



CARLOS EDUARDO BATISTA DE OLIVEIRA

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE MATAS
CILIARES: UMA TRAJETÓRIA
AUTOSSUSTENTÁVEL APÓS 20 ANOS, É
POSSÍVEL?**

**LAVRAS – MG
2018**

CARLOS EDUARDO BATISTA DE OLIVEIRA

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE MATAS CILIARES: UMA
TRAJETÓRIA AUTOSSUSTENTÁVEL APÓS 20 ANOS, É POSSÍVEL?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho

Orientadora

**LAVRAS – MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oliveira, Carlos Eduardo Batista de.

Restauração ecológica de matas ciliares : uma trajetória
autossustentável após 20 anos, é possível? / Carlos Eduardo Batista
de Oliveira. - 2018.

64 p. : il.

Orientador(a): Soraya Alvarenga Botelho.

.
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Restauração florestal. 2. Avaliação e monitoramento. 3.
Meio ambiente. I. Botelho, Soraya Alvarenga. . II. Título.

CARLOS EDUARDO BATISTA DE OLIVEIRA

**RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE MATAS CILIARES: UMA
TRAJETÓRIA AUTOSSUSTENTÁVEL APÓS 20 ANOS, É POSSÍVEL?**

**ECOLOGICAL RESTORATION OF RIPARIAN FOREST: A SELF-
SUSTAINABLE TRAJECTORY AFTER 20 YEARS, IS IT POSSIBLE?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte de exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de março de 2018

Dra. Soraya Alvarenga Botelho UFLA

Dr. Israel Marinho Pereira UFVJM

Dra. Michele Aparecida Pereira Silva UFLA

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

**LAVRAS-MG
2018**

A todos que já saíram das suas casas, dos seus lares, da sua cidade natal, em busca do melhor para seu desenvolvimento pessoal e profissional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Maria Luiza, por sempre me apoiar e por todo amor incondicional e por entender que a distância faz parte da vida em certos momentos. Te amo!

À minha família, em especial minha avó Maria de Souza e minha tia Patrícia Lanoix, por todo incentivo e alegria nestes dois anos de mestrado.

Aos meus amigos goianos Lauro Tiago Neto, Gabriela Queluz, Victor Neves, Rayline Rezende, Tia Cida, Bruna Oliveira, Kellyane Martins, Álvaro Sales, Jeane Oliveira, Yuri Santos, Ananda Helena, Ana Carolina Cavalcanti, Rubiane, Monalisa, que por mais que estavam a 1.200 Km de distância, se faziam presentes.

À Flaviana Delmiro, vulgo rainha da África, mesmo sendo cabeçuda, me ajudou bastante durante todo este tempo de mestrado, desde conversas sem noção até ótimas dicas para o manuscrito.

Em especial à Gabriela Queluz e Lauro Tiago Neto, pelo companheirismo, por toda ajuda, por muitas conversas virtual e presencial. Estamos juntos desde 2010/2011, acredito que não tem mais como encerrar o contrato de amizade com estes dois, amo vocês. Meu muito obrigado!

À minha primeira família de Lavras/Minas Gerais Matheus Cordazzo, Kallil Zuri, Raphael Dinalli, Uasmim, Marília, Calil Gilbran, Otávio Augusto, Aparecida Consuelo e Demétrius, que me acolheram desde o início nesta nova jornada e afinal somos cachorros belgas! Meu muito obrigado!

Ao grupo Empadinhas 2.0 que é a segunda família em Lavras Clarissa de Moraes, Joelma de Paulo (870 vezes), Marcos Gabriel vulgo calouro, Michele (bom dia Michele) e Juliano Santos, as melhores pessoas do nosso amado Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF), no qual fazem as melhores confraternizações da firma e os que mais rendem academicamente.

Aos amigos que a pós-graduação pode me presentear no decorrer desta trajetória, Fernanda de Carvahó, Diana Suzete, Kmila, Rosi (Oh vidaaa), Michele Serqueira (Preta Pretinha), Maria Luiza Santos, Nayara Carvalho, Maria Lopes, Carlos Eduardo Teixeira (Cadu do Lucas) e Erika Massaro.

À equipe do Núcleo de Estudos em Silvicultura que contribuiu bastante na minha formação como pessoa e como profissional, trouxe pessoas sensacionais para minha vida, Gabriela Rodrigues (vulgo demogorgon), Marcos Gabriel, Fabryelli Araújo, Raiza Voltan, Rodolfo, Thalles Dias, Gilson (Gilsin), Manuela, João

Resende e Renata. Em especial para Gabriela Demogorgon e Calouro (Marcos Gabriel), pois são os mais sensacionais dessa Lavras, adoro vocês!

Aos meus primeiros orientados, Ana Clara Silva, Leony Ferreira, Júlia Mara e Raiza Voltan, desde trabalhos de iniciação científica, estágios e trabalhos de conclusão de curso do LASERF.

Ao Luiz Guilherme e Anísio Pereira, que me ajudou bastante com as correções da língua portuguesa no decorrer da escrita deste manuscrito e todo o apoio, foi fundamental.

Aos queridos professores Lucas Amaral, Soraya Alvarenga, Grisi, Marco Aurélio, Jacqueline Magalhães, com quem tive o prazer de compartilhar diversas aulas, ver o brilho nos seus olhos de estarem ali, querendo dar o melhor de si para a formação dos seus alunos.

À minha orientadora Prof^a. Soraya Alvarenga Botelho, desde o início do mestrado sempre apoiando para realizar trabalho com eficiência e na área que adoramos a restauração florestal, foi uma honra ser seu orientando.

À equipe de campo Zé Pedro, Mateus, Joelma de Paulo, Ana Clara Silva, Erika Massaro, Marcos Gabriel e Clarissa de Moraes, com certeza sem a ajuda de vocês este trabalho não poderia ser concluído. Foram muitas histórias nas duas saídas de campo, desde perdidos em quilômetros e mais quilômetros de canaviais, camionete furar os pneus, são histórias que fazem valer a pena todo investimento e desejo por pesquisar. Minha eterna gratidão.

Aos meus professores da Universidade Federal de Goiás Cleonice Borges, Fábio Venturoli, Sybelle Barreira e Francine Neves Calil, sempre tiveram um tempo para tirar dúvidas, e ajudar em algumas inquietações da vida de mestrando, profissional e pessoal.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsa do nível mestrado.

À Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG) por ter financiado junto a Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC) da UFLA o projeto “Restauração de ecossistemas ciliares no entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Volta Grande, MG, após 20 anos de implantação”, ao qual esta dissertação e futuros artigos científicos relacionados a esta pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por ter a oportunidade de realizar os estudos e pesquisa. A todos meu muito obrigado, e minha gratidão!

