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI, Índice de Área Foliar IAF e CO_2FLUX , esse índice é demonstrado na Figura 02.

$$PRI = \frac{R_{green} - R_{blue}}{(R_{green} + R_{blue})} \quad (3)$$

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2} \quad (4)$$

Em que: R é Valor de Reflectância no comprimento de onda das bandas do verde (GREEN) e azul (BLUE).

Figura 02. Índices de vegetação. Fonte: Autores, 2019.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI baseia-se na alta absorção da clorofila que é constatada na região espectral do vermelho e na alta reflectância esclarecida pela estrutura interna das folhas na região do infravermelho próximo. Rouse et al. (1973) desenvolveram um estudo onde normalizaram a relação de -1 a 1, usualmente os índices para vegetações saudáveis considerados são os que variam de 0,2 a 0,8. Considerado na equação 2:

$$NDVI = \frac{P_{ivp} - P_v}{(P_{ivp} + P_v)} \quad (2)$$

Em que: P_{ivp} = FRB no infravermelho Próximo; P_v = FRB no vermelho.

Índice de Vegetação Fotossintético – PRI-sPRI

O índice PRI varia com a capacidade fotossintética, uso de radiação eficiente e tipo de vegetação. O índice sPRI tem o mesmo significado do PRI, mas passa a ser verificado em uma escala que varia de 0 a 1 para que possa ficar na mesma escala que o NDVI (Silva e Baptista, 2015). Sendo expressos nas equações 3 e 4:

Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI

O índice SAVI foi proposto por Huete (1988) para minimizar os efeitos de fundo (solo), sob o sinal da vegetação, por meio de uma constante L de ajuste do solo. Considera-se a

equação 5:

$$SAVI = \frac{(Pivp - Pv)}{(Pivp + Pv + L) \times (1 + L)} \quad (5)$$

Em que: SAVI= é o índice de vegetação ajustado ao solo; Pivp= FRB no infravermelho Próximo; Pv= FRB no vermelho; L= corresponde a uma constante chamada de fator de ajuste do índice SAVI e pode variar de 0 a 1, nessa pesquisa assumiu o valor de 0,5, aplicado à vegetação com densidade intermediária.

Índice de Área Foliar- IAF

O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação (Manzato et al., 2017). Descrito na equação 6:

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

CO₂FLUX

Para a determinação do Co₂flux, integrou-se o sPRI que se correlaciona com as taxas de fotossíntese e o NDVI correlacionado com o sequestro de carbono (Rahman et al., 2001). Expresso na equação 7:

$$C_{2flux} = (NDVI \times sPRI) \quad (7)$$

Temperatura de superfície

A temperatura de superfície foi calculada conforme equação aplicada por Coelho et al. (2013), na qual os elementos e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10. Considera-se a equação 8:

$$T = \frac{K2}{\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (8)$$

Em que: T =Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K); K2 =Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K); K1 =Constante de calibração 1 = 774.89 (K); Lλ =Radiância espectral em Watts/(m² sr μm).

Após este procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o *raster* de temperatura de superfície em graus Celsius (°C).

Suporte à Decisão em Geoprocessamento

Câmara (1996) destaca como resultado, esta função do SPRING gera um esqueleto de programa em LEGAL, que deverá ser completado pelo usuário com as informações específicas sobre os dados nos quais deseja aplicar o procedimento. A aplicação da técnica AHP é sob a forma de uma média ponderada.

Assim, os dados Co₂Flux, Temperatura e vegetação foram convertidos para uma escala de [0..1] antes da aplicação do programa, conforme preconiza tal metodologia.

Após essa fundamentação metodológica os dados foram integrados no LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico no SPRING, para tanto foram calculados através ferramenta de apoio à tomada de decisões em Geoprocessamento, baseada na técnica AHP ("Processo Analítico Hierárquico"), dessa aplicação obteve os seguintes pesos para as classes: Co₂Fux = 0.387, Temperatura = 0.443 e Vegetação = 0.169, e Razão de consistência CR = 0.016, posteriormente foram gerado uma média ponderada para do grau de vulnerabilidade conforme expresso na equação 9 e figura 03 respectivamente.

$$Var4 = 0,387 \times (\text{pondere}(\text{var1}, \text{tab1})) + 0,443 \times (\text{pondere}(\text{var2}, \text{tab2})) + 0,169 \times (\text{pondere}(\text{var3}, \text{tab3})) \quad (9)$$

Em que: var1 ("Co₂Fux"); var2 ("Temperatura"); var3 ("Vegetacao"); var4 = ("Vulnerabilidade").

