



Comparação de três técnicas de restauração ecológica a partir dos atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade

Julia Siqueira Tagliaferro de Oliveira¹

Bruno Santos Francisco²

Felipe Bueno Dutra³

Emerson Viveiros⁴

José Mauro Santana da Silva⁵

Fátima Conceição Márquez Piña-Rodrigues⁶

¹Graduanda em Ciências Biológicas Bacharelado, UFSCar Sorocaba (juliasto@estudante.ufscar.br),

^{2,3,4}Programa de pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, UFSCar Sorocaba

(brunofrancisco@estudante.ufscar.br, fbdutra@estudante.ufscar.br), ⁴AES Brasil

(emerson.viveiros@aes.com),

^{5,6}Departamento de Ciências Ambientais, UFSCar Sorocaba (jozemauro@ufscar.br, fpina@ufscar.br)

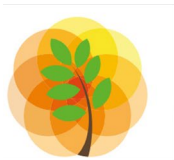
RESUMO: Para reduzir os impactos ambientais e as mudanças climáticas, é necessário desenvolver técnicas de restauração eficientes e meios para monitorar o sucesso destas, com o retorno de processos ecológicos. Neste trabalho avaliamos diferentes técnicas, comparando sua eficiência na restauração: o plantio em faixas (PF), o plantio convencional de mudas (PM) e regeneração natural (RN). No PF, estudou-se um plantio de 4,3 ha, com três anos de idade, com 1,5 m de espaçamento entre faixas, 2 m entre mudas; no plantio convencional (13,4 ha) com espaçamento 3 m x 2 m, aos cinco anos de idade, e dez áreas restauradas por regeneração natural (RN), com três anos de idade. A amostragem foi realizada em 36 blocos, totalizando 144 parcelas (15 PF, 11 PM e 10 RN). Para avaliação das funções ecológicas adotou-se um protocolo baseado em indicadores de estabilidade, resiliência e confiabilidade. A riqueza de espécies foi semelhante entre as áreas, porém a diversidade foi maior na área de RN ($H' = 3,0$), seguida por PF ($H' = 2,5$) e PM ($H' = 2,0$). A maior densidade foi registrada para PF que apresentou indicadores maiores de ciclagem de nutrientes e foi eficiente na recuperação de processos ecológicos precoces em relação aos demais.

Palavras-chave: funções ecológicas, atributos funcionais, indicadores, plantio em faixas.

Introdução

A restauração ecológica de áreas degradadas é identificada como alternativa-chave para o sequestro de carbono da atmosfera (Benini e Adeodato, 2017). Para enfrentar as questões ambientais e as mudanças climáticas, é necessário desenvolver técnicas de restauração mais eficientes e meios para monitorar o sucesso destas, com o retorno de processos ecológicos (Hobbs et al., 2011).

O método MESMIS (*Framework for the Assessment of Natural Resource Management Systems Incorporating Sustainability Indicators*), pode ser utilizado para avaliar a recuperação de funções ecológicas em diferentes modelos de restauração (Masera, Astier, López-Ridaura, 1999; Galetti et al., 2018). Baseia-se em indicadores de estabilidade e resiliência, ou seja, a capacidade do sistema de retornar ao equilíbrio ou manter o seu potencial produtivo após distúrbios, e na confiabilidade do sistema, definida como a capacidade de manter a produtividade em níveis próximos



ao seu equilíbrio no decorrer do tempo (López-Ridaura, Masera, Astier, 2002; Piña-Rodrigues et al., 2015; Galetti et al., 2018).

Nesse contexto, diante das demandas por métodos de restauração que recuperem com eficiência e rapidez as funções ecológicas de um ecossistema, comparamos os atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade em três diferentes métodos de restauração ecológica, o plantio convencional de mudas, a regeneração natural e o plantio em faixas.

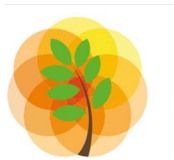
Material e métodos

O levantamento foi realizado em 21 áreas, totalizando 31,7 hectares, localizadas nos municípios de Borborema, entre 384-387m de altitude, e Itapira, a 954 m de altitude, ambos no estado de São Paulo, Brasil, utilizadas anteriormente como pasto para gado com capim (*Paspalum notatum* Flüggé). A região situa-se no domínio de Floresta Estacional Semidecidual, com clima tropical e pouca chuva no inverno, classificadas por Köppen como *Aw* - clima de savana. A temperatura média é de 22,2°C e a precipitação média anual é de 1,231 mm.