“O impossível é apenas uma grande palavra usada pelas pessoas, que preferem viver no mundo como ele está, em vez de usar o poder que tem para muda-lo, melhorá-lo. Impossível não é um fato. É uma opinião. Impossível não é uma declaração. É um desafio. Impossível é hipotético. Impossível é temporário. O impossível não existe”. (Muhammad Ali)

RESUMO GERAL

A restauração ecológica é uma das atividades mais executadas na busca de recuperar ecossistemas florestais degradados. A restauração passou a ser uma das metas mundiais para cumprir acordos para diminuir o CO₂ na atmosfera, e aumentar os serviços ecossistêmicos oferecidos. O processo de restauração precisa passar por avaliação e monitoramento contínuo para verificar sua atual trajetória na busca de um ecossistema autossustentável como meta final. O presente estudo teve como objetivo principal obter um diagnóstico do atual processo de restauração ecológica em ambientes ciliares a partir de seis atributos-chave ligados a composição, diversidade e funcionalidade destes ecossistemas em restauração, utilizando um ecossistema de referência. Para tanto, foram selecionadas duas áreas em restauração com 24 anos (A24a e A24b), duas áreas em restauração com 26 anos (A26a e A26b) e um ecossistema de referência (ER), localizados nos estados de Minas Gerais e São Paulo, as margens do Rio Grande. Para avaliação, foram selecionados seis atributos-chave da restauração ecológica segundo a Sociedade Internacional de Restauração Ecológica; para cada atributo foram selecionados três indicadores e para cada indicador foi selecionado no mínimo um verificador em campo. Os verificadores foram avaliados em parcelas permanentes em todas as áreas de estudo e realizado uma análise qualitativa dos dados obtidos, obtendo para cada indicador uma nota de um a cinco em relação ao ecossistema de referência. Como resultados principais, os atributos-chave Ausência de ameaças e Condições físicas em todas as áreas em restauração foram semelhantes aos do ER, evidenciando base para instalação de população florestal. Os atributos-chave Composição de espécies e Diversidade estrutural apresentaram valores baixos quanto à riqueza observada nos estratos arbóreos (EA) e regeneração natural (RN), como também a densidade total de indivíduos do EA. Nos atributos-chave de Trocas externas e função ecossistêmica, o ER apresentou a menor nota quanto à presença de espécies arbóreas no banco de sementes do solo, a época de coleta pode ter contribuído para esta avaliação. Já a densidade total da RN quanto à funcionalidade do ecossistema, no indicador resiliência e recrutamento, demonstrou-se baixo nas áreas em restauração. Todas as áreas em restauração apresentaram uma trajetória satisfatória, porém sem atingir a autossustentabilidade.

Palavras-chave: restauração florestal, avaliação e monitoramento, indicadores.

GENERAL ABSTRACT

Ecological restoration is one of the most accomplished activities in the search to recover degraded forest ecosystems. Restoration has become one of the global goals to meet agreements to reduce CO₂ in the atmosphere, and increase the ecosystem services offered. The restoration process needs to be evaluated and monitoring continuously to verify its current trajectory in the search for a self-sustaining ecosystem as the final goal. The present study had as main objective to obtain a diagnosis of the current process of ecological restoration in ciliary environments from six key attributes linked to the composition, diversity and functionality of these ecosystems in restoration, using a reference ecosystem. Two restoration areas with 24 years (A24a and A24b), two 26-year restoration areas (A26a and A26b) and a reference ecosystem (ER), located in the states of Minas Gerais and São Paulo, were selected river of the Rio Grande. For evaluation, six key attributes of ecological restoration were selected according to the International Society for Ecological Restoration; for each attribute, three indicators select and at least one field checker was selected for each indicator. The verifiers were evaluated in permanent plots in all study areas and a qualitative analysis of the obtained data was obtained, obtaining for each indicator a score of one to five in relation to the reference ecosystem. As key results, the key attributes Absence of threats and physical conditions in all areas under restoration were similar to those of RE, evidencing the base for forest population installation. The key attributes of species Composition and Structural Diversity presented low values regarding the richness observed in the arboreal strata (EA) and natural regeneration (RN), as well as the total density of individuals of the EA. In the key attributes of External Exchanges and Ecosystem Function, the ER presented the lowest note regarding the presence of tree species in the soil seed bank, the collection season may have contributed to this evaluation. However, the total density of the NB as the ecosystem functionality, in the indicator of resilience and recruitment, was shown to be low in the areas under restoration. All areas under restoration presented a satisfactory trajectory, but without achieving self-sustainability.

Keywords: indicators, evaluation and monitoring, restoration forestry.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| PRIMEIRA PARTE..... | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 MATAS CILIARES..... | 13 |
| 2.2 A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA | 14 |
| 2.3 AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO..... | 17 |
| 2.4 INDICADORES NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA | 19 |
| 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 22 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 23 |
| SEGUNDA PARTE – ARTIGO | 32 |
| ARTIGO 1 - AUTOSSUSTENTABILIDADE DE FLORESTAS RESTAURADAS COM MAIS DE 20 ANOS: É POSSÍVEL? | 32 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Água é vida. Os seres humanos vivem próximos de cursos d'água desde os primórdios da civilização humana. Entre uma das principais razões está o acesso a recursos naturais como: água para beber, agricultura, fontes alimentares, energia hidrelétrica e serviços recreativos (LARSEN, 2016). Estes processos ao longo do tempo atingiram as matas ciliares, as quais sofreram degradação e precisaram passar por processos de restauração ecológica.

A restauração ecológica de matas ciliares se insere no contexto de restauração de florestas em paisagem, para promover benefícios não só locais, mas, também, em larga-escala geográfica. Este processo vem ocorrendo em todo mundo na busca de conexão dos fragmentos com objetivo de recuperar a integridade ecológica e melhorar o bem-estar dos seres humanos provindos dos serviços destas paisagens florestais (SABOGAL; BESACIER; McGUIRE, 2015).

Uma fonte de preocupação para a ciência é o longo tempo que se leva para reverter um processo de degradação em uma floresta nativa. Processos que utilizam a regeneração natural como processo de restauração, podem exigir vários anos, ou várias décadas para a estabilização de uma floresta. Muitas vezes, estes processos podem demorar ainda mais, dependendo do bioma (COLE; BHAGWAT; WILIS, 2014).

No processo de restauração ecológica, espera-se que ao decorrer do tempo necessite-se cada vez menos intervenções humanas para perpetuação destas áreas (SER, 2004; McDONALD et al., 2016). Devido à importância que estes ambientes possuem, como filtros, função protetora do solo e fauna e corredores ecológicos, torna-se essencial um processo de qualidade e com metas que afetem

satisfatoriamente a composição, diversidade e funcionalidade deste ecossistema (FONSECA, 2013; MARTINS, 2014; BOTELHO et al., 2015).

Este processo pode ser conduzido utilizando a regeneração natural, quando possível, ou a artificial (plantio de mudas, semeadura direta, sistema de enriquecimento e outros). A regeneração natural sendo a mais indicada, observando sempre aspectos como: a resiliência do ambiente, diversidade e densidade da população, dispersão de fontes externas, banco de sementes do solo (McCONKEY et al., 2012; BOTELHO et al., 2015).

Após a implantação de um processo de restauração é necessário planejamento e realização de monitoramento para avaliar a eficiência da trajetória do ecossistema. Os resultados desejados da restauração ecológica devem ser acompanhados desde o início do projeto, identificando falhas e direcionando o processo para o ótimo da restauração (McDONALD et al., 2016).

Como chegar ao estado ótimo da restauração? Conhecendo a trajetória do ecossistema em processo de restauração a partir de um ecossistema de referência (SER, 2004; MORAES; CAMPELLO; FRANCO, 2010; McDONALD et al., 2016). A Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (Society for Ecological Restoration) considera que um ecossistema foi restaurado se este apresentar diversidade, estrutura e funcionalidade similares a um ecossistema de referência. Os ecossistemas de referência devem ser inseridos no mesmo contexto de paisagem (SER, 2004).

O presente estudo teve objetivo em obter um diagnóstico da atual trajetória de restauração ecológica em matas ciliares após 24 a 26 anos. Como objetivo específico, avaliar a seis atributos-chave de restauração ecológica definidos pela SER, para cada uma das áreas de estudo com 24 e 26 anos de implantação em matas ciliares no entorno do Rio Grande, nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MATAS CILIARES

Sabe-se que as florestas que se encontram ao longo de cursos d'água possuem características de vegetação específicas, muitas vezes devido a interações complexas que ocorrem no seu interior, apresentando heterogeneidade na composição e estrutura, tanto em escala local quanto geográfica (RIBEIRO FILHO; FUNCH; RODAL, 2009; RODRIGUES; SHEPHERD, 2009).

