

EFEITO DA COBERTURA DE DOSSEL NA COMUNIDADE ARBÓREA EM UMA ÁREA DE TRANSIÇÃO ENTRE CERRADÃO E FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECÍDUA

Gabriel Rezende Tiveron¹; Luís Felipe Guandalin Zagatto²; Veridiana de Lara Weiser^{1*}

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP – Faculdade de Ciências, Bauru/SP, Brasil; ²Universidade de São Paulo, USP - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba/SP, Brasil.

*Corresponding author: veridiana.weiser@unesp.br

Key words:

Woody Density;
Biodiversity;
Hemispheric Photogrammetry;
Luminosity.

ABSTRACT

The advancement of forest formations into savannas is a global phenomenon. In recent decades, woody encroachment has been frequent in the state of São Paulo, and several areas previously classified as woodland savanna are now considered ecotones between woodland savanna and semideciduous seasonal forest. One of the possible factors for this phenomenon is the increase in canopy cover provided by typical forest and generalist species, restricting the occurrence of savanna species that require greater sunlight exposure. Canopy cover estimation refers to the amount of area covered by tree canopies in a vegetation area and is crucial for assessing sunlight availability in the ecosystem. Our aim was to determine whether the canopy cover index in a transition area between woodland savanna and semideciduous seasonal forest affects the richness and abundance of the tree community. We measured the abundance of savanna, forest, and generalist species, as well as the average canopy cover during the dry and rainy seasons, in 50 permanent plots in a transition area between woodland savanna and semideciduous seasonal forest, located in Glebe II of the Aimorés Wildlife Refuge, in Bauru, middle-west region of São Paulo state, southeastern Brazil. Multivariate analyzes of correlation, regression, and clustering did not indicate significant results between average canopy cover and the richness and abundance of savanna species. However, we observed strong positive and negative correlations within the tree community, which may indicate a dynamic process of savanna species replacement. Woody encroachment in savanna regions has been widespread among the scientific community. However, the reasons for this phenomenon have not yet been elucidated. It is likely that several factors play a role in woody encroachment, and the main challenge lies in determining the influence of these factors and understanding the degree of interaction among them.

Palavras-chave:

Adensamento Lenhoso;
Biodiversidade;
Fotogrametria Hemisférica;
Luminosidade.

RESUMO

O avanço de formações florestais em savanas é um fenômeno global. Nas últimas décadas, o adensamento da vegetação tem sido frequente no estado de São Paulo e diversas áreas antes classificadas como cerradão, estão sendo consideradas ecótono entre cerradão e Floresta Estacional Semidecídua. Um dos possíveis fatores para esse fenômeno, trata-se do aumento da cobertura de dossel que as espécies típicas de floresta e generalistas proporcionam ao ambiente, restringindo a ocorrência das espécies típicas de cerrado, que necessitam de maior incidência de luz solar. A estimativa de cobertura de dossel refere-se à quantidade de área coberta pelas copas das árvores em uma área de vegetação e é crucial para avaliar a disponibilidade de luz solar no ecossistema. Nosso objetivo consistiu em verificar se o índice

de cobertura de dossel em uma área de transição entre cerrado e Floresta Estacional Semidecídua afeta a riqueza e abundância da comunidade arbórea. Mensuramos a abundância de espécies típicas de Cerrado, de Floresta Estacional Semidecídua e generalistas, e as médias de cobertura do dossel nas estações seca e chuvosa, em 50 parcelas permanentes em uma área de transição entre cerrado e Floresta Estacional Semidecídua, situada na Gleba II do Refúgio de Vida Silvestre Aimorés, em Bauru, região centro-oeste do estado de São Paulo, sudeste do Brasil. Análises multivariadas de correlação, regressão e agrupamento, não indicaram resultados significantes entre a cobertura média do dossel e a riqueza e abundância de espécies típicas de Cerrado. Entretanto, observamos fortes correlações, positivas e negativas entre a comunidade arbórea, que podem indicar um processo dinâmico de substituição das espécies de Cerrado. O adensamento lenhoso em regiões de Cerrado vem sendo difundido entre a comunidade científica. Todavia, os motivos desse fenômeno ainda não foram elucidados. É provável que vários fatores atuem na ocorrência do adensamento lenhoso, e o principal desafio consiste em determinar a influência desses fatores e compreender o grau de interação entre eles.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do país, com uma área original que ocupava 23,3% do território nacional (IBGE, 2019). Considerado a savana mais biodiversa do mundo (KLINK e MACHADO, 2005), compreende um terço da biodiversidade brasileira, cerca de 5% da fauna e flora mundial (BRIDGEWATER et al., 2004) e mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados endêmicos (STRASSBURG et al., 2017), sendo indicado como um dos *Hotspots* da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000; STRASSBURG et al., 2017).