No estudo avaliou-se três diferentes modelos de plantio. No plantio em faixas (PF) foram distribuídas 8.600 mudas de 97 espécies arbustivas e arbóreas em uma área de 4,3 hectares e avaliadas aos três anos de idade. O plantio convencional de mudas (PM) com espaçamento 3 metros x 2 metros foi avaliado aos cinco anos em dez áreas com 22.455 mudas de 97 espécies, em 13,47 hectares. A condução de regeneração natural (RN) abrangeu dez áreas, aos 4 anos, ocupando cerca de 14 hectares. As coletas foram realizadas entre junho e julho de 2020, em 36 blocos com quatro parcelas em cada bloco, totalizando 144 parcelas, 15 blocos para PF, 11 blocos para PM e 10 blocos para RN. Todos os indivíduos arbóreos, ou seja, com fuste e copa bem definidos foram identificados e medidos em sua altura total e circunferência à altura do peito (CAP) para cálculo da área basal por hectare.

Para a aplicação do protocolo, cada espécie foi classificada em grupo sucessional (pioneira e não pioneira) de acordo com Barbosa et al. (2015). As árvores observadas foram avaliadas quanto à presença de trepadeiras e epífitas vasculares. A cobertura de dossel (%), cobertura com gramíneas exóticas (%), cobertura do solo com serapilheira, cobertura morta, plantas herbáceas, indivíduos em regeneração e gramíneas exóticas foram obtidas por meio de uma grade de 0,50 m x 0,50 m, subdividida em quatro quadrados de 0,25 m x 0,25 metros, lançados em três pontos de cada parcela (Piña-Rodrigues et al., 2015).

Para o cálculo da diversidade, foram utilizados o índice de *Shannon-Weaver* (H') e o índice de equabilidade de *Pielou* (J'). A densidade, área basal, riqueza de espécies e abundância dos grupos sucessionais foram calculadas de acordo com Barbosa et al. (2015).



Resultados e discussão

Nossos resultados mostraram diferenças nos valores dos indicadores analisados, nas três técnicas de restauração avaliadas (Tabela 1). O índice de diversidade de *Shannon-Weaver* ($H' = 3,0$) e o índice de equabilidade de *Pielou* ($J' = 0,76$) foram maiores para a técnica de regeneração natural (RN) e menores para plantio de mudas convencional (PM) ($H' = 2$; $J' = 0,48$). A técnica de plantio em faixas (PF) teve valores intermediários ($H' = 2,5$; $J' = 0,62$), provavelmente por ser um método que mescla o plantio de mudas e a manutenção da regeneração natural entre as faixas, contudo a maior diversidade foi constatada na RN.

A densidade de indivíduos foi similar entre as técnicas; entretanto, PM apresentou a menor e PF a maior, com aproximadamente 4.348 indivíduos por hectare. Em relação a diversidade funcional, notamos que o número de espécies pioneiras foi maior na técnica de regeneração natural, em comparação com os plantios (PF e PM), onde sua prevalência foi de espécies não pioneiras. Embora o PM tenha apresentado maior área basal, seguida do PF e por fim RN, deve-se considerar que o PM foi estudado aos cinco anos. Contudo, se considerarmos o incremento anual médio de AB, o PM ($1,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) foi similar ao PF ($1,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), indicando que em PF as plantas cresceram mais rapidamente do que no plantio por mudas e mesmo a RN ($0,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

Maiores áreas basais e maiores alturas podem estar relacionadas a indivíduos maiores na comunidade, influenciando no sombreamento dessa (Francisco, 2020), por isso, esperávamos que tanto o PM quanto o PF apresentassem maior porcentagem de cobertura de copa ($CC_{PM} = 88\%$; $CC_{PF} = 65\%$), em comparação à regeneração natural, o que foi efetivamente constatado. A cobertura do dossel também está relacionada ao sombreamento, impedindo com que gramíneas exóticas se estabeleçam (Galetti, et al 2018), o que pode ter contribuído para que os valores desse indicador fossem bem menores em PM (5%) e PF (5,9%). Embora para a cobertura do solo com serapilheira as áreas tenham se assemelhado, houve mais que o dobro de aporte (H_{SER}) em PF em relação às demais.



