

Restauração em ação: custo-efetividade do transplante de material vegetal para a recuperação da estrutura e diversidade de ecossistemas abertos do Cerrado

Palavras-Chave: restauração, custo-efetividade, cerrado

Autores(as):

Lavinia Antunes de Oliveira, IB – UNICAMP

Bethina Stein, IB - UNICAMP

Prof^(a). Dr^(a). Natashi Aparecida Lima Pilon, IB - UNICAMP

INTRODUÇÃO

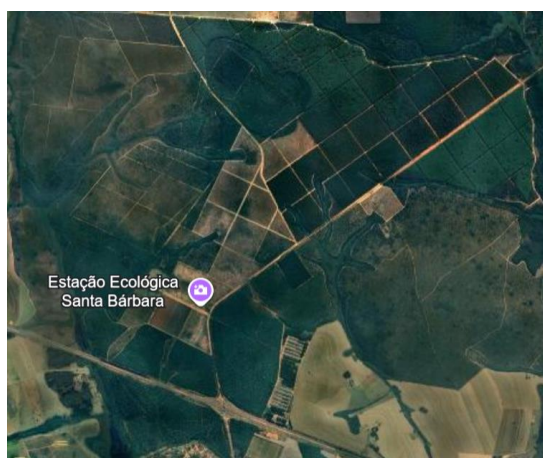
Os ecossistemas abertos, como campos e savanas, são negligenciados em relação ao desenvolvimento de estratégias de conservação e restauração (Veldman et al., 2015; Silveira et al., 2022), mesmo na atual Década das Nações Unidas (ONU) sobre Restauração de Ecossistemas (Dudley et al., 2020; Silveira et al., 2021). Diante desse cenário, essas áreas estão sendo convertidas progressivamente para regiões de expansão agrícola altamente mecanizada (Lapola et al., 2014), expansão florestal, mineração e urbanização (White et al., 2000). Nesse sentido, com a rápida degradação e ausência de intervenção, esses ecossistemas não conseguem recuperar suas funcionalidades, biodiversidade e estrutura (Pilon et al., 2023), principalmente porque a maioria das espécies vegetais se estabelecem lentamente em campos tropicais e savanas (Nerlekar & Veldman, 2020). Com isso, projetos de restauração desses sistemas têm sido implementados com a utilização de técnicas variadas, como transplante de material vegetal (Pilon et al., 2023), a semeadura direta (Pellizzaro et al., 2017), o plantio de mudas arbóreas (Buisson et al., 2019) e a regeneração passiva.

A técnica de transplante de material vegetal consiste na transferência de estruturas subterrâneas e plantas inteiras, associadas ao solo, de uma região conservada - local doador - para uma região em processo de restauração (Pilon et al. 2023). Apesar desse método ser o mais efetivo na reintrodução de todas as formas de crescimento (e.g., ervas, gramíneas, arbustos e subarbustos) em campos e savanas (Pilon et al. 2023), ele não é o mais utilizado nos processos de restauração devido à falta de conhecimento sobre custos e oportunidades (potencial áreas doadoras). Ademais, o custo-efetividade dessa técnica, assim como a comparação com outros métodos mais utilizados ainda não foram avaliados. Nesse sentido, é importante que as análises de custo-efetividade estejam alinhadas à ecologia da restauração, possibilitando a aplicação para além das pesquisas experimentais. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi elucidar o custo-benefício da técnica de transplante de material vegetal para ecossistemas abertos do Cerrado, além de fazer análises

comparativas com outras técnicas amplamente utilizadas. Para conciliar teoria e prática na conservação e restauração de ecossistemas (Buisson et al., 2019), este estudo visou responder: i) Qual o custo-efetividade da técnica, com relação à mão de obra e gastos relacionados? ii) Qual a diferença entre os valores do transplante e outras técnicas mais usuais? Esperamos que a técnica de transplante apresente maior efetividade (riqueza de espécies e estrutura do ecossistema) em relação aos grupos controles, porém que os custos dessa técnica serão maiores, quando comparados à semeadura direta e ao plantio de mudas. No entanto, em virtude da maior efetividade na recuperação da estrutura e diversidade de campos e savanas, torna-se uma opção com maior potencial de implementação.

METODOLOGIA

Local de estudo



O estudo foi realizado na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB) (22°46'41"S e 49°16'10"W), no sudeste do Brasil, São Paulo (figura 1). A área em processo de restauração foi utilizada como plantio de *Pinus sp.* até 2013. Antes do plantio, a região era ocupada por vegetação campestre do Cerrado. Em fevereiro de 2017, o transplante de material vegetal foi aplicado com a introdução de espécies nativas em uma área total de 3 hectares.

Figura 1: Imagem de satélite da EEcSB, fonte: Google Earth.

Análises de custos

Os custos do transplante de material vegetal foram obtidos a partir da coleta de dados na literatura e disponibilizadas pelo órgão local. Além do resgate dos custos, realizamos a atualização desses valores operacionais, incluindo a instalação e a manutenção da área em processo de restauração. Com relação aos custos da semeadura direta, do plantio de mudas arbóreas e da condução da regeneração natural, utilizamos como base os valores disponíveis na Portaria 118, de 03 de outubro de 2022, IBAMA.