As matas ciliares proporcionam diversas funções ao ecossistema no qual estão inseridas. Podemos destacar o fluxo gênico entre áreas naturais por meio de corredores ecológicos, habitat para diversos grupos de animais e insetos, abrigo e alimento para grande parte da fauna aquática, controle de erosão dos solos, amenização de temperaturas, reabastecimento dos corpos d'água, e a proteção do solo contra processos erosivos (LIMA; ZAKIA, 2009; MEDRI et al., 2011; MARTINS, 2014; GARCIA et al., 2015, SANTIN; SILVA; GRZYBOWSKI, 2016).

Considerando como valiosos todos estes atributos das matas ciliares, estes ecossistemas são protegidos por leis e decretos, com objetivo de contribuir para sua conservação. Conforme a atual lei em vigor de proteção à vegetação nativa, a Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), as matas ciliares estão classificadas como áreas de preservação permanente (APPs), sendo descrita no artigo 4º:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Mesmo reconhecida a importância dos ambientes ciliares, muitos destes sofreram algum processo de degradação nos últimos tempos. Estes processos estão compreendidos entre a urbanização, construção de hidrelétricas, cultivo agrícola, pecuária, abertura de estradas e outros (RODRRIGUES; GANDOLFI, 2009; MARTINS, 2014; BOTELHO et al., 2015).

Quando os ambientes ciliares sofrem processos de degradação, a restauração ecológica surge como uma alternativa, sendo uma tentativa de fazer com que estes ecossistemas restaurem após um distúrbio sua composição, diversidade e funcionalidade.

2.2 A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

A restauração florestal se distingue de outras duas técnicas utilizadas para intervenção de áreas degradadas, a recuperação e a reabilitação.

Na figura 1, observa-se as diferenças existentes nestes três processos: a) **recuperação**: visa o restabelecimento da estrutura e produtividade da área degradada, utilizando espécies arbóreas (nativas e exóticas) ou não, para ao final alcançar benefícios do aspecto socioeconômico ou funcional (função protetora do ecossistema); b) **reabilitação**: restabelecer a estrutura, produtividade de alguma forma, mas não toda diversidade vegetal e animal originalmente existente. Ao longo do tempo, além da função protetora, podem ser estabelecidos alguns serviços ecológicos da floresta original; c) **restauração**: restabelece a estrutura, produtividade e diversidade de espécies da formação original. De médio a longo prazo, os processos e funções ecológicas devem assemelhar-se com a floresta original, sendo necessário um ecossistema de referência para esta área em restauração (LAMB; GILMOUR, 2003).

A restauração florestal consiste em restabelecer florestas e sistemas ecológicos para que se tornem biologicamente viáveis, não dependendo de intervenções humanas para sua perpetuação no ambiente (BRANCALION et al.,

necessário atentar-se para todas as possibilidades, buscando garantir a autossustentabilidade e integridade dessas áreas (HALLET et al., 2013; SHACKELFORD et al., 2013).

Para que o objetivo da restauração ecológica seja atingido nas áreas que estão passando por este processo, pode-se dar ênfase em quatro princípios básicos: (1) restauração a partir de informações do passado e do futuro – o conhecimento histórico, em suas diversas formas indica como os ecossistemas funcionavam no passado e podem fornecer potenciais trajetórias para o futuro (HIGGS et al., 2014), como guia para determinação de onde se pretende chegar com a restauração (BALAGUER et al., 2014; REIS; TRES; SCARIOT, 2007); (2) benefícios que envolvem a sociedade a partir da restauração – a recuperação da biodiversidade (ARONSON; ALEXANDER, 2013; SUGANUMA et al., 2013), que também fornece diversos serviços ecossistêmicos para a sociedade como a melhoria da qualidade de água, solos mais férteis, diversidade genética e sequestro de carbono (SHIMAMOTO; BOTOSSO; MARQUES, 2014; SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2015); (3) aumento da integridade ecológica - priorizando a complexidade das relações ecológicas, representação de grupos funcionais (MELO et al., 2015), a ocorrência de processos necessários para o funcionamento pleno do sistema ecológico (BRANCALION et al., 2010); (4) sustentabilidade da restauração – estabelecimento de sistemas autossustentáveis e resilientes (ASLAN et al., 2016; BROOKS; JORDAN, 2013), estabelecer contexto com sua paisagem local (TABARELLI et al., 2010) minimizando a intervenção humana a longo prazo (HOBBS et al., 2011); A restauração envolve as pessoas através da compreensão dos ecossistemas e seus benefícios para as comunidades humanas (GROOT et al., 2013).

A restauração ecológica deve assumir um papel de responsabilidade no restabelecimento dos processos ecológicos, através da inserção de espécies que

auxiliam no estabelecimento das florestas biologicamente viáveis, buscando favorecer a persistência da biodiversidade mesmo em paisagens antrópicas tropicais (RODRIGUES et al., 2009; TABARELLI et al., 2010).

Na verificação dos princípios e trajetória da restauração ecológica, com o intuito de ter conhecimento se o caminho segue a direção desejada, alguns atributos podem ser considerados, como: ausência de ameaças, condições físicas, composição de espécies, diversidade estrutural, funcionalidade dos ecossistemas e trocas externas com a paisagem (McDONALD et al., 2016).

2.3 AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO

A pesquisa em restauração florestal busca compreender e conseguir respostas sobre quais são as possíveis trajetórias que estes novos ecossistemas restaurados podem alcançar do seu estado perturbado ou degradado até o final da restauração, sendo esperadas três possíveis trajetórias: a) levará o ecossistema restaurado para um estado semelhante aos atributos de ecossistemas naturais/referência (WHITE; WALKER, 1997; SER, 2004); b) levará a estados de sucessão alternativas, diferindo dos ecossistemas naturais/referência no seu estado funcional (HOBBS; HIGGS; HARRIS, 2009); c) levará a novos ecossistemas que são diferentes na sua composição de espécies, porém com funcionalidade semelhante a ecossistemas naturais/referência (HOBBS; NORTON, 2004; HOBBS et al., 2006; LUGO, 2010).

A avaliação consta de diversas ações que são realizadas para verificar-se os objetivos propostos na restauração de uma área, foram ou não alcançados. A proposta é identificar as mudanças e desenvolvimentos locais e em sua volta, comparando com um ecossistema de referência e, a partir desta avaliação e monitoramento, estabelecer uma visão do que se espera do processo de restauração (BRANCALION et al., 2012; HOWELL; HARRINGTON; GLASS, 2012).

A partir da avaliação e monitoramento, será possível verificar se um ecossistema em restauração vai requerer ou não intervenções para atingir os processos sucessionais (HOLL; AIDE, 2011) e ainda buscar garantir estes processos sem desperdícios de tempo, trabalho e investimentos (RUIZ-JAEN; AIDE, 2005; FLORENTINE, 2008).

No processo de avaliação e monitoramento de áreas em restauração devem-se obter informações mais abrangentes, não focando apenas em estrutura ou fisionomia da comunidade inserida, mas demonstrar como está ocorrendo a reconstrução de processos ecológicos. Com isto, verificar se estes processos favorecem a dinâmica vegetal e formar condições para que estes novos ecossistemas sejam sustentáveis no tempo, como também na busca por cumprir com metas de biodiversidade local (RODRIGUES; GANDOLFI, 2009).

Os indicadores ecológicos são ferramentas utilizadas para o processo na restauração ecológica, pois irão fornecer informações sobre a condição de um determinado critério (RODRIGUES et al., 2009).

O monitoramento da evolução de comunidades restauradas requer o uso de bons indicadores lógicos, tornando possível a avaliação dos resultados e possíveis intervenções na restauração ecológica necessárias nas áreas (RUIZ-JAEN; AIDE, 2005).

