

# Variabilidade espaçotemporal da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa em sistema silvipastoril

*Spatio-temporal variability of photosynthetically active radiation transmission in a silvopastoral system*

José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>1</sup>, Isabela Pedrino Maiello<sup>2</sup>, Nicolle Laurenti<sup>3</sup>, Giovana Maranhão Bettiol<sup>4</sup>, Cristiam Bosi<sup>5</sup>, Henrique Bauab Brunetti<sup>6</sup>, Alexandre Rossetto Garcia<sup>7</sup>, Alberto Carlos de Campos Bernardi<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, jose.pezzopane@embrapa.br

<sup>2</sup> Aluna de Graduação, Gestão e Análise Ambiental, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos (SP), Brasil, isabelapmaiello@gmail.com

<sup>3</sup> Aluna de Pós-Graduação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras (SP), Brasil, nicollelaurenti2@gmail.com

<sup>4</sup> Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina (DF), Brasil, giovana.bettiol@embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Paranavaí (PR), Brasil, cristiambosi@ufpr.br

<sup>6</sup> Pós-doutorando, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, henrique\_b\_brunetti@hotmail.com

<sup>7</sup> Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, alexandre.garcia@embrapa.br


<sup>8</sup> Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, alberto.bernardi@embrapa.br

## RESUMO

Sistemas silvipastoris (SSPs), que combinam árvores com pastagens, são uma alternativa para recuperação de pastagens degradadas e para a intensificação do manejo. Nesses sistemas, o manejo das árvores é necessário para manter níveis adequados de incidência de radiação solar, associando produtividade das pastagens e conforto térmico animal. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar variabilidade espaçotemporal da transmissão da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) em Sistema silvipastoril (SSP). O estudo foi desenvolvido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, em um sistema silvipastoril composto de pastagem capim Piatã, arborizada com árvores de eucalipto (clone GG100), plantadas em 2011 (espaçamento de 15 m × 2 m), desbastadas em 2016 (espaçamento de 15 m × 4 m) e desbastadas novamente em 2019 (espaçamento de 30 m × 4 m). O experimento foi dividido em três fases, de acordo com a diferença de espaçamento entre as árvores: Fase 1 (2013-2016), Fase 2 (2016-2019) e Fase 3 (2019-2022). A incidência de RFA sobre a pastagem foi obtida no SSP de maneira contínua, entre 2013 e 2022, com sensores quânticos acoplados a um datalogger. No SSP, as observações foram realizadas em posições perpendiculares ao renque de árvores. As transmissões nos diferentes pontos do SSP foram obtidas pela relação entre a incidência da RFA em cada ponto do SSP. Com os dados de transmissão da RFA, foram realizadas interpolações espaçotemporais, com a técnica do vizinho mais próximo, em bases mensais comparativas para as três fases do experimento. Dessas imagens, foram obtidas estatísticas da transmissão média da RFA no período de outubro a março pela técnica estatística zonal. Os resultados evidenciaram que, no período de primavera e verão, as menores transmissões ocorreram próximo ao renque das árvores, e que, no período de outono e inverno, baixas transmissões ocorreram na maior parte do sistema, em função da orientação das linhas de árvores. Após os desbastes ocorridos em 2016 e 2019, ocorreu um aumento na transmissão de RFA no SSP, especialmente no primeiro período de primavera-verão, que foi reduzindo-se ao longo dos anos, em função da influência do crescimento das árvores no sombreamento. As médias de transmissão da RFA nos períodos de outubro a março foram de 60,8% a 45,4% na Fase 1, de 63,6% a 48,9% na Fase 2 e de 72,2% a 65,1% na Fase 3. Dessa maneira, a técnica de interpolação espaçotemporal permitiu a caracterização da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa em sistema silvipastoril, a qual auxiliará no manejo do componente arbóreo.

**Palavras-chave:** interpolação; espacialização; geoprocessamento; sistema integrado; *Urochloa brizantha*; *Eucalyptus urograndis*.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000047>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