Tabela 1 – Valores obtidos para os indicadores dos atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade das áreas de restauração estudadas.

Atributos	Indicadores	PF	PM	RN
Estabilidade e resiliências	Diversidade de espécies			
	H'	2,5	2,0	3,0
	Riqueza (S)	55	55	47
	Densidade (d) ha	4348	4164	4300
	J'	0,62	0,48	0,76
	Ind/GE (%) - NP	51	55	33
	Ind/GE (%) - P	49	45	67
	Diversidade funcional			
	D(GE)(n°P)	27	25	31
	D(GE)(n°NP)	28	30	16
	AB (m ²) ha	5,06	7,72	0,22
	EPI	0	0	0
	CIP	1	1	1
Confiabilidade	Controle e Manejo			
	CC (%)	65	88	38
	GRAM (%)	5,9	5	45
	Proteção do solo e aporte de serapilheira			
	% herb	20,9	18	54
	% rege	23,75	37	10
	% mmort	76,3	58	58
	% ser	96,9	96	92
	H-ser	4,2	1,9	1,7

PF: plantio em faixas; PM: plantio de mudas convencional; RN: área com a condução de regeneração natural; H': índice de diversidade de *Shannon-Weaver*; S: riqueza de espécies; d: densidade de indivíduos/por hectare; J': índice de uniformidade de *Pielou*; Ind/GE: percentual de indivíduos/grupo ecológico; NP: não pioneiras; P: pioneiras; D (GE): diversidade de grupos ecológicos; AB: área basal; EPI: epífitas; CIP: trepadeiras; CC (%): cobertura de copas; GRAM (%): presença de gramíneas exóticas; % herb: porcentagem de plantas herbáceas; % rege: porcentagem de regenerantes; % mmort: porcentagem de matéria orgânica morta; % ser: porcentagem de serapilheira; H-ser: altura da serapilheira.

Conclusões

Todas as técnicas apontadas nesse estudo apresentaram seus benefícios para a restauração ecológica, porém a técnica de restauração por plantio em faixas se mostrou mais eficiente e promissora, justamente por se tratar de uma junção entre a utilização da condução de regeneração natural e o plantio convencional de mudas florestais.

Fatores associados à sustentabilidade ambiental ao longo do tempo (confiabilidade), foram os que mais diferenciaram essa técnica das demais áreas.



Referências bibliográficas

- BARBOSA, L.; SHIRASUNA, R.; CIRILO DE LIMA, F.; ORTIZ, P.; BARBOSA, K.; BARBOSA, T., 2015. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica, São Paulo, 344 pp.
- BENINI, R.M.; ADEODATO, S., 2017. O desafio econômico de recobrir o Brasil. In: Benini, R.M.; Adeodato, S. (Ed.), Economia da restauração florestal. The Nature Conservancy, São Paulo, pp. 8-19.
- FRANCISCO, B.S., 2020. Composição, estrutura e evolução temporal de um fragmento de Cerrado no sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru.
- GALETTI, G.; SILVA, J.; PIÑA-RODRIGUES, F.; PIOTROWISKI, I., 2018. Análise multicriterial da estabilidade ecológica em três modelos de restauração florestal. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), (48), 142-157. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180301>.
- HOBBS, R.J.; HALLETT, L.M.; EHRLICH, P.R.; MOONEY, H.A., 2011. Intervention ecology: Applying ecological science in the twenty-first century. Bioscience, v. 61, (6), 442-450. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.6.6>.
- LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. Ecological Indicators, v. 2, (1-2), 135-148. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2).
- MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIDAURA, S., 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. Mundiprensa/GIRA/UNAM, México, 103 pp.
- PIÑA-RODRIGUES, F.; SILVA, J.M.; PIOTROWSKI, I.; LOPES, G.R.; GALETTI, G.; FRANCO, F.S.; ALVARES, S.M.R., 2015. Protocolo de monitoramento de funcionalidade ecológica de áreas de restauração. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2324.1681>