O Cerrado perdeu aproximadamente 46% de sua cobertura vegetal nativa e, atualmente, apenas 19,8% permanece intacta (STRASSBURG et al., 2017). No estado de São Paulo, a cobertura vegetal nativa corresponde a 22,9% do seu território original, distribuída entre os Biomas Mata Atlântica (21,9%) e Cerrado (1%) (SÃO PAULO, 2020). Nas últimas décadas, o fenômeno de adensamento da vegetação tem sido frequente no estado (DURIGAN et al., 2004a; MENDONÇA e BITENCOURT, 2004; DURIGAN et al., 2012), com

evidências significativas de invasão lenhosa, em 19% da vegetação nativa remanescente do Cerrado (ROSAN et al., 2019). Diversas áreas antes classificadas como cerrado, estão sendo classificadas como ecótono entre cerrado e Floresta Estacional Semidecídua (DURIGAN e RATTER, 2006).

A cobertura do dossel de uma floresta altera as condições ambientais, principalmente a intensidade e a qualidade da luz, interferindo na dinâmica da comunidade florestal (OLIVEIRA-FILHO et al., 1998; BERG e SANTOS, 2003). Em regiões de transição, após uma perturbação ambiental, ocorre a regeneração das espécies típicas de cerrado e generalistas (DURIGAN et al., 2004b).

As espécies generalistas pioneiras podem ser colonizadoras mais bem sucedidas nos ambientes de cerrado com muita luz, facilitando o estabelecimento de outras espécies florestais (HENNENBERG et al., 2006), que crescem mais rápido do que as espécies típicas de cerrado, que necessitam de mais luz solar (HOFFMANN e FRANCO, 2003; ROSSATTO et al., 2009; FLAKE et al., 2022). Isso resultaria em um fechamento mais

rápido e completo do dossel, limitando ainda mais os indivíduos jovens de espécies de cerrado (GEIGER et al., 2011).

Dentro deste contexto, nosso objetivo consistiu em verificar se o índice de cobertura de dossel em uma área de transição entre cerradão e Floresta Estacional Semidecídua (FES) afeta a riqueza e abundância da comunidade arbórea.

METODOLOGIA

Realizamos a pesquisa na Gleba II do Refúgio de Vida Silvestre Aimorés, do Mosaico de Unidades de Conservação do Cerrado Paulista, que apresenta 280 hectares de cerradão, situada no município de Bauru, SP. Utilizamos 50 parcelas permanentes estabelecidas previamente e de maneira aleatória (WEISER, 2007), resultando em uma área de 0,5 ha descontínuo.

A partir da lista florística do último inventário arbóreo realizado nas mesmas 50 parcelas (FRANCISCO, 2020), classificamos as espécies como “típicas de Cerrado”, “espécies generalistas” e “espécies típicas de FES” (DURIGAN et al., 2004a; FLAKE et al., 2022). Determinamos a relação entre a estrutura do dossel e a comunidade arbórea estabelecida a partir de dados de fotogrametria hemisférica.

Nesse método, as fotografias hemisféricas são executadas com o auxílio de uma lente hemisférica com captura de 180° (lente fish-eye ou olho-de-peixe), que produz uma projeção circular semelhante ao hemisfério do céu. Capturamos três fotografias em cada parcela, a partir de um smartphone Apple Iphone 6S com câmera de 12 megapixel, sempre a um metro de altura do solo, nas

estações seca e chuvosa, das 7h às 10h da manhã, para evitar a exposição excessiva à luz solar e possível alteração dos resultados.