Figura 03. LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico no SPRING. Fonte: Autores, 2020.

Para serem analisados os dados Co₂Flux, Temperatura e vegetação foram convertidos para a escala de vulnerabilidade das unidades territoriais

básicas, descrita em Crepani et. al. (2006). Como mostra a figura 04.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Figura 04. Vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.

Após essa aplicação os valores de temperatura foram especializados em 5 classes

com intervalos iguais, considerando a mínima de 27,4 (°C) e máxima de 41,2 (°C).

Os dados de vegetação foram compilados do IBGE (2019), considerando a vegetação / área natural do principal componente, já os valores de vulnerabilidade instabilidade foram adaptados de Crepani et al. (2001), conforme tabela 02.

Tabela 02. Classes de vegetação com os valores de vulnerabilidade.

Classe	Legenda	Grau de Vun.
Saf	Savana arbórea aberta com floresta de galeria (Saf)	2.1
Spf	Savana parque com floresta de galeria (Spf)	2.5
Sas	Savana arbórea aberta sem floresta de galeria (Sas)	2.1
Sgf	Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Sgf)	2.7
Sps	Savana parque sem floresta de galeria (Sps)	2.5
Fae	Flor. Estacional Semidecidual, aluvial, dossel emergente (Fae)	1.6
Sd	Savana arbórea densa (Sd)	1.7
Acc	Agricultura com Culturas C	3.0
Ag	Agropecuária	2.9
Ai	Indiscriminada	3.0
Ap	Pecuária (pastagens)	2.8

Fonte: Crepani et al. (2001)

Tabela 03. Valores de instabilidade e vulnerabilidade aplicados a variável Co₂Flux.

Co ₂ Flux	Grau de Vulnerabilidade
0,0021- 0,0516	2,8
0,0516-0,1052	2,4
0,1052- 0,1588	2,0
0,1588- 0,2124	1,6
0,2124 – 0,2666	1,2

Crepani et al. (2001), destaca que densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogênicos que se traduzem na forma de erosão, por isso para as altas densidades de

cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

Tabela 04. Valores de instabilidade e vulnerabilidade aplicados a variável temperatura.

Temperatura	Grau de Vun.
27.4 - 30.6C°	1,0
30,6 – 33,2C°	1,5
33,2 – 35,8C°	2,0
35,8 – 38,4C°	2,5
38.4 - 41.2C°	3,0

Resultados e discussão

As fitofisionomias identificadas no PNNRP são representadas principalmente por Savana arbórea densa, Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria, Savana parque com e sem floresta de galeria (Figura 05). São vegetações que vão desde a formação florestadas, com indivíduos com excelente composição lenhosa, com crescimento e frequência homogênea e densa, a uma vegetação com marcante presença de gramíneas com espécies lenhosas mais esparsas e com maior irregularidade quanto à distribuição e frequência (IBGE, 2012).

Ao que se percebe, quanto à caracterização fitofisionômica, o PNNRP possui formações mistas e complexas que garantem maior estratificação dos indivíduos, tanto quanto ao estrato aéreo, quanto ao comportamento dos sistemas radiculares, dinamizando assim os fluxos entre input e output de carbono no sistema, além da relação com o ciclo da água e demais componentes físico, químicos e bióticos desses ecossistemas.

Figura 05. Mapa fitofisionômico do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Referente ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) verificou-se que há um predomínio de áreas do PNNRP consideradas como vegetação muito densa, com qualidade preservada (Figura 06), logo, segundo Rouse et al. (1973) os valores que variarem entre 0,2 e 0,8 são pertencentes a vegetações saudáveis, com cobertura equilibrada. Gamarra et al. (2016)

obteve em seu estudo maiores valores de complexidade do NDVI médio registrados na fitofisionomia Mata seguido pelo Cerradão. E verificou que há uma sobreposição de valores de Mata e Cerradão, pois se tratam de dois tipos de formações florestais que apresentam estrutura vertical mais complexa e também maior fitomassa quando comparados com o Cerrado.