## ABSTRACT

Silvopastoral systems (SSP), combining trees and pasture, are an alternative for the recovery of degraded pastures, and for improved tree management. In these systems, tree management is necessary to maintain adequate solar radiation, associating pasture productivity and animal thermal comfort. Thus, this study sought to evaluate the spatio-temporal variability of photosynthetically active radiation (RFA) transmission in a silvopastoral system (SSP). The study was carried out at Embrapa Pecuária Sudeste, in São Carlos, SP in a silvopastoral system composed of Piatã grass, shaded with eucalypt trees (GG100 clone), planted in 2011 (15 x 2 m spacing) and thinned in 2016 (15 x 4 m spacing) and 2019 (30 x 4 m spacing). The experiment was divided into three phases, according to differences in tree spacing: Phase 1 (2013-2016), Phase 2 (2016-2019), and Phase 3 (2019-2022). The PAR incidence on the pasture was obtained continuously in the SSP from 2013 to 2022, with quantum sensors coupled to a datalogger. In the SSP, the observations were carried out perpendicular to the tree rows, and the transmissions in the different points of the SSP were obtained by the relationship between the PAR incidence. With the PAR transmission data, spatio-temporal interpolations were performed monthly by nearest neighbour method, throughout the 3 experimental phases. From these images, the average PAR transmission was obtained from October to March from the zone statistics. The results showed that in spring and summer, the lowest transmissions occurred near the tree rows and in the autumn and winter, low transmissions occurred in most of the system, due to the orientation of the tree lines. After tree thinning in 2016 and 2019, there was an increase in PAR transmission in the SSP, especially in the first spring-summer period, which diminished over time due to the influence of tree growth on shading. The PAR transmission averages from October to March were 60.8% to 45.4% in Phase 1, 63.6% to 48.9% in Phase 2 and 72.2% to 65.1% in Phase 3. As such, the spatio-temporal interpolation technique allowed characterizing the photosynthetically active radiation transmission in a silvopastoral system.

**Keywords:** interpolation; spatialization; geoprocessing; integrated systems; *Urochloa brizantha*; *Eucalyptus urograndis*.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das alternativas para a recuperação de pastagens degradadas está relacionada com a integração das atividades pecuária, lavoura e/ou floresta na mesma área, promovendo o aumento da sustentabilidade da propriedade rural (Balbino et al., 2011). Quando os sistemas de produção combinam árvores com pastagens, chamados Sistemas silvipastoris (SSPs), ocorre variabilidade da transmissão da radiação solar pelas árvores, o que pode impactar o potencial de produção das pastagens tropicais e o conforto térmico dos animais (Pezzopane et al., 2019; Pezzopane et al., 2020).

O conhecimento dos valores de transmissão da radiação solar, assim como da sua variabilidade no sistema, pode ser mapeado e as diferentes regiões podem ser delimitadas, utilizando técnicas de geoprocessamento em uma abordagem de Agricultura de Precisão (AP). A partir desse conhecimento, podem ser estabelecidas práticas de manejo distintas nessas áreas. Outra aplicação seria relacionada ao manejo das árvores no sistema, como o desbaste, para manter níveis adequados de incidência da radiação solar e de produtividade das pastagens (Reynolds et al., 2007; Nicodemo et al., 2016).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espaçotemporal da transmissão da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) em Sistema silvipastoril (SSP).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21°57' 42" S, 47°50' 28" W, 860 m), em um sistema silvipastoril composto de pastagem de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, arborizada com árvores de *Eucalyptus urograndis* clone GG100, plantadas em 2011 (espaçamento de 15 m x 2 m), desbastadas em 2016 (espaçamento de 15 m x 4 m) e desbastadas novamente em 2019 (espaçamento de 30 m x 4 m).

O experimento foi conduzido no período entre 2013 e 2022, sendo dividido em três fases, de acordo com a diferença de espaçamento entre as árvores: Fase 1 (2013-2016), Fase 2 (2016-2019) e Fase 3 (2019-2022) (Figura 1). A incidência da Radiação Fotossinteticamente Ativa sobre a pastagem foi obtida no SSP, de maneira contínua, com sensores quânticos lineares (Apogee, Logan, UT, USA), acoplados a um datalogger (CR3000; Campbell Scientific, Logan, UT, USA). No SSP, as observações foram realizadas em posições perpendiculares ao renque de árvores (transectos) (Figura 2), com cinco sensores nas fases 1 e 2, e nove sensores na Fase 3. As transmissões nos diferentes pontos do SSP foram obtidas pela relação entre a incidência da RFA em cada ponto do SSP com variações entre 0% e 100%.

Com os dados de transmissão da RFA, foram realizadas interpolações espaçotemporais, em bases mensais comparativas, para as três fases do experimento. As interpolações foram realizadas com o programa Arcgis, usando-se a técnica de interpolação vizinho mais pró-