Utilizamos o software Gap Light Analyzer (GLA) 2.0 para realizar as estimativas do grau de cobertura do dossel. O GLA 2.0 divide a fotografia radialmente em círculos concêntricos equidistantes, de maneira que cada setor represente uma proporção igual do hemisfério.

A partir disso, o software obtém a informação de cobertura de dossel através do histograma da imagem em branco e preto, onde a porcentagem de tons pretos e brancos equivalem ao índice de cobertura de dossel e ao céu, respectivamente.

Desta forma, realizamos análises para as três fotografias de cada ponto amostral, obtendo três valores de índices de cobertura do dossel por ponto. Assim, calculamos a média dos três valores, obtendo o índice de cobertura média de dossel em porcentagem. Com os dados obtidos, realizamos análises estatísticas de correlação a partir do teste de Spearman, ajustando os valores por meio do método de Holm-Bonferroni.

A partir do teste de correlação de Spearman, realizamos a regressão e as análises de agrupamento, utilizando o escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS). Para verificar a diferença entre os grupos, efetuamos as análises de PERMANOVA e para o cálculo das distâncias, utilizamos a distância de dissimilaridade de Gower.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do *heatmap* da correlação de Spearman (**Figura 1**), constatamos que independente da estação, não há correlações significantes entre cobertura de dossel e riqueza em espécies, e cobertura de dossel e abundância de espécies. Entretanto, observamos correlações negativas significantes entre abundância de espécies típicas de Cerrado e abundância de espécies típicas de FES ($p < 0,001$), e entre riqueza em espécies típicas de Cerrado e riqueza em espécies típicas de FES ($p < 0,001$).

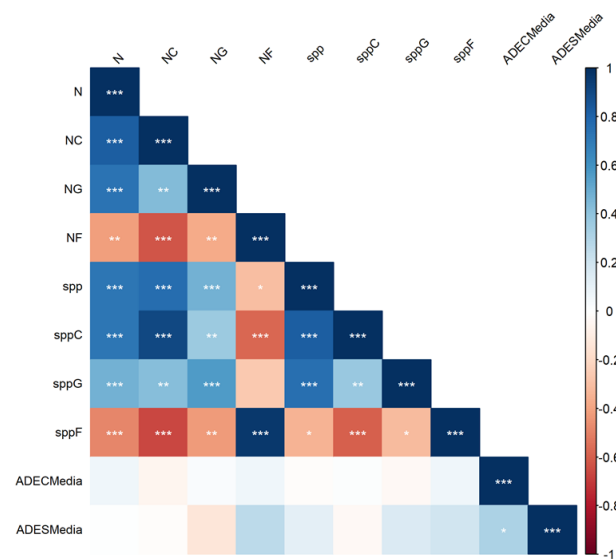


Figura 1. *Heatmap* de correlação de Spearman entre os componentes abundância, riqueza e cobertura de dossel. Asteriscos indicam o nível de significância (*= $p < 0,05$. **= $p < 0,01$. ***= $p < 0,001$). Legenda: N = abundância total, NC = abundância de espécies típicas de Cerrado, NG = abundância de espécies generalistas, NF = abundância de espécies típicas de FES, spp = riqueza em espécies, sppC = riqueza em espécies típicas de Cerrado, sppG = riqueza em espécies generalistas, sppF = riqueza em espécies típicas de FES, ADECMedia = índice de cobertura média de dossel na estação chuvosa e ADESMedia = índice de cobertura média de dossel na estação seca.

Verificamos correlações positivas significantes entre abundância de espécies típicas de Cerrado e abundância de espécies generalistas

($p < 0,001$), e entre riqueza em espécies típicas de Cerrado e riqueza em espécies generalistas ($p < 0,001$). Notamos correlações negativas significantes entre abundância de espécies típicas de FES e; abundância de espécies generalistas ($p < 0,01$), e entre riqueza em espécies típicas de FES e riqueza em espécies generalistas ($p < 0,05$).