Figura 06. Mapa de NDVI do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Os valores do NDVI do Parque variaram entre valores negativos e positivos, Fausto et al.

(2016), em seu estudo sobre o “Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso”, constatou a partir da aplicação dos índices de vegetação, que houve diferença significativa nos valores de NDVI. Em sua pesquisa o NDVI da Mata ciliar foi 57% maior do que na soja, 35% na cana-de-açúcar e 40% na Pastagem e valores negativos para corpos d’água.

Os valores de NDVI obtidos dentro do PNNRP, foram inferiores aos valores encontrados por Santos et al. (2017) em uma área de cerrado, que obteve médias de 0,01732; 0,01329; 0,35053 e 0,02459, respectivamente para as bandas B2, B3, B4, B5 e B7.

Um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, com a finalidade de realçar características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área. O NDVI também é utilizado principalmente em estudos ambientais, que permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada área (Albuquerque et al. 2019).

Além disso, o NDVI dispõe de vantagem sobre os demais índices, o mesmo se apresenta como o mais proporcional à biomassa da vegetação e o que sofre menor interferência das condições atmosféricas (Machado et al., 2018).

A partir da aplicação do NDVI na área do parque obtiveram-se informações importantes

sobre a biomassa presente no parque, como a presença de uma vegetação densa que como consequência possuem maiores estoques de CO₂, que através do sensoriamento remoto permitiu ter as informações de áreas de difícil acesso, o que é de grande valia para o monitoramento de futuras mudanças no meio. Diversos estudos tem apontado para uma importante correlação entre os comportamentos espectrais que são estimados pelo NDVI e o comportamento da biomassa incrementada ou reduzida (Coelho et al., 2018; Zhao et al., 2018), na qual observa-se que a biomassa acumulada acima da superfície é incrementada proporcionalmente, ou seja, quando ocorre o aumento desse índice, também ocorrerá o aumento da biomassa da superfície de forma proporcional.

Em se tratando Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) a partir das análises dos valores obtidos com a aplicação do índice, percebeu-se que os valores de SAVI encontrados foram todos positivos, uma vez que esses valores variam de positivo e negativo, sendo os valores positivos áreas com coberturas vegetais e as negativas áreas com ausência dessa cobertura. Assim, pôde-se afirmar que a área em estudo recebeu valores positivos por se tratar de uma área com cobertura vegetal satisfatória estando inserida como uma unidade de conservação de proteção integral (Figura 07).

Figura 07. Mapa de SAVI do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Outro fator importante é que os valores de

SAVI encontrados foram próximos aos valores de

NDVI, que pode estar relacionado ao fato da área ter uma excelente cobertura vegetal, podendo ser considerada uma amortização de qualquer outro fator sob os índices de vegetação. Assim, diversos autores têm observado que o índice SAVI tem apresentado boas correlações com os valores apontados pelo NDVI, sendo também apontado como um índice que representa bem as características espectrais da vegetação, e que considera o efeito dos demais elementos do ambiente (Martins et al., 2018; Berger et al., 2019; Silva et al., 2019).

Foi utilizado para esse estudo o fator de conversão $L=0,5$ para vegetação de médio porte e, corroborado a isso, Braz et al. (2015) em seu estudo na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, em área de Cerrado, e vegetação natural de floresta aluvial, utilizou desse mesmo fator de conversão e os seus resultados para os índices do SAVI apresentaram maior presença nos índices da vegetação, isso porque a constante “L” diminui a influência da resposta espectral do solo no cálculo do SAVI.

Silva et al. (2016) em um estudo feito em uma bacia do Rio Bacanga no Estado do Maranhão obteve valores pra o SAVI no intervalo de $-0,68$ – $-0,16$, correspondem aos corpos

hídricos, $-0,16$ – $0,20$ representam os índices de solo exposto, $0,20$ – $0,46$ para áreas com presença de gramíneas, $0,46$ – $0,68$ para áreas com vegetação arbustiva, já os valores mais elevados $0,68$ – $0,88$, indicaram às áreas que representam a vegetação arbórea.