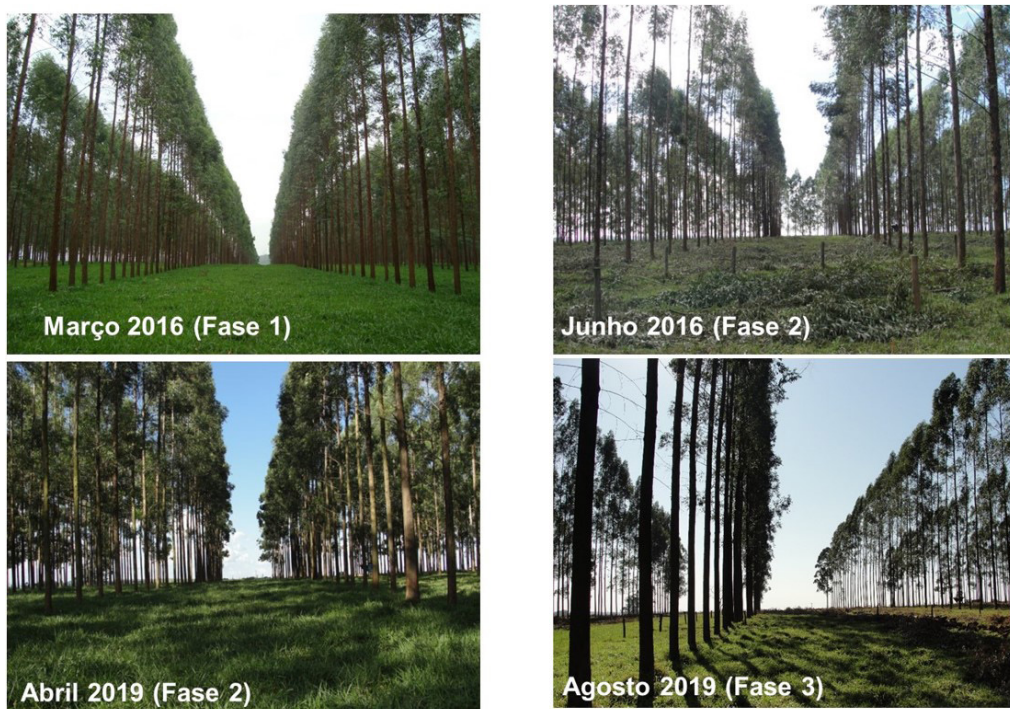


Figura 1. Fases do experimento: 1 (2013-2016), 2 (2016-2019) e 3 (2019-2022), em um Sistema silvipastoril com capim Piatã e eucaliptos, em São Carlos, SP. Fotos: J.R.M. Pezzopane.

ximo (Petri et al., 2016). A partir das imagens da transmissão da RFA no SSP, foi avaliada a transmissão média da RFA no período de outubro a março – período do ano mais significativo para o crescimento da pastagem – pela técnica estatística zonal do software Arcgis.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade espaçotemporal da transmissão da RFA durante as três fases do Sistema silvipastoril está apresentada na Figura 3. Observando-se o padrão de transmissão da RFA nas três fases, pode-se verificar que, no período de primavera e verão, as menores transmissões ocorreram próximo ao renque das árvores, ao passo que, no período de outono e inverno, baixas transmissões ocorreram na maior parte do sistema. Esse padrão foi observado em função da orientação das linhas (predominante Leste-Oeste) e do movimento aparente do sol, semelhante ao padrão observado por Bosi et al. (2020). A variabilidade espacial da incidência da radiação pode impactar os índices de conforto térmico animal (Pezzopane et al., 2019) e o potencial produtivo da pastagem (Pezzopane et al., 2020) nas diferentes posições do sistema.

Após os desbastes ocorridos em 2016 e 2019, ocorreu um aumento na transmissão de RFA nos sistemas, especialmente no primeiro período de primavera-verão. Nas fases 2 (Figura 3B) e 3 (Figura 3C), assim como já tinha ocorrido na Fase 1 (Figura 3A), foi verificada uma

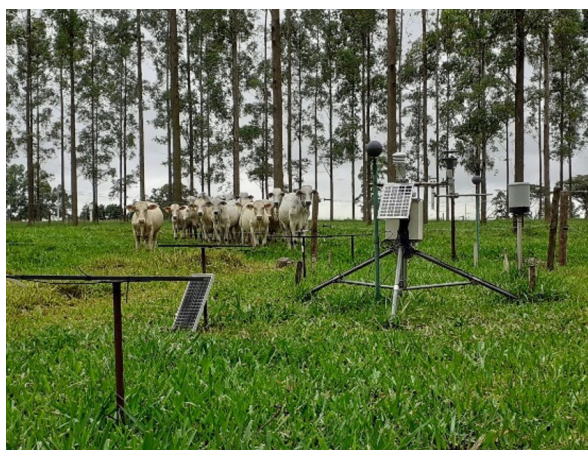
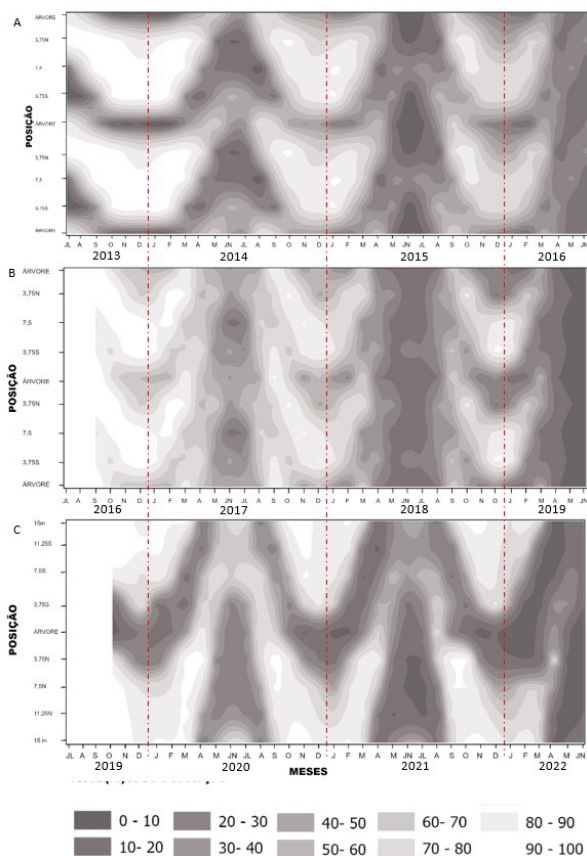