Na busca de reconhecer os indicadores e verificar as respostas que esses podem proporcionar, muitos autores sugeriram alguns marcos metodológicos, como desenvolvimento de um índice para avaliação da recuperação de ecossistemas ciliares (REIS; DAVIDE; FERREIRA, 2014); monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica (BELLOTTO et al., 2009); proposta de procedimentos para avaliação da autossustentabilidade em projetos de restauração florestal (PEREIRA, 2011); protocolo de monitoramento da

composição, estrutura e funcionamento de restauração florestal (DURIGAN, 2011); avaliação e monitoramento de áreas restauradas (BRANCALION et al., 2012), indicadores de sucesso de restauração de áreas ripárias (SUGANUMA; DURIGAN, 2014) e, por último, os padrões internacionais para a prática da restauração ecológica (McDonald et al., 2016).

2.4 INDICADORES NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Os indicadores são um conjunto de informações que são utilizadas em áreas em restauração, visando avaliar o sucesso ou falha de um determinado processo, buscando a potencialidade dos resultados (JONES et al., 2010).

Em um projeto de restauração ecológica, os indicadores são empregados durante as etapas de avaliação e monitoramento. Essas são fundamentais no acompanhamento da restauração da área degradada, visando o potencial de sustentabilidade da mesma (BRANCALION et al., 2012).

Ao definir quais indicadores ecológicos serão utilizados na avaliação de uma área, é necessário manter-se atento para algumas características desejáveis, como: (1) facilmente mensurável, se expressando quantitativamente ou qualitativamente; (2) sensível ao estresse do sistema, podendo reconhecer as respostas perante distúrbios e ações antrópicas; (3) ser previsível, indicando mudanças no sistema ecológico, que possam ser evitadas por ações da gestão ambiental; (4) integrativo de forma a reunir parâmetros para fornecer informações ampliadas do sistema; (5) confiável, por apresentarem características com baixa variação e que possam ser cientificamente comprovável (DALE; BEYELER, 2001; VALLAURI et al., 2005; DOREN et al., 2009; DURIGAN, 2011).

Em ambientes em processo de restauração podem-se utilizar diversos indicadores ecológicos, na busca de uma resposta do sistema ecológico, considerando que várias características são inerentes de áreas específicas (MELO; DURIGAN, 2007). Devido a esses aspectos específicos de cada área, diversos

autores concordam que não existe um modelo de avaliação e monitoramento universal que se apliquem aos vastos tipos de ecossistemas ou mesmo formações florestais (RODRIGUES; GANDOLFI, 2009; BRANCALION et al., 2012).

Diversos indicadores são utilizados por autores que trabalham com esta temática de áreas de restauração. Os mais utilizados para avaliar a parte vegetacional são: o banco de sementes do solo que abriga espécies nativas visando conhecer a perpetuação da área (CUI et al., 2013; MARTINS et al., 2008; O'DONNELL; FRYIRS; LEISHMAN, 2016), florística e estrutura de estrato arbustivo arbóreo (MIRANDA NETO et al., 2012), dispersão das espécies florestais (SANSEVERO et al., 2011), epífitas e bromélias (GOODE; ALLEN, 2009), quantificação de espécies invasoras (PILON; DURIGAN 2013), vários estudos utilizam a regeneração natural como indicador de restauração florestal (DARONCO; MELO; DURIGAN, 2013; FERREIRA et al., 2010).

Outros indicadores são utilizados, como os edáficos, com destaque em atividade enzimática do solo. A eficiência dessa atividade enzimática está relacionada à fertilidade do solo, a nutrição das plantas e ao ciclo da matéria orgânica (RODRIGUEZ-LOINAZ et al., 2008), diminuição na produção de substâncias húmicas (SPACCINI et al., 2006), uso da serapilheira para detectar alterações temporais (SPERANDIO et al., 2012; CORREIA et al., 2016; SOUZA et al., 2016).

Wiggering et al. (2006) explicam que a restauração não deve conter apenas indicadores de composição de espécies, diversidade estrutural e/ou funcionalidade, mas também indicadores socioeconômicos, pois é um dos princípios de sustentabilidade destas áreas. Pesquisas e trabalhos técnicos em restauração também precisam pensar como avaliar e monitorar características socioeconômicas que estes novos ecossistemas vêm trazendo em ordem local e regional.

Sabe-se que são diversos os indicadores ecológicos utilizados na etapa de avaliação e monitoramento da restauração ecológica e quando forem definidos, estes devem basear-se dos objetivos a serem assumidos pelo projeto de restauração. Assim, os objetivos orientarão a escolha dos indicadores, refletindo se os condicionantes para restauração da área estão ou não sendo cumpridos (DALE; BEYLER, 2001; SER, 2004; BRANCALION et al., 2012).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração ecológica, na última década, é a opção mais utilizada para reverter processos em ambientes degradados ou perturbados, na busca de aumentar áreas reflorestadas, principalmente em ambientes ripários. Esse processo deve não só resolver um problema de presença de indivíduos arbóreos, mas trazer a este ambiente em processo de restauração a funcionalidade esperada de uma floresta nativa.

Os projetos que utilizam da restauração ecológica devem realizar as etapas de avaliação e monitoramento constantemente na busca de corrigir possíveis erros de implantação. A avaliação e monitoramento podem ser realizados de diversas formas, sendo recomendada a utilização de atributos e/ou indicadores e/ou verificadores que avaliam a composição, diversidade e funcionalidade do ecossistema.

Muitas áreas em restauração têm sido acompanhadas apenas com avaliações locais de vegetação ou cobertura do solo, sem muito conhecer a interação deste ecossistema que está sendo formado com animais, rede hidrológica e com possíveis produtos que podem ser manejados adequadamente e outros aspectos.

O uso de indicadores ecológicos para avaliar questões chave definidas em projeto de restauração, torna-se uma ferramenta fundamental para pesquisas e até

mesmo órgãos de fiscalização e controle ambiental, como forma de verificar a atual trajetória destes ecossistemas em restauração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONSON, J.; ALEXANDER, S. Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p.293-296, 18 fev. 2013.

ASLAN, C. E. et al. Leveraging nature's backup plans to incorporate interspecific interactions and resilience into restoration. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 4, p.434-440, 16 fev. 2016.

BALAGUER, L. et al. The historical reference in restoration ecology: Re-defining a cornerstone concept. **Biological Conservation**, v. 176, p.12-20, ago. 2014.

BELLOTTO, A. et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: Instituto Bioatlântica, 2009. Cap. 3. p. 126-146. Disponível em: <<http://www.pactomataatlantica.org.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

BOTELHO, S. A. et al. Restauração de Matas Ciliares. In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. (Eds.) **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: Editora UFLA, 2015, Cap. 9, p.433-475.

BRANCALION, P. H. S. et al. Instrumentos legais podem contribuir para restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.455-470, 2010.

BRANCALION, P. H. S. et al., Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. (Org.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa: Editora UFV, p.262-293, 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19

de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BROOKS, W. R.; JORDAN, R. C. Restoring Tropical Dry Forest Communities: Effects of Habitat Management and Outplantings on Composition and Structure. **Restoration Ecology**, v. 22, n. 2, p.160-168, 12 ago. 2013.

COLE, L. E. S.; BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. J. Recovery and resilience of tropical forests after disturbance. **Nature Communications**, v.5, n. 3906, p. 207-226. 2014. DOI: 10.1038/ncomms4906.

CORREIA, et al., Estoque de serapilheira em floresta em restauração e em floresta em restauração e em floresta atlântica de tabuleiro no sudeste brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v.40, n.1, p.13-20, 2016.

CUI, N. et al. A field study on seed bank and its potential applications in vegetation restoration of a polluted urban river in China. **Ecological Engineering**, v. 60, p.37-44, nov. 2013.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v. 1, n. 1, p.3-10, ago. 2001.

DARONCO, C.; MELO, A. C. G.; DURIGAN G. Ecosistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região do Cerrado, Assis, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v.40, n.3, p.485-498, 2013.

DOREN, R. F. et al. Ecological indicators for system-wide assessment of the greater everglades ecosystem restoration program. **Ecological Indicators**, v.19, n.6, p.2-16, nov. 2009.

DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. In: **Cadernos da Mata Ciliar**, São Paulo, n.4, p11-39, 2011.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Orgs.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2008, cap. 1, p. 01-26.

FERREIRA, W. C. et al. Regeneração natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p.651-660, 2010.

FLORENTINE, S. K. Species persistence and natural recruitment after 14 years in a restoration planting on ex-rainforest land in north-east Queensland. **Ecological Management & Restoration**, Weinheim, v. 9, n. 3, p.217-224, dez. 2008.

FONSECA, F. (Coord.) **Manual de restauração florestal**: um instrumento de apoio à adequação ambiental de propriedades rurais do Pará. Belém: TNC, 2013, 128p.

GARCIA, P. O. et al. Florestas ciliares apresentam dinâmica uniforme? In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. (Org.). **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**: 25 anos de experiência em matas ciliares. Lavras: Ufla, 2015. Cap. 1. p. 33-63.

GOODE, L. K.; ALLEN, E. M. F. Seed germination conditions and implications for establishment of an epiphyte, *Aechmea bracteata* (Bromeliaceae). **Plant Ecology**, v.204, n.1, p.179-188, 2009.

GROOT, R. S. de et al. Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. **Conservation Biology**, v. 27, n. 6, p.1286-1293, 20 set. 2013.

HALLETT, L. M. et al. Do We Practice What We Preach? Goal Setting for Ecological Restoration. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p.312-319, 26 fev. 2013.

HIGGS, E. et al. The changing role of history in restoration ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.12, n.9, p. 499-506, 2014.

HOBBS, R. J. et al. Intervention Ecology: Applying Ecological Science in the Twenty-first Century. **Bioscience**, v. 61, n. 6, p.442-450, jun. 2011.

HOBBS, R. J. et al. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology and Biogeography**, v.15, p.1-7, 2006.

HOBBS, R. J.; HIGGS, E.; HARRIS, J. A. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. **Trends In Ecology & Evolution**, v. 24, n. 11, p.599-605, nov. 2009.

HOBBS, R. J.; NORTON, R. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology And Biogeography**, v. 15, n. 1, p.1-7, jan. 2004. Wiley-Blackwell.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology And Management**, v. 261, n. 10, p.1558-1563, 2011.

HOWELL, E. A.; HARRINGTON, J. A.; GLASS, S. B. **Introduction a Restoration Ecology**. Washington: Island Press, 2012. 183 p. Disponível em: <https://islandpress.org/resources/9781597261890_Howell_instructor_manual.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2017.

JONES, J. P. G. et al. The Why, What, and How of Global Biodiversity Indicators Beyond the 2010 Target. **Conservation Biology**, v. 25, n. 3, p.450-457, 2010.

LAMB, D.; GILMOUR, D. **Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests**. Cambridge: Issues In Forest Conservation, 2003. 122 p. WWF e IUCN. Disponível em: <https://cmsdata.iucn.org/downloads/rehabilitation_and_restoration_of_degraded_forests.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2017.

LARSEN, Mc. Contemporary human uses of tropical forested watersheds and riparian corridors: ecosystem services and hazard mitigation, with examples from Panama, Puerto Rico, and Venezuela. **Quaternary International**, v. 448, p.190-200, 2016.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.de F. (Ed.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. Cap. 3. p. 33-43.

LUGO, A. E. Let's Not Forget the Biodiversity of the Cities. **Biotropica**, [s.l.], v. 42, n. 5, p.576-577, 20 jul. 2010. Wiley-Blackwell.

MARTINS, S. V. et al. Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p.1081-1088, dez. 2008.

MARTINS, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**: No contexto do novo código florestal. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 219 p.

McCONKEY, K. R. et al. Seed dispersal in changing landscapes. **Biological Conservation**, n.146, p.1-13, 2012.

McDONALD, T. et al. International Standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. Washington:SER. 48p. 2016.

MEDRI, C. et al. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botânica Brasilica**, Feira Santana, v. 25, n.2, p.445-454, 2011.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.73, p. 101-111, 2007.

MELO, A. C. G. de. et al. Tree espécies attributes and facilitation of natural regeneration in heterogeneous planting of riparian vegetation. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.43, n.106, p.333-344, jun. 2015.

MENZ, M. H. M.; DIXON, K. W.; HOBBS, R. J. Hurdles and Opportunities for Landscape-Scale Restoration. **Science**, [s.l.], v. 339, n. 6119, p.526-527, 31 jan. 2013.

MIRANDA NETO, A. et al. Florística e estrutura do estrato arbustivo-arbóreo de uma floresta restaurada com 40 anos, Viçosa, MG. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p.869-878, out. 2012.

MORAES, L. F. D. de; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, v.14, n.2. p. 437-451, 2010.

O'DONNELL, J.; FRYIRS, K. A.; LEISHMAN, M. R. Seed banks as a source of vegetation regeneration to support the recovery of degraded rivers: A comparison of river reaches of varying condition. **Science Of The Total Environment**, v. 542, p.591-602, jan. 2016.

PEREIRA, G. M. **Proposta de procedimento para avaliação da autossustentabilidade em projetos de restauração florestal**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.99, p.389-399, set. 2013.

REIS, A.; TRES, D. R.; SCARIOT, E. C., Restauração na Floresta Ombrófila Mista através da sucessão natural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.55, p.67-73, jul/dez. 2007.

REIS, D. N. dos; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, D. F. Indicadores preliminares para avaliação da restauração em reflorestamentos de ambientes ciliares. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.34, n.80, p.375-389, 2014.

RIBEIRO-FILHO, A. A.; FUNCH, L. S.; RODAL, M. J. N. Composição florística da floresta ciliar do rio Mandassaia, Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.60, n.2, p. 265-276, 2009.

RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.142, p.1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Eds) **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2009, Cap. 15, p.235-247.

RODRIGUES, R. R.; SHEPHERD, G. J. Fatores Condicionantes da Vegetação Ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F.(Eds) **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2009. Cap. 6. p. 91-108.

RODRÍGUEZ-LOINAZ, G. et al. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native-mixed-oak forests. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, n.1, p.49-60, 2008.

RUIZ-JAÉN, M. C.; AIDE, T. M. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. **Forest Ecology And Management**, v. 218, n. 1-3, p.159-173, 2005.

SABOGAL, C.; BESACIER, C.; McGUIRE, D. Forest and landscape restoration: concepts, approaches and challenges for implementation. **Unasylvia**, Roma, v. 66, n. 245, p.3-10, 2015.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Natural regeneration in plantations of native trees in lowland Brazilian Atlantic Forest: community structure, diversity, and dispersal syndromes. **Restoration Ecology**, v.19, n.3, p.379-389, 2011.

SANTIN, F. M.; SILVA, R. V. da; GRZYBOWSKI, J. M. V. Artificial neural network ensembles and the design of performance-oriented riparian buffer strips for the filtering of nitrogen in agricultural catchments. **Ecological Engineering**, v. 94, p.493-502, 2016.

SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. **The SER international primer on ecological restoration**. Disponível em: <<http://www.ser.org>>. 2004. Acesso em: 10 out. 2016,

SHACKELFORD, N. et al. Primed for Change: Developing Ecological Restoration for the 21st Century. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p.297-304, 28 fev. 2013.

SHIMAMOTO, C. Y.; BOTOSSO, P. C.; MARQUES, M. C. M. How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 329, p.1-9, out. 2014.

SILVA, H. F. et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p.943-953, 1 dez. 2015.

SILVA, R. G. et al. Avaliação do Processo de Restauração de Área de Preservação Permanente Degradada no Sul de Minas Gerais. **Rev. Agro. Amb.**, v. 9, n. 1, p.147-162, 31 mar. 2016.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v.344, n.6182, p.363-364, abr. 2014.

SOUZA, et al. Funcionalidade ecológica de sistemas agroflorestais biodiversos : uso da serapilheira como indicador da recuperação de áreas de preservação permanente. **Floresta**, Curitiba, v.46, n.1, p.75-82, jan/mar. 2016.