Ao que se refere ao índice PRI, o PNNRP apresentou uma área significativa com valores próximos a um, podendo assim considerar como características vegetacionais eficientes no processo da fotossíntese (Figura 08). O índice de vegetação PRI é utilizado com um excelente indicador da função fotossintética das plantas, para o melhoramento dos resultados desse índice e para considerá-lo na mesma escala do NDVI, se aplica o sPRI que relaciona a fotossíntese com a boa utilização da radiação. Os valores de sPRI encontrados próximos de zero, irão indicar a baixa eficiência do uso da luz fotossintética, já os valores próximos à um, indicarão a eficiência no uso da mesma. Sendo esses valores utilizados como importante avaliação do nível de aproveitamento da radiação pela vegetação (Martins e Baptista, 2013; Silva e Baptista, 2015; Gaida et al., 2016).

Figura 08. Mapa de Índice de Vegetação Fotossintético – sPRI do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Existe uma relação direta dos fatores ambientais ao processo de fotoassimilação, diversos estudos

têm apontado para o papel desses elementos,

como o acesso a luz e os efeitos sobre a fotossíntese (Cai et al., 2016; Renato et al., 2018; Ventura et al., 2019). Assim, quanto maior for a taxa fotossintética, maior será a possibilidade de a vegetação utilizar o carbono atmosférico de forma eficiente e consequentemente, maior a quantidade de carbono estocado. Além disso, quanto mais elevada a capacidade de utilização da luz pela fotossíntese, maior será a eficiência da planta em realizá-la, portanto, a intensidade de realização da fotossíntese pode ser modificada pela quantidade de luz que ela recebe.

Considerando os resultados obtidos do Índice de Área Foliar (IAF) e levando em consideração que quanto maior os valores desse índice, melhor será o desenvolvimento da vegetação por ter maior capacidade de absorção de luz solar, consequentemente as áreas do parque com valores de IAF maiores terão maior capacidade de armazenamento de CO₂ na biomassa arbórea, portanto nessas áreas se encontram um maior estoque de CO₂ em relação às outras áreas (Figura 09).

Figura 09. Mapa do IAF do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

A partir dos resultados encontrados através do IAF do PNNRP verificou-se que em áreas que os valores são maiores, encontram-se as vegetações com o maior desenvolvimento, além disso, absorvem maior fluxo de radiação energética e consequentemente armazenam maior quantidade de carbono em sua biomassa, sendo assim essas espécies com o maior desenvolvimento há um maior estoque de CO₂. Segundo Berger et al. (2019), o IAF pode influenciar na reflectância da vegetação-alvo, sub-bosque e solos (cor, textura, teor de umidade), e consequentemente na biomassa vegetal aérea.

Silva et al. (2016) em um estudo feito em uma bacia do Rio Bacanga no Estado do

Maranhão obteve valores para o IAF de -0,02–0,56 e 0,56–1,05 representam os índices de solo exposto, 1,05–1,52 para as áreas com presença de gramíneas, 0,52–1,95 para as áreas com predominância de vegetação arbustiva e 1,95–6, para as áreas que representam a vegetação arbórea.

A partir da aplicação dos índices para a obtenção do CO₂Flux foi possível identificar a partir do mapa, a eficiência do sequestro de carbono no PNNRP (Figura 10). As áreas vegetadas possuem o CO₂flux alto devido as plantas reterem mais gás carbônico (Teobaldo e Baptista, 2016).

Figura 10. Mapa do CO₂Flux do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Teobaldo e Baptista (2016) explica em seu trabalho sobre as variações significativas da capacidade do sequestro de carbono em uma área de Cerrado nas unidades de conservação em Brasília, o PARNA Brasília, em que há uma relação direta com a diversidade fitofisionômica do tipo de cerrado, com variações significativas observadas no estudo entre Cerrado Sensu Stricto e da Mata de Galeria, assim como entre as fitofisionomias de Campo Sujo e de Campo. O mesmo constatou que o sequestro de carbono nessas diversas fitofisionomias é diferenciado, pois a cobertura arbórea da Mata de Galeria é maior que a do Cerrado Sensu Stricto e consequentemente maior que a dos Campos.

Posto isso, constatou-se a partir dos resultados de CO₂flux as áreas de maiores valores de fluxo de carbono, podendo ser explicado a diferenciação desses valores pela grande diversidade fitofisionômica do cerrado, apresentando áreas com maiores densidades florestais e consequentemente com melhores atuações no processo de estocagem de carbono.

