

ANÁLISE TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DO BIOMA CERRADO VIA SENSORIAMENTO REMOTO

Celina Cândida Ferreira Rodrigues¹, Luciano Ponzi Pezzi², Milton Kampel³

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, 12227-010, Brazil; {¹celina.rodrigues, ²luciano.pezzi, ³milton.kampel}@inpe.br

RESUMO

As florestas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, atuando como grandes armazenadoras de carbono por meio de sua produtividade primária. Este trabalho tem como objetivos estudar a produtividade primária e o sequestro de carbono de uma porção do bioma Cerrado na bacia do Mogi-Guaçu, via técnicas de sensoriamento remoto durante o período de 2001 a 2015. Foram utilizados dados de produtividade primária do sensor MODIS e dados meteorológicos de temperatura do ar e precipitação do sensor MODIS e TRMM, respectivamente. A produtividade primária líquida apresentou um valor mínimo durante a primavera austral (18,9 % do total do período) e um máximo na transição entre o verão e outono (28,2 % do total do período). O cerrado se comportou como sumidouro de carbono durante o período estudado, mesmo com precipitação abaixo da média, o que evidencia a necessidade de preservação deste bioma.

Palavras-chave — Sequestro de carbono; produtividade primária; cerrado; MODIS.

ABSTRACT

Forests play an important role in mitigating climate change by acting as large carbon sinks through their primary productivity. The objective of this work is to study the primary productivity and the carbon sequestration of a portion of the Cerrado biome in the Mogi-Guaçu basin via remote sensing techniques during the period from 2001 to 2015. Data were used for the primary productivity of the MODIS sensor and meteorological data of air temperature and precipitation of the MODIS and TRMM sensor, respectively. The net primary productivity presented a minimum value during the austral spring (18.9% of the total period) and a maximum in the transition between summer and autumn (28.2% of the total period). Cerrado behaved as a carbon sink during the studied period, even with below-average precipitation, which evidences the need for preservation of this biome.

Key words — Carbon sequestration; primary productivity; Cerrado; MODIS.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das atividades antropogênicas tem ocasionado uma modificação da vegetação nativa, alterando o micro clima local e sua biodiversidade. Alterações globais do clima têm sido verificadas durante o último século, principalmente pelo aumento da temperatura média global do ar de 0,84 °C no período 1880-2017 [1]. A principal causa atribuída ao aquecimento global, de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC é o aumento de emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE na atmosfera, em especial o que tem se constatado desde o período pré-industrial até a atualidade. Destaca-se o gás carbônico (CO₂), um dos mais importantes GEE, que teve um aumento superior a 40% desde o período pré industrial. Além disso, o CO₂ participa dos processos de fotossíntese e respiração o que evidencia a sua importância para a vida no planeta Terra.

As florestas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, atuando como grandes armazenadoras de carbono por meio de sua produtividade primária. A produtividade primária bruta - GPP (do inglês *Gross Primary Production*) corresponde ao total de carbono fixado pela vegetação através do processo de fotossíntese. A GPP está diretamente relacionada ao carbono efetivamente extraído da atmosfera pelos diferentes ecossistemas terrestres. Segundo [2] as florestas são responsáveis pelo sequestro de 1/3 das emissões antropogênicas de carbono. A preocupação sobre o aumento da concentração de CO₂ vem impulsionado pesquisas sobre o sequestro deste gás por diferentes biomas.

O crescimento populacional, a busca por novas áreas para expansão agropecuária, a extração de madeiras, dentre outros fatores, tendem a aumentar a ocupação de terras sobre diferentes biomas brasileiros. Dentre estes biomas tem-se o Cerrado, que é o segundo maior bioma brasileiro, sendo menor apenas que a Floresta Amazônica [3]. Este bioma vem sofrendo com a ação antrópica desde a década de 1960, com a concessão de incentivos fiscais para projetos agropecuários na região Sudeste do país.

No estado de São Paulo grandes extensões da vegetação primária foram transformadas em agroecossistemas e a cana-de-açúcar passou a ocupar os solos mais férteis de áreas em que predominava o cerrado. Esta mudança no uso e cobertura do solo impactou as trocas de calor e massa que se ocorrem na camada limite planetária. Dentre esses fluxos, destaca-se uma perda líquida

de carbono da biomassa e diminuição do estoque de carbono no solo [4, 5]. Ao se avaliar a produtividade no bioma cerrado gera-se subsídio para melhor compreensão dos fatores que influenciam a sazonalidade da GPP e até mesmo, para promover a sustentabilidade destes ecossistemas.