SPACCINI, R. et al. Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia. **Geoderma**, v.132, n.1, p.9-19, 2006.

SPERANDIO, et al. Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de sistemas de restauração florestal em Alegre-ES. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.460-467, 2012.

SUGANUMA, M. S. et al. Ecosistemas de referência para restauração de matas ciliares: existem padrões de biodiversidade, estrutura florestal e atributos funcionais?. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p.835-847, out. 2013.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 3, p.238-251, 2014.

TABARELLI, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p.2328-2340, out. 2010.

VALLAURI, D. et al. Monitoring and Evaluating Forest Restoration Success. In: MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D.; DUDLEY, N. (Eds) **Forest Restoration in Landscapes**: beyond planting trees. New York: Springer, 2005, p. 150-158.

WHITE, P. S.; WALKER, J. I. Approximating Nature's Variation: selecting and using reference information in restoration ecology. **Restoration Ecology**, v. 5, n. 4, p.338-349, dez. 1997.

WIGGERING, H. et al. Indicators for multifunctional land use – linking socio-economic requirements with landscape potentials. **Ecological Indicators**, v.6, n.1, p.238-249. 2006.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

**ARTIGO 1 - AUTOSSUSTENTABILIDADE DE FLORESTAS
RESTAURADAS COM MAIS DE 20 ANOS: É POSSÍVEL?**

Carlos Eduardo Batista de Oliveira

Soraya Alvarenga Botelho

AUTOSSUSTENTABILIDADE DE FLORESTAS RESTAURADAS COM MAIS DE 20 ANOS: É POSSÍVEL?

SELF-SUSTAINABILITY OF RESTORED FORESTS OVER 20 YEARS: IS IT POSSIBLE?

RESUMO

Alcançar ecossistemas restaurados resilientes, biodiversos e autossustentáveis vem sendo um padrão dos esforços da restauração ecológica. O objetivo deste estudo foi avaliar a autossustentabilidade de áreas em processo de restauração florestal há mais de 20 anos, indicando sua atual trajetória ecológica por meio de um ecossistema de referência base. Foram analisados seis atributos-chave da restauração ecológica, por meio de 18 indicadores de restauração florestal, a partir de 26 verificadores em campo em quatro áreas restauradas com 24 e 26 anos, tendo como base o ecossistema de referência. Cada indicador obteve uma nota de 1 a 5 de acordo com os verificadores, pontuados a partir de um ecossistema de referência. Foi realizada a “roda da recuperação” e verificado o atual ponto da restauração destas áreas. Na avaliação dos seis atributos-chave da restauração, pode-se verificar que as áreas em restauração apresentaram bom desenvolvimento quanto à ausência de ameaças, condições físicas, composição de espécies e trocas externas, indicando evidência do desenvolvimento da estrutura da comunidade e início de processos ecossistêmicos. Os atributos-chave que necessitam de atenção são aqueles em que a função ecossistêmica e diversidade estrutural demonstram a necessidade de ações corretivas na busca de melhorar os indicadores como resiliência/recrutamento, densidade do povoamento e cobertura do dossel. Aos 24 e 26 anos de restauração, as áreas em estudo ainda não atingiram a autossustentabilidade, necessitando do estabelecimento de manejo adaptativo, como também as ações de mitigação das ameaças.

Palavras-chave: restauração ecológica, ecossistema de referência, indicadores, verificadores, roda de recuperação, avaliação e monitoramento.

ABSTRACT

Reaching resilient, biodiverse and self-sustaining restored ecosystems has been a standard of ecological restoration efforts. The objective of this study was to evaluate the self - sustainability of areas in the process of forest restoration for more than 20 years, indicating its current ecological trajectory through a base reference ecosystem. Six key attributes of ecological restoration were analyzed through 18 forest restoration indicators from 26 field checkers in four restored

areas, 24 and 26 years old, based on the reference ecosystem. Each indicator scored 1 to 5 according to the verifiers, punctuated from a reference ecosystem. The "recovery wheel" was carried out and the current point of restoration of these areas was verified. In the evaluation of the six key attributes of the restoration, it can be verified that the restoration areas showed good development in terms of absence of threats, physical conditions, species composition and external trade, indicating evidence of community structure development and beginning of ecosystem processes. Key attributes that need attention are the ecosystem function and structural diversity, demonstrating the need for corrective actions in the search to improve indicators such as resilience / recruitment, population density and canopy cover. At 24 and 26 years of restoration, the areas under study have not yet reached self-sustainability, necessitating the establishment of adaptive management, as well as threats mitigation actions.

Keywords: restoration ecology, reference ecosystem, indicators, verifiers, recovery wheel, avaluation and monitoring, sustainable.

INTRODUÇÃO

A restauração ecológica de ecossistemas degradados vem sendo reconhecida como uma das atividades de maior importância para solucionar a crise da biodiversidade global e aumento dos serviços ecossistêmicos (REY BENAYAS et al., 2009; MENZ; DIXON; HOBBS, 2013). A restauração do ecossistema deve ser realizada com alto padrão, na busca pela verdadeira compensação da biodiversidade ou por satisfazer a promessa de auxiliar na conservação das comunidades. Este processo pode demorar desde alguns anos até várias décadas, sendo que altos padrões de restauração só podem ser alcançados com considerável auxílio científico (SUDING, 2011; MENZ; DIXON; HOBBS, 2013; COLE; BHAGWAT; WILIS, 2014).

O propósito em restabelecer interações bióticas, ciclos biogeoquímicos, processos e fluxos ecológicos em áreas em processo de restauração, deve ser maior que somente obter o retorno estrutural de um conjunto de espécies (STANTURF et al., 2014). A Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (Society for Ecological Restoration), considera que um ecossistema foi restaurado se este apresentar diversidade, estrutura e funcionalidade similares a um ecossistema de referência (SER, 2004; McDONALD et al., 2016; CLEWELL; ARONSON, 2017). Em um contexto mundial sobre avaliação do sucesso ecológico da restauração florestal, observou-se que poucos projetos avaliaram em conjunto a composição, estrutura e funcionalidade destes novos ecossistemas (WORTLEY; HERO; HOWES, 2013; SAAVEDRA; ECHEVERRIA; NELSON, 2017).

Os resultados desejados da restauração ecológica devem ser acompanhados desde o início do projeto, identificando falhas e direcionando o processo para o ótimo da restauração (McDONALD et al., 2016). O ótimo da restauração pode ser alcançado a partir da avaliação e monitoramento realizados com eficácia, dado o grande investimento de tempo, esforço e recursos financeiros envolvidos neste processo (HOBBS; KRISTJANSON, 2003). Embora a avaliação e monitoramento seja a atividade mais recomendada para avaliar o sucesso da restauração, medidas ou indicadores de sucesso ainda não foram especificamente identificados ou resumidos para ecossistemas florestais (WORTLEY; HERO; HOWES, 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a autossustentabilidade de florestas em processo de restauração após 24 e 26 anos de sua implantação, indicando sua atual trajetória por meio de atributos-chave do ecossistema de referência.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

O plantio para a restauração florestal de matas ciliares, que é objetivo deste estudo, foi implantado nos anos de 1991 e 1993. Foram selecionadas cinco áreas com diferentes tamanhos, das quais quatro estão em processo de restauração e um é fragmento nativo como ecossistema de referência. Essas áreas encontram-se situadas às margens do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Volta Grande, localizadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

O clima predominante na região é Aw – clima tropical com estação seca de inverno, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A precipitação anual média de 1206,1mm, com chuvas distribuídas em média de 92 dias do ano. Possui duas estações bem definidas, a chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), altitude média de 503 m a 556 m e temperatura média de 23,7°C (FUJAÇO; LEITE, 2016). A vegetação original das áreas de estudo é Floresta Estacional Semidecidual, localizadas em transição dos domínios Cerrado e Mata Atlântica (SCOLFORO; MELLO; SILVA, 2008; IBGE, 2012). As caracterizações detalhadas das áreas são apresentadas na tabela 1.