Levando em conta os valores relacionados ao CO₂Flux, IAF, NDVI e os demais índices, percebeu-se a capacidade do Parque no

aproveitamento da luz solar e a realização da fotossíntese, além de abrigar uma vegetação saudável, podendo assim afirmar o grande potencial do PNNRP em armazenar carbono, sendo assim a área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba contém um fluxo de carbono alto, devido a capacidade da vegetação na retenção de carbono.

A dinâmica florestal e da qualidade vegetacional das componentes do PNNRP possuem um vínculo direto e indireto com as condições de acesso da radiação solar direta, assim como o retorno desta pela superfície do solo (Figura 11). Logo, há um efeito consequente de áreas povoadas por dosséis mais densos, havendo uma interceptação da radiação por estas copas, assim como melhor aproveitamento da energético para o processo fotossintético, e minimizando as médias térmicas da superfície do solo. Há também uma correlação da temperatura do solo influenciando as dinâmicas de absorção de CO₂ e eficiência do processo fotossintético (Albert et al., 2011; Gobel et al., 2019).

Figura 11. Mapa da temperatura superfície do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Lotufo et al. (2020), ao comparar as imagens pré e pós-queimada das variáveis NDVI, NBR e temperatura de superfície obteve valores entre 24,93-35,55 °C e 34,66-44,39 °C para a temperatura de superfície do Parque Estadual do Araguaia.

O grau de vulnerabilidade (Figura 12) também foi coerente com o comportamento fitofisionômico quando verificado a ocorrência de estratos florestais mais estáveis em áreas das

fitofisionomias Savana Arbórea Aberta com Floresta de Galeria (Saf) e Savana Parque com Floresta de Galeria (Spf). Assim, as variações de comportamentos fitofisionômicos ordenam o nível de estabilidade da formação, além de garantir a estabilização do ambiente e condições de estoque e fixação de carbono, constituindo assim, uma relação de co-dependência entre a estabilização do carbono e a estabilização do ambiente (Costa et al., 2018; Creevy et al., 2020).

Figura 12. Mapa do grau de vulnerabilidade do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Fonte: Autores, 2019.

Reconhecer padrões específicos de vegetação e o levantamento de variáveis e informações indispensáveis às práticas de manejo sustentável é imprescindível para alcançar medidas de conservação para o bioma tão ameaçado como o Cerrado (Oliveira et al., 2019).

De acordo com Lessa et al. (2016), outra forma de aplicar esses índices se dá por se pensar em processos que reduzam ou sequestram Carbono da atmosfera sendo um deles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo criado pelo Protocolo de Kyoto, além disso, ele cita que o mercado de Carbono também pode ser beneficiado pelo processo de sequestro e armazenamento de Carbono pelas espécies florestais.

Conclusões

O Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP) é um importante sumidouro de carbono do bioma Cerrado, com fluxo médio de CO₂flux de 0,125, e elevados fluxos de 0,331 em grande extensão da Unidade de Conservação, denotando principalmente a qualidade da cobertura vegetal;

A partir das análises dos índices de vegetação foi possível constatar que o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba possui uma vegetação densa e saudável, o que corrobora com futuros estudos sobre manejo da unidade;

Os índices NDVI, SAVI, sPRI e o IAF foram eficientes e apontaram que a unidade possui uma alto fluxo de carbono, levando em conta alto potencial na realização da fotossíntese além de abrigar uma vegetação densa e obter um alto potencial no armazenamento de CO₂;

A utilização do sensoriamento remoto como ferramenta de análise ambiental pode facilitar aos pesquisadores o controle ambiental a partir do monitoramento de cobertura vegetal e bacias hidrográficas, associando o uso de novas tecnologias com o planejamento e controle ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente, ao grupo de pesquisa IQAm do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central e ao ICMBio, pelo apoio e parceria para a realização dessa pesquisa.