Na NMDS, evidenciamos em ambas as estações, que parcelas com valores de índice de cobertura de dossel próximos não formam grupos (**Figura 2**), o que indica dissimilaridade entre as parcelas considerando as variáveis riqueza e abundância de espécies. Os valores do stress obtidos indicam um distúrbio razoável entre os valores dos dados originais e os que o modelo gerou, determinando a confiança do modelo gerado.

Os resultados das análises de PERMANOVA para verificar a diferença entre os grupos indicou que na estação chuvosa não houve diferença significativa ($p = 0,081$) entre os grupos enquanto na estação seca houve diferença significativa ($p = 0,039$). O método de obtenção indireta do índice de cobertura média do dossel a partir de fotografias hemisféricas, tem sido amplamente utilizado e se mostrado eficaz (GARCIA et al., 2007; MONTE et al., 2007; ŠPULÁK, 2008; SUGANUMA et al., 2008; SZWAGRZYK e SZEWCZYK, 2008; GLONČÁK, 2009; JARČUŠKA et al., 2010).

Entretanto, as análises não indicaram correlação estatisticamente significativa entre as variáveis índices de cobertura média do dossel nas estações seca e chuvosa e as variáveis riqueza e abundância de espécies típicas de Cerrado.

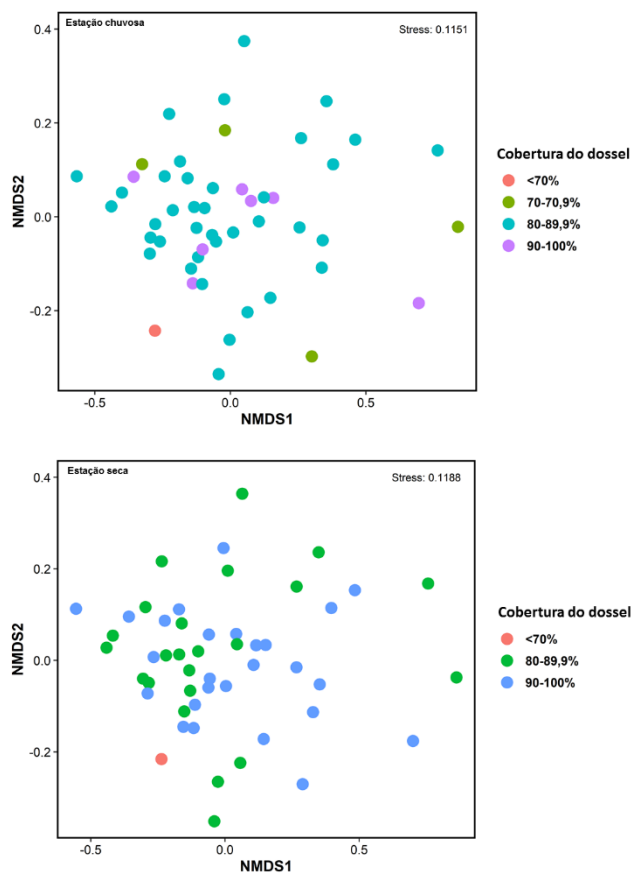


Figura 2. Análise de agrupamento utilizando escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) para ordenação dos fatores nas estações chuvosa e seca. O valor de stress indica relação entre a dissimilaridade dos dados originais com a dissimilaridade da ordenação encontrada.

Apesar disso, os resultados mostraram tendências significativas entre as correlações positivas, abundância de espécies generalistas e abundância total; riqueza em espécies generalistas e riqueza total, assim como correlações negativas entre abundância de espécies típicas de Cerrado e abundância de espécies típicas de FES; riqueza de espécies típicas de Cerrado e riqueza de espécies típicas de FES. Estas tendências podem indicar eventos de substituição de espécies de Cerrado por espécies generalistas e/ou espécies de FES (ABREU et al., 2017; FLAKE et al., 2021).