Para coleta de dados foram realizadas expedições em campo entre os meses de julho e setembro de 2017. Os dados foram obtidos em parcelas permanentes nas áreas de estudo, sendo para as áreas A26a, A24a e A24b com 10 parcelas, a A26b com 6 parcelas e ER com 5 parcelas.

Foram utilizadas parcelas no formato retangular com 10 m de largura, já que a medida de comprimento varia de acordo com a largura da faixa do plantio (TABELA 1) com áreas de 233 m² a 382 m² abrangendo desde a margem do curso d'água até a borda oposta do fragmento, conforme metodologia proposta por Ferreira (2009).

Tabela 1: Caracterização das áreas de plantio de Matas Ciliares, avaliadas sob o processo de restauração, as margens do reservatório da Usina Hidrelétrica Volta Grande nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Table 1: Characterization of the Riparian Forest plantations, evaluated under the restoration process, the banks of the reservoir of the Volta Grande Hydroelectric Power Plant in the states of Minas Gerais and São Paulo.

| Área | Idade (anos) | LMFP (m) | Área Plantio (ha) | Município/Estado | Classificação do solo | Coordenada geográfica |
|------------------|--------------|----------|-------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| A24 ^a | 24 | 23,3 | 2,7 | Miguelópolis/SP | Latossolo roxo | 20°9'59.38"S 48°2'32.43"O |
| A24b | 24 | 25 | 2,29 | Águas Compridas/MG | Latossolo roxo | 20°5'52.28"S 48°9'2.47"O |
| A26a | 26 | 38,2 | 1,87 | Conceição das Alagoas/MG | Neossolo flúvico | 20°1'39.41"S 48°13'14.02"O |
| A26b | 26 | 34 | 0,204 | Conceição das Alagoas/MG | Neossolo flúvico | 20°1'25.74"S 48°13'45.29"O |
| ER | - | 30 | 2,8 | Conceição das Alagoas/MG | Neossolo flúvico | 20°1'25.95"S 48°14'6.52"O |

LMFP: largura média da faixa do plantio.

Definição do sistema de avaliação

Um modelo hierarquizado em atributos, indicadores e verificadores foi adaptado do sistema C&I de Ritchie et al. (2000) e Brancalion, Gandolfi e Rodrigues (2015), aplicando-se nas áreas de estudo. Os atributos foram selecionados como proposto por McDonald et al. (2016), seguindo os padrões internacionais para restauração ecológica.

Em cada atributo foram definidos três indicadores, para cada indicador foi avaliado no mínimo um verificador. Foram avaliados um total de 26 verificadores (TABELA 2).

Tabela 2: Definição do sistema de avaliação hierarquizado, demonstrando os verificadores que foram utilizados para avaliar cada atributo de restauração ecológica das áreas de estudo.

Table 2: Definition of the hierarchical evaluation system, demonstrating the verifiers that using to evaluate each criterion of ecological restoration of the study areas.

| Atributo | Indicador | Verificador (es) |
|------------------------|---|--|
| Ausência de Ameaças | Estrato herbáceo invasor | Cobertura do solo por gramíneas/herbáceas invasoras |
| | Espécies exóticas na regeneração natural (RN) | Presença ou ausência de espécies exóticas na RN |
| | Uso do solo da matriz do entorno | Porcentagem de cobertura de uso de solo pastagem + solo exposto + área urbana |
| Condições Físicas | Substrato físico | Solo exposto nas áreas |
| | Substrato químico | pH no solo; Teor de matéria orgânica no solo; Saturação por bases; CTC efetiva |
| | Cobertura do solo | Capacidade de retenção hídrica (CRH) da serapilheira; Cobertura do solo por serapilheira |
| Composição de Espécies | Plantas desejadas | Diversidade de espécies do estrato arbóreo (EA); Diversidade de espécies da RN |
| | Evolução sucessional | Índice de similaridade de Sorensen; porcentagem de espécies do núcleo de diversidade |
| | Espécies indesejadas | Densidade de plantas herbáceas e gramíneas indesejáveis no banco de sementes do solo |
| Diversidade estrutural | Fechamento do dossel | Cobertura do dossel |
| | Densidade do povoamento | Densidade total EA |
| | Estratificação florestal | Área basal EA; Densidade de indivíduos no estrato médio vertical |
| Função ecossistêmica | Produtividade/ciclagem | Acúmulo de serapilheira |
| | Interação planta-animal | Porcentagem de espécies zoocóricas do EA |
| | Resiliência/Recrutamento | Densidade total de indivíduos da RN |
| Trocias Externas | Fluxos de paisagem | Distância mínima de fragmentos de florestas nativas; Presença ou ausência de epífitas |
| | Fluxo gênico | Presença ou ausência de espécies do EA no banco de sementes do solo |
| | Conectividade florestal | Quantidade de fragmentos de florestas nativas conectados |

Coleta de dados

Foi realizado o levantamento de um conjunto de dados composto por: inventário florestal do estrato arbóreo e regeneração natural, cobertura e análise química do solo, cobertura do dossel, avaliação da presença de epífitas, coleta de serapilheira, banco de sementes no solo e processamento de imagens de satélite para análise de uso de solo.

O inventário do estrato arbóreo (EA) foi executado em todas as parcelas permanentes, incluindo todos indivíduos com diâmetro do tronco a 1,30 m acima da superfície do solo ($DAP \geq 5$ cm). Já no inventário da regeneração natural (RN) foram avaliados todos indivíduos com $DAP \leq 5$ cm e altura ≥ 20 cm, em três subparcelas de 10m x 1m dentro das parcelas ímpares de cada área, em que a primeira foi alocada na margem do curso d'água, a segunda na parte média da parcela e a terceira na borda oposta (FERREIRA, 2009a).

Foram tomadas as variáveis dendrométricas DAP e altura total (H) para todos indivíduos do estrato arbóreo e realizada a quantificação da regeneração natural. A classificação de todas as espécies seguiu o sistema proposto pelo *Angiosperm Phylogeny Group III* (APG III, 2009).

Com base na literatura, as espécies dos EA e RN foram classificadas nas seguintes características: a) grupo funcional de preenchimento e diversidade, sendo o primeiro as espécies pioneiras e secundárias iniciais, já o diversidade composto por espécies secundárias tardias e clímax (BRANCALION et al., 2009); b) síndrome de dispersão de propágulos em zoocoria (PIJL, 1982); c) número de indivíduos no estrato vertical médio seguindo metodologia da IUFRO (FREITAS; MAGALHÃES, 2012); d) classificação das espécies em: nativas regionais - as que ocorrem na mesma fitofisionomia e região; nativas não-regionais aquelas nativas do Brasil porém de outras regiões ou domínios morfoclimáticos; exóticas - aquelas situadas em local diferente da sua distribuição natural, não sendo nativa do Brasil (CDB, 1992; REFLORA, 2014).

A cobertura do solo foi avaliada em 10 pontos aleatórios em cada uma das parcelas, realizada com auxílio de um gabarito de madeira com 100 retículos iguais, nas dimensões de 50 cm x 50 cm, obtendo a porcentagem de solo exposto, serapilheira e gramíneas/herbáceas invasoras nas áreas de estudo.