Figura 2. Disposição de sensores de medição de Radiação Fotossinteticamente Ativa em um Sistema silvipastoril com capim Piatã e eucaliptos, em São Carlos, SP. Foto: J.R.M. Pezzopane.

diminuição da transmissão ao longo dos anos, em função do crescimento das árvores impactando o sombreamento. Outros autores (Schumacher; Poggiani, 1993; Silva; Maia, 2013; Karvatte Júnior et al., 2016) também obtiveram alterações na incidência de radiação associadas a características morfológicas das árvores e densidade de plantio em Sistemas silvipastoris.

As médias de transmissão da RFA nos períodos de outubro a março, obtidas por meio da estatística zonal, foram de 60,8% a 45,4% na Fase 1, de 63,6% a 48,9% na Fase 2 e de 72,2% a 65,1% na Fase 3, evidenciando o efeito do manejo das árvores no sistema, que apre-



**Figura 3.** Variabilidade espaçotemporal da transmissão de Radiação Fotossinteticamente Ativa em um Sistema silvipastoril, durante os períodos de 2013 a 2016 (A), 2016 a 2019 (B) e 2019 a 2022 (C). Interpolação feita pelo método do vizinho mais próximo.

sentou média de transmissão na Fase 3 de 69,0%, de 56,0% na Fase 2 e de 53,3% na Fase 1.

#### 4 CONCLUSÕES

A técnica de interpolação espaçotemporal permitiu a caracterização da transmissão da Radiação Fotossinteticamente Ativa em Sistema silvipastoril, a qual auxiliará no manejo do componente arbóreo.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Projeto Rural Sustentável – Cerrado, parceria entre BID, Governo do Reino Unido, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e IABS, pelo financiamento do projeto e pagamento de bolsa a Nicolle Laurenti e Henrique Bauab Brunetti. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2016/02959-1), pelo financiamento parcial do projeto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fornecimento de bolsa a José Ricardo Macedo Pezzopane, Isabela Pedrino Maiello, Cristiam Bosi e Alberto Carlos de Campos Bernardi.

#### REFERÊNCIAS

- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura pecuária floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130p.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>.
- KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G.; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. O.; ALVES, F. V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 1-9, 2016 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5>.
- NICODEMO, M. L. F.; CASTIGLIONI, P. P.; PEZZOPANE, J. R. M.; THOLON, P.; CARPANEZZI, A. A. Reducing competition in agroforestry by pruning native trees. **Revista Arvore**, v. 40, p. 509-518, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300014>.
- PETRI, C. A.; MAZZUCO, G. G.; BETTIOL, G. M.; BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M. Comparação de métodos de interpolação para espacialização de dados de transmissão da radiação fotossinteticamente ativa em sistema silvipastoril. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTIFICA EMBRAPA SÃO CARLOS, 8., 2016, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2016. p. 41.
- PEZZOPANE, J. R. M.; NICODEMO, M. L. F.; BOSI, C.; GARCIA, A. R.; LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 103-111, 2019.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A.C.C.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, P. P. A.; BOSI, C.; PEDROSO, A. F.; ESTEVES, S. N. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agricola**, v. 77, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0150>.
- REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J. A.; THEVATHASAN, N. V.; ANDREW, M. G. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 362-371, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2006.09.024>.
- SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Caracterização microclimática no interior dos talhões de Eucalyptus camaldulensis Dehnh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell Local. em Anhembi, Sp. **Revista Ciencia Florestal**, v. 3, p. 9-20, 1993.
- SILVA, R.G.; MAIA, A.S.C. The environment. In: SILVA, R.G., MAIA, A.S.C. (eds). **Principles of Animal Biometeorology**. London: Springer, 2013. p. 1-38. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>.