É provável que o aumento da cobertura do dossel e a mudança na composição das espécies não sejam processos independentes, e sim, processos multifatoriais, que atuem sinergicamente, reforçando um ao outro (ABREU et al., 2021), e que vários fatores atuem juntos para causar a invasão lenhosa, e a principal dificuldade, reside em quantificar a importância desses fatores e entender até que ponto eles interagem entre si (DEVINE et al., 2017). Contudo, não podemos descartar a possibilidade de a cobertura do dossel afetar a riqueza e a abundância de espécies.

CONCLUSÕES

Em área de transição entre cerrado e Floresta Estacional Semidecídua na Gleba II do Refúgio de Vida Silvestre Aimorés, a cobertura de dossel parece não ser o fator que afeta a riqueza e a abundância da comunidade arbórea. Outros fatores parecem determinar o adensamento da vegetação e a substituição de espécies típicas de Cerrado por espécies generalistas e/ou espécies típicas de Floresta Estacional Semidecídua.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da PROPE-UNESP ICSB nº 60710 e do Jardim Botânico Municipal de Bauru.

REFERÊNCIAS

Abreu, R.C.R.; Durigan, G.; Melo, A.C.G.; Pilon, N.A.L.; Hoffmann, W.A. Facilitation by isolated trees triggers woody encroachment and a biome shift at the savanna-forest transition. **Journal of Applied Ecology**, v. 58, n. 11, p. 2650-2660, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13994>

- Abreu, R.C.R.; Hoffmann, W.A.; Vasconcelos, H.L.; Pilon, N.A.L.; Rossatto, D.R.; Durigan, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701284>
- Berg, E. van den; Santos, F.A.M. Aspectos da variação ambiental em uma floresta de galeria em Itutinga, MG, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 83-98, 2003. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981745>
- Bridgewater, S.; Ratter, J.A.; Ribeiro, J.F. Biogeographic patterns, B-diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, n. 12, p. 2295-2317, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000047903.37608.4c>
- Devine, A.P.; McDonald, R.A.; Quaipe, T.; Maclean, I.M.D. Determinants of woody encroachment and cover in African savannas. **Oecologia**, v. 183, n. 4, p. 939-951, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3807-6>
- Durigan, G.; Franco, G.A.D.C.; Siqueira, M.F. A vegetação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo. p. 29-56. In: Bitencourt, M.D.; Mendonça, R.R. org. 2004. **Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo**. Annablume, Fapesp, São Paulo, SP, Brasil. 2004b.
- Durigan, G.; Ramos, V.S.; Ivanauskas, N.M.; Franco, G.A.D.C. **Espécies indicadoras de fitofisionomias na transição Cerrado-Mata Atlântica no estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, SP, Brasil. 2012.
- Durigan, G.; Ratter, J.A. Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962-2000. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, n. 1, p. 119-130, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960428606000357>
- Durigan, G.; Siquiera, M.F.; Franco, G.A.D.C.; Contieri, W.A. A flora arbustivo-arbórea do médio Paranapanema: base para a restauração dos ecossistemas naturais. p. 199-239. In: Vilas Boas, O.; Durigan, G. org. 2004. **Pesquisas em conservação de florestas e do meio ambiente**. Páginas e Letras, São Paulo, SP, Brasil. 2004a.
- Flake, S.W.; Abreu, R.C.R.; Durigan, G.; Hoffmann, W.A. Savannas are not old fields: functional trajectories of forest expansion in a fire-suppressed Brazilian savanna are driven by habitat generalists. **Functional Ecology**, v. 35, n. 8, p.1797-1809, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13818>
- Flake, S.W.; Honda, E.A.; Pilon, N.A.L.; Hoffmann, W.A.; Durigan, G. Not all trees can make a forest: tree species composition and competition control forest encroachment in a tropical savanna. **Journal of Ecology**, v. 110, n. 2, p. 301-312, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13820>
- Francisco, B.S. **Composição, estrutura e evolução temporal de um fragmento de cerrado no sudeste do Brasil**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Biociências - Interunidades) – Faculdade de Ciências e Letras de Assis, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Assis. 2020.
- Garcia, L.C.; Rezende, M.Q.; Pimenta, M.A.; Machado, R.M.; Lemos-Filho, J.P. Heterogeneidade do dossel e quantidade de luz no recrutamento do sub-bosque de uma mata ciliar no Alto São Francisco, Minas Gerais: análise através de fotos hemisféricas. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 99-101, 2007.
- Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Damasco, G.; Haridasan, M.; Franco, A.C.; Hoffmann, W.A. Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. **Journal of Vegetation Science**, v. 22, n. 2, p. 312-321, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-103.2011.01252.x>
- Glončák, P. Influence of light conditions on variability and diversity of field-layer vegetation in the mountain. **Acta Facultatis Forestalis Zvolen**, v. 51, suppl. 1, p. 69-83, 2009.
- Hennenberg, K.J.; Fischer, F.; Kouadio, K.; Goetze, D.; Orthmann, B.; Linsenmair, K.E.; Jeltsch, F.; Porembski, S. Phytomass and fire occurrence along forest-savanna transects in the Comoé National Park, Ivory Coast. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 3, 303-311, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405003007>
- Hoffmann, W.A.; Franco, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 3, p. 475-484, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00777.x>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2019.