Desenho amostral e coleta de dados em campo

Para avaliar o sucesso da técnica, foram estabelecidos: 4 transectos de 50 m de extensão, com a distância de 13 m da estrada (para evitar efeito de borda), e ao longo de cada linha foram adicionadas 6 parcelas de 1 m² com 10 m de distância entre elas. Adicionalmente, com relação à coleta da biomassa, entre as linhas L1 e L2, instalamos aleatoriamente uma parcela de 1 m², entre L2 e L3, duas parcelas de 1 m² e, entre L3 e L4, duas parcelas de 1 m². As áreas em que foram instaladas as parcelas são: (i) área em processo de restauração; (ii) área de controle *Pinus* (iii) área de referência e (iv) área de condução da regeneração

natural. Amostramos, nas 96 parcelas de 1 m², a riqueza de espécies, cobertura separada em graminoides e não graminoides, serrapilheira, o solo exposto e a cobertura total. As espécies foram separadas em “alvo” (espécies típicas de ecossistemas abertos do Cerrado e, portanto, alvo para a restauração) e espécies “não-alvo” (ruderais, exóticas ou florestais, portanto, que não são alvo para a restauração).

Após a coleta de dados, realizamos a análise de *effect size*, por meio da métrica *log response ratio* (LRR), no programa R (4.4.2) (R Core Team, 2024) para avaliar: a riqueza de espécie total, espécies *alvo*, espécies *não-alvo*, a cobertura de graminoides, não graminoides, serrapilheira, solo exposto e a biomassa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de transplante de material vegetal apresentou como resultado o valor de R\$ 15.921,42 por hectare, contendo os custos da remoção de espécie exótica invasora, queima prescrita, limpeza de área, retirada de capins e touceira da área doadora, plantio e manutenção (veja detalhes da ação de restauração em Durigan et al. 2020). Os custos encontrados na portaria 118 do IBAMA para semeadura direta foram de R\$15.561,00/ha, para o plantio de mudas de árvores típicas do Cerrado foram de R\$ 16.132,50/ha e para a condução da regeneração natural foram de R\$ 1.580,50/ha. Nesse sentido, observa-se que o plantio de árvores é a técnica mais onerosa, com um custo adicional de R\$ 211,08/ha em relação ao transplante de material vegetal. Além disso, o plantio favorece o adensamento da vegetação, principalmente por permitir o aumento da cobertura de copas em proporções maiores que o ecossistema de referência (Haddad et al. 2021). Por outro lado, a semeadura direta foi R\$ 360,42/ha menos onerosa que o transplante. No entanto, além de também aumentar a proporção de espécies arbóreas, favorece o crescimento de plantas ruderais nas áreas em processo de restauração. A condução da regeneração natural teve um custo 9 vezes menor que o transplante, sendo a técnica menos onerosa. Convém ressaltar que as espécies de savana e campos apresentam limitações na germinação e dispersão de sementes, inviabilizando a recuperação de toda a diversidade de formas de crescimento por meio das técnicas de semeadura direta e condução da regeneração natural (Pilon et al. 2023). A técnica com maior capacidade de recuperar espécies-chave para o ecossistema foi o transplante de material vegetal que, apesar de ter os custos mais elevados, mostrou-se eficaz no estabelecimento de gramíneas nativas do Cerrado – grupo que possui baixa taxa de sucesso quando introduzido por semeadura.

A partir dos dados coletados em campo e da realização das análises, a cobertura de graminoides mostrou-se semelhante ao ecossistema de referência ($51.67\% \pm 25.14\%$ DP) apenas nas áreas de condução da regeneração natural (RN) ($41.1\% \pm 27.8\%$ DP) e da restauração ativa (RA) ($38.46\% \pm 13.79\%$ DP). Diferentemente, a cobertura de não graminoides não apresentou similaridade à referência ($28.88\% \pm 20.93\%$ DP) em nenhuma das áreas, sendo a RN ($12.13\% \pm 19.64\%$ DP) a área com valores mais próximos. Além disso, nota-se que em todas as áreas a cobertura de serrapilheira ultrapassou os valores ideais do ecossistema de referência ($10.19\% \pm 9.65\%$ DP). O mesmo padrão ocorreu com a cobertura de solo exposto ($9.24\% \pm 8.57\%$ DP), exceto na área de controle *Pinus*, visto que a serrapilheira recobria

grande parte do solo ($98.38\% \pm 3.73\%$ DP), com ausência completa de espécies em algumas parcelas. Quanto à biomassa (g), apenas as áreas de RA (526.3 ± 214.14 DP) e RN (335.98 ± 238.69 DP) apresentaram valores significativos e próximos à referência (423.61 ± 33.75 DP).