Este trabalho tem como objetivo estudar a produtividade primária e o sequestro de carbono de uma porção do bioma Cerrado na bacia do Mogi-Guaçu, via técnicas de sensoriamento remoto durante o período de 2001 a 2015.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área estudada localiza-se no município de Santa Rita do Passa Quatro (21° 42' 37" S, 47° 28' 41" O, 748 m) no estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 1. Ela possui uma área de 754,9 km². O clima da região é tipicamente ameno e seco durante o inverno e quente e úmido durante o verão [7], com temperaturas médias mensais que variam entre 19 a 24 °C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1498 mm [8]. Na área de estudo há existência de uma reserva legal denominada Cerrado Pé-de-Gigante, que possui aproximadamente 1060 ha e faz parte do município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. A fisionomia predominante na área é de cerrado *stricto sensu*, com altura do dossel de aproximadamente 10 m, circundado por plantações de eucalipto, citrus e cana-de-açúcar [7].



Figura 1. Mapa de localização da área de Santa Rita do Passa Quatro - SP.

2.2. Dados de satélite

Foram utilizados dados do produto MOD17A2H do sensor MODIS referente ao período de 2001 a 2015 para a área de estudo. Esse produto disponibiliza a cada oito dias dados de produtividade primária bruta e líquida de ecossistemas terrestres para todo o globo. Essa série temporal foi obtida

da plataforma Google Earth Engine, disponibilizados pela NASA e serviço geológico dos EUA (LP DAAC).

A série temporal, entre 2001 e 2015, de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), produto 3B43V6, e de temperatura de superfície do MODIS, produto MOD11, foram obtidos da plataforma Series View da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE.

2.3. Estimativa da produtividade primária líquida

O produto MOD17A2H do sensor MODIS fornece dados de GPP (kg C m⁻² dia⁻¹) com base no conceito da eficiência do uso da luz de [9], que relaciona a fotossíntese bruta à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida pela vegetação. A produtividade primária líquida (NPP do inglês *net primary production*) é estimada da seguinte forma [10]:

$$NPP = GPP - R_m$$

onde NPP é a produtividade primária líquida em [kg C.m⁻²], GPP é a produtividade primária bruta em [kg C.m⁻²] e R_m é a respiração em [kg C.m⁻²].

Embora este produto esteja disponível para diversos ecossistemas terrestres, o mesmo apresenta algumas limitações como a resolução espacial de 500 m. Por sua vez, para a estimativa da produtividade primária bruta que utiliza-se dados de PAR, que são estimadas com base em dados de radiação solar global extraídos de dados de re-análises, na forma de um produto acumulado de 8 dias, podendo causar alguma incompatibilidade.

2.4. Análise da variabilidade temporal da produtividade primária líquida

A variabilidade temporal da NPP foi analisada espectralmente pela Transformada de Fourier. O teste não-paramétrico de Mann-Kendall foi utilizado para análise de tendência das séries temporais de NPP, temperatura do ar média anual e precipitação total anual. As periodicidades observadas na série de NPP foram relacionadas aos dados meteorológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall apontou ausência de tendências nas séries de dados de NPP, temperatura e precipitação. A hipótese nula de ausência de tendência foi aceita com um nível de significância de 0,05.

A análise de Fourier permitiu identificar o maior pico de intensidade associado a um período de 367 dias, que corresponde ao ciclo anual (Figura 2). Picos menores são observados em outras frequências (0,0654, 0,1555, 0,0872), podendo-se associar a períodos intra-sazonais (122, 51 e 92 dias).

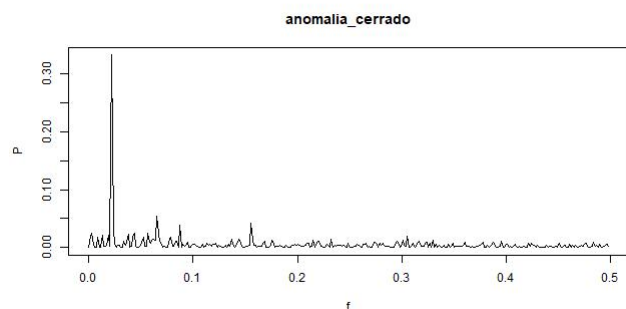


Figura 2. Periodograma dos dados de anomalia de NPP para o cerrado para o período de 2001 a 2015.