Jarčuška, B.; Kucbel, S.; Jaloviar, P. Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap Light Analyser and WinScanopy. **Journal of Forest Science**, v. 56, n. 4, p. 147-153, 2010. DOI: <https://doi.org/10.17221/76/2009-JFS>

Klink, C.A.; Machado, R.B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 147-155. 2005.

Mendonça, R.R.; Bitencourt, M.D. A sustentabilidade do cerrado paulista. p. 121-127. In: Bitencourt, M.D.; Mendonça, R.R. org. 2004. **Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo**. Annablume, Fapesp, São Paulo, SP, Brasil. 2004.

Monte, M.A.; Reis, M.G.F.; Reis, G.G.; Leite, H.G.; Stocks, J.J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 769-775, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X200700060002>

Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>

Oliveira-Filho, A.T.; Curi, N.; Vilela, E.A.; Carvalho, D.A. Effects of canopy gaps, topography, and soils on the distribution of woody species in a Central Brazilian deciduous dry forest. **Biotropica**, v. 30, n. 3, p. 362-375, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1998.tb00071.x>

Rosan, T.M.; Aragão, L.E.O.C.; Oliveras, I.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Gloor, E.; Wagner, F.H. Extensive 21st-century woody encroachment in South America's savanna. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 12, p. 6594-6603, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL082327>

Rossatto, D.R.; Hoffmann, W.A.; Franco, A.C. Differences in growth patterns between co-occurring forest and savanna trees affect the forest-savanna boundary. **Functional Ecology**, v. 23, n. 4, p. 689-698, 2009.

São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal. **Inventário florestal do estado de São Paulo – Mapeamento da cobertura vegetal nativa**. Imprensa Oficial, São Paulo, SP, Brasil. 2020.

Špulák, O. Assimilation apparatus variability of beech transplants grown in variable light conditions of blue spruce shelter. **Journal of Forest Science**, v. 54, n. 11, p. 491-496, 2008. DOI: <https://doi.org/10.17221/57/2008-jfs>

Strassburg, B.B.N.; Brooks, T.; Feltran-Barbieri, R.; Iribarrem, A.; Crouzeilles, R.; Loyola, R.; Latawiec, A.E.; Oliveira Filho, F.J.B.; Scaramuzza, C.A.M.; Scarano, F.R.; Soares-Filho, B.; Balmford, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Suganuma, M.S.; Torezan, J.M.D.; Cavalheiro, A.L.; Vanzela, A.L.L.; Benato, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 377-385, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200020>

Szwagrzyk, J.; Szewczyk, J. Is natural regeneration of forest stands a continuous process? A case study of an old growth forest of the western Carpathians. **Polish Journal of Ecology**, v. 56, n. 4, p. 623-633, 2008.

Weiser, V.L. **Árvores, arbustos e trepadeiras do cerrado do Jardim Botânico Municipal de Bauru, SP**. 2007. 100 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.