Referências

Albert, K.R., Mikkelsen, T.N., Michelsen, A., Ro-Poulsen, H., Van der Linden L., 2011. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic

- capacity and photosystem performance in temperate heath plants. *Journal of Plant Physiology*, 168, 1550-1561. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.02.011>
- Albuquerque, A.M., Silva, S.B., Sales, M.C.L., 2019. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do açude castanhão. *Revista cadernos de Ciências e Tecnologia*, 1, 170-183.
- Berger, R., Silva, L.A.A., Ferreira, R.L.C., Candeias, A.L.B., Rubilar, R., 2019. Índices de vegetação para a estimativa do índice de área foliar em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. *Revista Ciência Florestal*, 29, 885-899. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509816942>
- Braz, A.M., Águas T.A., Garcia, P.H.M., 2015. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria-MS. *Revista Percurso*, 7, 5-22. Disponível: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.4025%2Frevpercurso.v7i2.28758>
- Cai, C., Yin, X., He, S., Jiang, W., Si, C., Struik, P.C., Luo, W., Li, G., Xie, Y. & Xiong, Y., 2016. Responses of wheat and rice to factorial combinations of ambient and elevated CO₂ and temperature in FACE experiments. *Global Change Biology*, 22, 856-874. Disponível: <https://doi.org/10.1111/gcb.13065>
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas U.M., Garrido, J., 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & graphics*, 20, 395-403. Disponível: [https://doi.org/10.1016/00978493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/00978493(96)00008-8)
- Coelho, A.L.N., Correa, W.S.C., 2013. Temperatura de superfície celsius do sensor tirs/landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geografia acadêmica*, 7, 31-45.
- Coelho, A.P., Rosalen, D.L., Faria, R.T., 2018. Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48, 109-117. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v48i51523>
- Costa, TGA., Iwata, B.F., Toledo, C.E., Coelho, J.V., Cunha, L.M., Clementino, G.S.M., Leopoldo, N.C.M., 2018. Dinâmica de carbono do solo em unidade de conservação do cerrado brasileiro sob diferentes fitofisionomias. *Revista Gestão e sustentabilidade ambiental*, 7, 306-323. Disponível: <http://dx.doi.org/10.19177/rgs.a.v7e42018306-323>
- Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Paiva, H.N, Soares, L.P.B., Filho, A.C.V., Valverde, S.R., 2008. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Revista Árvore*, 32, 969-978. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000600002>
- Creevy, A.L., Payne, R.J., Andersen, R., Rowson, J.G., 2020. Annual gaseous carbon budgets of forest-to-bog restoration sites are strongly determined by vegetation composition. *Science of The Total Environment* [online] 705. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135863>. Acesso em: 09 mai. 2020.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., Filho, P.A., Florenzano, T.G., Duarte, V., Barbosa, C.C.F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. *INPE*, 1-124.
- Fausto, M.A., Angelini, L.P., Marques, H.O., Filho, H.S., Machado, N.G., Biudes, M.S., 2016. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11, 351-361.
- Gaida, W., Breunig, F.M., Galvão, L.S., Teles, T.S., Balbinot R., 2016. Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo,

Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Investigaciones Geográficas, 91, 105-123. Disponível: <https://doi.org/10.14350/rig.52159>