Ademais, em relação à riqueza de espécies total (nº de espécies), nenhuma das áreas se aproximaram dos valores do ecossistema de referência (16.83 ± 3.32 DP), com a condução da regeneração natural (2.75 ± 1.33 DP) apresentando os maiores valores, seguido da restauração ativa (1.95 ± 0.91 DP). De maneira semelhante, em nenhuma das áreas estudadas a riqueza de espécies alvo atingiu níveis próximos à referência (15.38 ± 3.05 DP). No que se refere à riqueza de espécies *não-alvo*, a condução da regeneração natural (2.29 ± 0.99 DP) ultrapassou os valores de referência (1.46 ± 1.22 DP). Nesse sentido, observa-se que, apesar da riqueza total e da cobertura de gramíneas e não gramíneas da área de condução da regeneração natural ser maior, grande parte das espécies não são classificadas como alvo, sendo exóticas ou ruderais. Dessa forma, essa técnica mostra-se menos eficiente no processo de recuperação da diversidade, distanciando do objetivo da restauração ecológica de reconstituir as características-chave do ecossistema perdido (Campos et al., 2025).

CONCLUSÕES

O estudo contribui de forma significativa para avanços consideráveis em pesquisas e práticas de restauração, principalmente do ponto de vista econômico e na efetividade de uma técnica promissora. O transplante de material vegetal é a técnica com maiores custos, porém pode trazer de maneira mais eficiente espécies-chave para o *ecossistema em processo de restauração*, possibilitando a futura recuperação de uma complexidade estrutural e a composição da comunidade vegetal a pelo menos um nível mínimo (Campos et al., 2025). Dessa maneira, ao avaliar o nível de degradação do ambiente é fundamental integrar o conhecimento de técnicas eficientes e custos aplicáveis em larga escala.

REFERÊNCIAS

- Buisson, E., Le Stradic, S., Silveira, F., Durigan, G., Overbeck, G., Fidelis, A., Fernandes, G., Bond, W., Hermann, J.M., Mahy, G., Alvarado, S., Zaloumis, N. & Veldman, J. (2019). Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Reviews*. 94. 10.1111/brv.12470.
- Campos, B.H., Pilon, N. and Durigan, G. (2025), What to expect from restored Cerrado grasslands? Indicators and reference values from pristine ecosystems. *Restor Ecol*, 33: e70010.
- Dudley, N., Eufemia, L., Fleckenstein, M., Periago, M. E., Petersen, I., Timmers, J. F. (2020). Grasslands and savannas in the UN decade on ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 28(6), 1313–1317.
- Durigan et al. Invasão por *Pinus* spp: ecologia, prevenção, controle e restauração. São Paulo : Instituto Florestal, 2020. 63p
- Haddad, T. M., Pilon, N. A. L., Durigan, G., & Viani, R. A. G. (2021). Restoration of the Brazilian savanna after pine silviculture: Pine clearcutting is effective but not enough. *Forest Ecology and Management*, 491(August 2020), 119158.

- Lapola, D.M., Martinelli, L.A., Peres, C.A., Ometto, J.P.H.B., Ferreira, M.E, Nobre, C.A. et al. (2014) Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Climate Change* 4:27–35
- Nerlekar, A.N., Veldman, J.W. (2020). High plant diversity and slow assembly of old-growth grasslands. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 117:18550–18556.
- Pellizzaro, K. F., Cordeiro, A. O. O., Alves, M., Motta, C. P., Rezende, G. M., Silva, R. R. P., Ribeiro, J. F., Sampaio, A. B., Vieira, D. L. M., & Schmidt, I. B. (2017). “Cerrado” restoration by direct seeding: Field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. *Revista Brasileira de Botanica*, 40(3), 681–693.
- Pilon, N.A.L., Campos, B.H., Durigan, G., Cava, M.G.B., Rowland, L., Schmidt, I., Sampaio, A., Oliveira, R.S. (2023). Challenges and directions for open ecosystems biodiversity restoration: an overview of the techniques applied for Cerrado. *Journal of Applied Ecology* 60:849–858.
- R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Silveira, F. A. O., Ordóñez-Parra, C. A., Moura, L. C., Schmidt, I. B., Andersen, A. N., Bond, W., Buisson, E., Durigan, G., Fidelis, A., Oliveira, R. S., Parr, C., Rowland, L., Veldman, J. W., Pennington, R. T. (2021). Biome awareness disparity is BAD for tropical ecosystem conservation and restoration. *Journal of Applied Ecology*, 59,1967–1975.
- Silveira, F.A.O., Ordoñez-Parra, S.C.A., Moura, L.C., Schmidt, I.B., Andersen, A.N., Bond, W. et al. (2022) Biome awareness disparity is BAD for tropical ecosystem conservation and restoration. *Journal of Applied Ecology* 59:1967–1975.
- Veldman, J.W, Buisson, E., Durigan, G., Fernandes, G.W., Le Stradic, S., Mahy, G. et al. (2015) Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13:154–162.
- White, R.,Murray,S., Rohweder,M.(2000). Pilot Analysis of Global Ecosystems:Grassland Ecosystems. World Resources Institute, Washington D.C.