Uma análise sazonal indica maiores valores de produtividade ocorrendo no verão e outono (7 e $7,09 \text{ kg.C m}^{-2}$), diminuindo gradativamente no inverno ($6,23 \text{ kg.C m}^{-2}$) até atingir seu valor mínimo na primavera ($4,75 \text{ kg.C m}^{-2}$). Os índices pluviométricos desses períodos representam 50,6%, 20,7%, 5,2% e 23,5% da precipitação total anual, respectivamente. Por sua vez, as temperaturas médias foram iguais a 23,15, 23,48, 24,05 e 27,67°C.

Percebe-se uma sazonalidade na absorção do CO_2 , responde ao efeito da precipitação (Figura 3), por exemplo, os meses de janeiro e março e dezembro apresentam um alto percentual de absorção, como resposta ao alto volume de chuva do mês anterior. Esses resultados são semelhantes aos de outros estudos que indicam haver maior absorção de carbono no período chuvoso [11, 12]. Assim como os meses de setembro e outubro apresentam os menores percentuais de absorção devido aos meses de junho, julho e agosto terem menores volumes de precipitação.

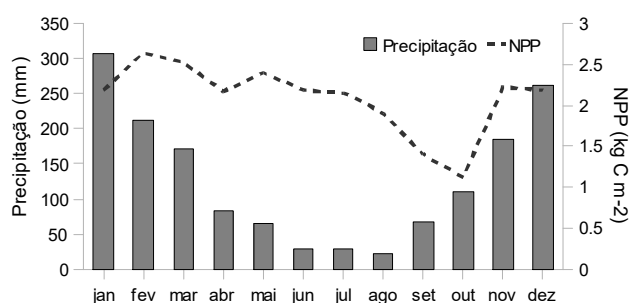


Figura 3. Precipitação (mm) e NPP (kg C m^{-2}), durante o período de 2001 a 2015.

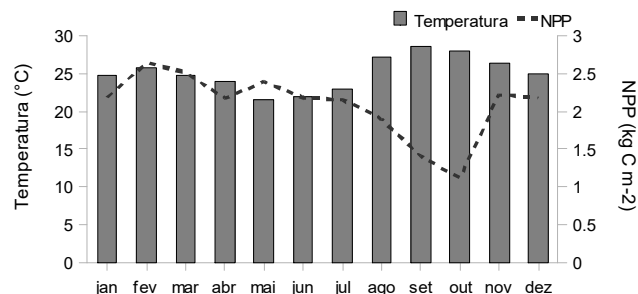


Figura 4. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e NPP (kg C m^{-2}), durante o período de 2001 a 2015.

No mês de outubro, o cerrado se comporta como fonte de CO_2 , sendo que a respiração é 27% superior à NPP (Figura 5). Nos demais meses, o cerrado comporta-se como sumidouro de carbono. Destaca-se que em maio e julho o cerrado apresenta maior eficiência na absorção de carbono, com a NPP sendo 64-69% superior à respiração. Estes são os meses de menor precipitação (Figura 3) e menores temperaturas (Figura 4), podendo-se inferir que a cobertura de nuvens também seja menor e, conseqüentemente, maior incidência de radiação fotossinteticamente ativa.

A área de estudo é representada por um vale com altitude nas bordas em média de 684 m acima do nível do mar, e no centro da área a altitude ser 624 m acima do nível do mar. Essas características podem contribuir para o acúmulo de umidade no solo, que por sua vez, contribui para uma maior eficiência na absorção de carbono, principalmente no período de inverno.

No balanço geral de carbono para o período de estudo, o cerrado comportou-se como sumidouro de CO_2 , mesmo com a ocorrência de anos em que a precipitação foi inferior a normal climatológica (2001, 2008, 2010, 2012, 2014 e 2015), evidenciando a importância desse bioma. Este padrão também foi observado por [13] em uma área de mangue na Índia com significativa importância para o estoque de carbono.