- Gamarra, R.M., Teixeira-Gamarra, M.C., Carrijo, M.G.G., Paranhos Filho, A.C. 2016. Uso do ndvi na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no cerrado. Revista Ra'e Ga, 37, 307-332. Disponível:<http://dx.doi.org/10.5380/raeg.a.v37i0.42454>
- Göbel, L., Coners, H., Hertel, D., Willinghöfer, S., Leuschner, C., 2019. The Role of Low Soil Temperature for Photosynthesis and Stomatal Conductance of Three Graminoids From Different Elevations. Front Plant Sci. 10, 330. Disponível:<https://dx.doi.org/10.3389%2Ffpls.2019.00330>
- Huete, A.R., 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25, 295-309. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Relatório Parametrizado – Unidade de Conservação: Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Brasília.
- Lessa, A.S., Junior, R.T., Silva, Z.A.G.P.G., Santos, A.S.J.S., Hoeflich, V.A. 2016. Mecanismos de Desenvolvimento Limpo Florestal e a Heveicultura no Estado do Acre. Revista Floresta e Ambiente, 23, 378-386. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.063813>.
- Lotufo, J.B.S., Machado, N.G., Taques, L.M., Mützenber, D.M.S., Lotufo Neto, N., Biudes, M.S. 2020. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física, 13, 648-663. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p648-663>
- Lopes, R.B., Miola, D.T.B., 2016. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. Synthesis Revistal Digital Fapam, 2, 127-143.
- Machado, S.L.D. Silva, C.R., Araújo, A.A., 2018. Temporal description of Cerrado sensu stricto behavior using time series. Revista Ciência e Natura [online], 40, Disponível: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/27712/18066MANZATO>. Acesso em: 09 mai. 2020.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2007. Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Corrente (PI).
- Manzato, C.L., Manzato, B.L., Castro, B., Souza, F.L.P., Sartori, A.A.C., 2017. Índices de Vegetação para estimativa de estoque de carbono e biomassa na cultura do Eucalyptus sp. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 4597-4604.
- Martins L.N., Baptista, G.M.M., 2013. Análise Multitemporal do Sequestro Florestal de Carbono no Projeto de Assentamento Carão, Acre. Revista Brasileira de Geografia Física, 6, 1648-1657. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.6.p1648-1657>
- Martins, L.M., Neiro, E.S., Dias, A.R., Roque, C.G., Baio, F.H.R., Teodoro, P.E., 2018. Cotton vegetation indices under different control methods of ramularia leaf spot. Bioscience Journal, 34, 1706-1713. Disponível: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.14393%2FBJ-v34n6a2018-39975>
- Oliveira, C.P., Francelino, M.R., Daher, M., Leles, P.S.S., Andrade, F.C., 2019. Comparação de modelos estatísticos para estimativa da biomassa de árvores, e estimativa do estoque de carbono acima do solo em Cerrado. Revista Ciência Florestal, 29, 255-269. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509827065>
- Ponzoni, F.J.; Shikumuro, Y. E; Kuplich, T.M.

- Rahman, A., Gamon, J.A., Fuentes, D.A., Roberts, D.A., Prentiss, D., 2001. Modeling distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. *Journal of Geophysical Research*, 106, 579-591. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2001JD900157>
- Renato, N.S., Sedyama, G.C., Silva, J.B.L., Pereira, E.G., 2018. Modelo fotossintético para simulação da produtividade do milho em condições de temperatura e CO₂ elevados. *Revista de Ciências Agrárias* 41, 211-220. Disponível: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA18047>
- Rouse, J.W., Haas, J.R.H., Schell J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* 1, 309-317.
- Roquette, J.G., 2018. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. *Revista Ciência Florestal* 28, 1350-1363. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509833354>
- Santos, M.M., Machado, I.E.S., Carvalho, E.V., Viola, M.R., Giongo, M., 2016. Estimativa de parâmetros florestais em área de cerrado a partir de imagens do sensor oli landsat 8. *Revista Floresta* 47, 75-83. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i1.47988>
- Silva, S.C.P., Baptista, G.M.M., 2015. Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. *Revista Boletim de Ciências Geodésicas* 21, 354-370. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200020>
- Silva, J.S., Silva, R.M., Silva, A.M., 2016. Mudanças do uso e ocupação do solo e degradação eco-ambiental usando imagens orbitais: o estudo de caso da bacia do rio Bacanga, São Luís (MA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 09, 265-279. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p265->
- Silva, V.S., Salami, G., Silva, M.I.O., Silva, E.A., Junior, J.J.M., Alba E., 2019. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes* [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso em: 10 mai. 2020.
- Teobaldo, D., Baptista, G.M.M., 2016. Quantificação da Severidade das Queimadas e da Perda de Sequestro Florestal de Carbono em Unidades de Conservação do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 250-264. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p250-264>
- U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>. Acesso: 30 de fev. de 2019.
- Veres, Q.J.I., Watzlawick, L.F., Silva, R.A.R., 2020. Estimativas de biomassa e carbono em fragmento de floresta estacional semidecidual no oeste do Paraná. *Revista Biofix Scientific Journal*. 5, 23-31. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.66001>
- Ventura, R.B., Soto, V.M., Otiniano, A.J., 2019. Efeito do déficit hídrico e do aumento de temperatura sobre variáveis produtivas fisiológicas e bioquímicas do "cacaú" *Theobroma cacao* L. *Revista Arnaldoa*, 26, 287-296. Disponível: <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26112>
- Zhao, B., Duan, A., Ata-Ul Karim, T.S., Liu, Z., Chen a, Z., Gong, Z., Zhang, J., Xiao, J., Liu, Z., Qin, A., Ning, D., 2018. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. *European Journal of Agronomy* 93, 113-125. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.12.006>