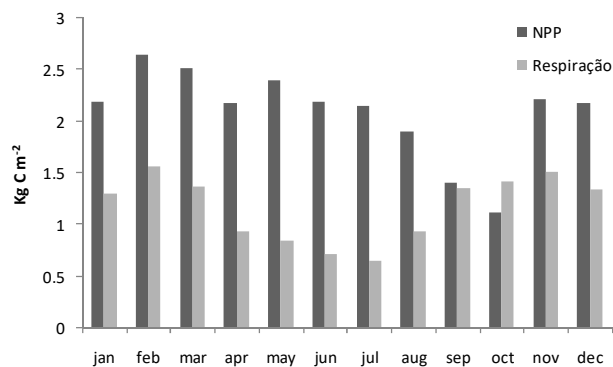


Figura 5. Respiração e NPP (kg C m^{-2}), durante o período de 2001 a 2015.

4. CONCLUSÕES

O ciclo anual de variabilidade da NPP estimada por satélite foi identificado como o mais significativo em uma área de cerrado no Estado de São Paulo. Variabilidades sazonais foram associadas ao regime de precipitação, sendo que a área de cerrado se comportou como um sumidouro de carbono no período entre 2001-2015. Este padrão foi observado mesmo com a ocorrência de precipitações abaixo da normal climatológica evidenciando a importância da preservação deste bioma.

5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001, pela concessão de bolsa.

6. REFERÊNCIAS

[1] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2017, published online January 2018, retrieved on August 2, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>.

[2] Canadell, J.G.; LE Quéré, C.; Raupach, M.R.; Field, C.B.; Buitenhuis, E.T.; Ciais, P.; Conway, T.J.; Gillett, N.P.; Houghton, R.A.; Marland, G. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* v. 104 (47), p. 18866-18870, 2007.

[3] Vourlitis, G.L.; Da Rocha, H.R. Flux dynamics in the Cerrado and Cerrado - Forest Transition of Brazil. In: *Ecosystem Function in Global Savannas: Measurement and Modeling at Landscape to Global Scales*. (eds. Hill, M.J. e Hanan, NP). Boca Raton, FL, USA, p. 97-116, 2010.

[4] Fearnside, F.M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, v. 28, p. 23-38, 2001.

[5] Gomes, H.F. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais, 119 p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

[6] GOMES, H. F. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais, 119p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

[7] Rocha, H.R.; Freitas, H.C.; Rosolem, R.; Juárez, R.I.N.; Tannus, R.N.; Ligo, M.A.; Cabral, O.M.R.; Dias, M.A.F.S. Measurements of CO₂ exchange over a woodlandsavanna (Cerrado *Sensu stricto*) in southeast Brasil. *Biota Neotropica*, v.2, n.1, p.1-11, 2002.

[8] Pires Neto, A.G.; Rocha, H.R.; Cooper, M. & Shida, C.N. Caracterização física do Cerrado Pé de Gigante e uso das terras na região—parte I: Fisiografia da região. In: Pivello & E. M. Varanda. *O Cerrado do pé-de-gigante: ecologia e conservação – parque estadual de vassununga*. Imprensa oficial do estado de São Paulo, secretaria do meio ambiente (SMA), São Paulo, p. 15 – 28, 2005.

[9] Monteith, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal of Applied Ecology*, v.9, p.747-766, 1972.

[10] Running, S., Mu, Q., Zhao, M. MOD17A2H MODIS/Terra Gross Primary Productivity 8- Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015.

[11] Santos, F.A.C. Estimativa dos fluxos de CO₂ e evapotranspiração em áreas de caatinga em recuperação e degradada no estado da Paraíba. 122f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

[12] Souza, M.C.; Biudes, M.S.; Danelichen, V.H.M.; Machado, N.G.; Demusis, C.R.; Vourlitis, G.L.; Nogueira, J.S. Estimation of gross primary production of the Amazon-Cerrado Transitional Forest by remote sensing techniques. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, p.1-12, 2014.

[13] Rodda, S.R.; Thumaty, K.C.; Jha, C.S.; Dadhwal, V.K. Seasonal Variations of Carbon Dioxide, Water Vapor and Energy Fluxes in Tropical Indian Mangroves. *Forests*, v.7, p.35, 2016.