Já a coleta de solo para análise química foi realizada de forma composta. Primeiro, escolheu-se aleatoriamente 20 pontos amostrais para coleta simples, esta realizada com trado holandês, retirando uma amostra da camada de 0 a 20 cm de profundidade. Posteriormente, todas as amostras simples de cada área foram homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta (ARRUDA; MOREIRA; PEREIRA, 2014). Cada amostra composta foi analisada no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A cobertura do dossel foi quantificada por meio de fotos hemisféricas no ponto central de cada parcela das áreas de estudo, utilizando câmera digital SONY® de 24 megapixels, nas configurações: abertura 8, flash fechado, ISO automático, resolução e qualidade L:24MP e fine, com a função DRO/HDR, autodesligado. A câmera foi acoplada ao equipamento WinScanopy® para referenciar o norte magnético das imagens, apoiada em um tripé mantendo a estabilidade da câmera com a lente a 1 m do solo. As imagens foram processadas no software GAP Light Analyzer (FRAZER et al., 1999; ALMEIDA, 2016), obtendo valor de cobertura do dossel no ponto amostral e média por área.

Na avaliação da acumulação e capacidade de retenção hídrica (CRH) da serapilheira, foram avaliadas 30 amostras distribuídas nas parcelas permanentes de cada área. Utilizou-se coletor de 30 cm x 30 cm x 5 cm disposto sobre o solo, sendo a serapilheira acondicionada em sacos plásticos estéreis e levada ao Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF) da UFLA. O material orgânico foi seco em estufa a 65°C até atingir peso constante (CUNHA NETO, et al. 2013), obtendo o peso de serapilheira acumulada. A CRH da serapilheira foi obtida por meio do Método de Blow (1955), onde as amostras foram submersas em água durante 90 minutos, retiradas e depositadas em bandejas com 30% de declividade, para que drenassem naturalmente por 30 minutos. Após estes procedimentos as amostras foram pesadas em balança (0,01 g) (MU= massa úmida – g) e levados à estufa a 65°C até adquirir peso constante (MS = massa seca – g), quando se determina a CRH (Equação 1).

$$CRH (\%) = [(MU - MS) \div MS] \times 100$$

Para a coleta do banco de sementes do solo, utilizou-se um coletor nas dimensões de 30 cm x 30 cm x 5 cm, coletando todo o solo até a profundidade de 5 cm (CORREIA; MARTINS, 2015). As coletas foram nos mesmos pontos amostrais da coleta de serapilheira, em cada uma das áreas estudadas. As amostras, após coleta, foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas para o Viveiro Florestal da UFLA, localizado no município de Lavras/MG.

No viveiro, as amostras foram dispostas em bancada a 1,0 m de altura do piso, dentro de bandejas plásticas nas mesmas dimensões da coleta e com cinco furos para drenagem, identificadas quanto sua origem de coleta. Foram colocadas para germinar em local isolado com tela de náilon para evitar contaminação por propágulos externos, com sombrite de 50% e irrigação quatro vezes ao dia. A cada 15 dias, durante quatro meses, foram contabilizadas as plântulas que emergiram das amostras, e identificados até o táxon possível (MARTINS et al., 2008; MIRANDA NETO et al., 2014). As espécies arbóreas presentes no banco de sementes do solo foram identificadas conforme o inventário do estrato arbóreo, já as espécies herbáceas e gramíneas foram consultados em bibliografia especializada (LORENZI, 2000; LORENZI, 2014).

Na avaliação de epífitas não foram consideradas as lianas. Os forófitos de cada parcela em cada área de estudo foram tomados como unidades amostrais naturais (GERALDINO; CAXAMBÔ; SOUZA, 2010). A contagem dos epífitos presentes em cada forófito foi realizada por meio de inspeção visual, utilizando binóculos e câmera digital Sony®, 16.1 MP, zoom até 24X para fotos e posterior identificação. As espécies de epífitas foram identificadas a nível de espécie, por meio de especialistas e acesso ao herbário virtual do Rio de Janeiro (REFLORA, 2014).

Quanto à avaliação de imagens de satélites, foram realizados mapeamentos nas áreas de estudo e em seus entornos quanto ao uso da terra em um raio de 10 km de cada área de estudo. As imagens foram obtidas do satélite Sentinel 2A do Programa Global Monitoring for Environment and Security, com 10 m de resolução espacial. Para classificação da cobertura do solo foi utilizado o software QGis, realizando o mosaico das imagens, para segmentação e classificação dos objetos.

Em cada tipo de levantamento de dados realizado foram obtidos verificadores para avaliação dos indicadores utilizados neste estudo (TABELA 3). Tabela 3: Lista de verificadores que foram analisados de acordo com cada etapa do levantamento de dados.

Table 3: List of verifiers that analyzed were according to each step of the data collection.

| Levantamento de Dados | Verificadores |
|---|--|
| Inventário do florestal do EA e RN | Riqueza de espécies; porcentagem de espécies de diversidade (EA); índice de similaridade de Sorensen (EA); densidade total de indivíduos; estratificação vertical (EA); área basal (EA); porcentagem de espécies zoocóricas (EA); presença ou ausência de espécies exóticas na RN. |
| Cobertura e Coleta do Solo | Cobertura do solo por gramíneas/herbáceas invasoras, serapilheira e solo exposto; capacidade de troca catiônica (CTC efetiva), saturação por bases, teor de matéria orgânica no solo; pH no solo, |
| Cobertura do Dossel | Porcentagem de cobertura do dossel. |
| Acumulação e Capacidade de Retenção Hídrica da Serapilheira | Porcentagem de CRH e quantidade acumulada de serapilheira. |
| Banco de Sementes do Solo | Densidade de herbáceas e gramíneas indesejáveis; presença ou ausência de espécies do EA. |
| Epífitas | Presença ou ausência de epífitas. |
| Imagens de Satélite | Porcentagem de uso do solo com pastagem + solo exposto + área urbana; distância mínima de fragmentos nativos; quantidade de fragmentos nativos conectados. |

Análise de dados

Adaptando a metodologia proposta por McDonald et al. (2016) por meio dos padrões internacionais para a prática de restauração ecológica, para cada indicador das áreas em restauração (A26a, A26b, A24a e A24b) foi atribuída uma nota de um a cinco, com base nos valores encontrados para estes verificadores no ecossistema de referência (ER). Os 18 indicadores foram analisados de forma quantitativa, para cada indicador foi utilizado no mínimo um verificador para obter uma nota de um a cinco. Todos os indicadores e verificadores foram considerados com importâncias similares, não ocorrendo a necessidade de ponderar as notas obtidas. Para os indicadores que foram representados por mais de um verificador, foi atribuída a média das notas obtidas nos verificadores.

A atribuição de notas foi realizada a partir do ecossistema de referência, no qual a média para cada verificador no ER recebeu a nota máxima (5). As demais notas foram obtidas a partir de intervalos de confiança segundo o desvio-padrão do dado no ER. Quando o verificador for de caráter de ausência ou presença, estes receberam a maior e a menor nota respectivamente (TABELA 4). Após a atribuição de notas para cada um dos verificadores das áreas em restauração, em comparação com o ecossistema de referência, foi realizada a avaliação de progresso da restauração pelo modelo da “roda de recuperação”.

Tabela 4: Forma de indicação de nota dos verificadores das áreas em restauração, a partir dos verificadores obtidos no ecossistema de referência. Em que: μ = média do verificador no ecossistema de referência, σ = desvio-padrão do verificador no ecossistema de referência; P = verificador presente no ecossistema de referência; A = verificador ausente no ecossistema de referência.

Table 4: Form of note indication of the verifiers of the areas in restoration, from the verifiers obtained in the reference ecosystem. Where: μ = the mean of the verifier in the reference ecosystem, σ = the standard deviation of the verifier in the reference ecosystem; P = verifier present in the reference ecosystem; A = verifier absent in reference ecosystem.

| Verificadores | Nota | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cobertura do solo por gramíneas/herbáceas invasoras; porcentagem de cobertura do solo da matriz de pastagem + solo exposto + área urbana*; cobertura de solo exposto; densidade de plantas herbáceas indesejáveis no banco de sementes do solo; distância mínima de fragmento de florestas nativas*. | $\mu+5\sigma$ | $\mu+4\sigma$ | $\mu+3\sigma$ | $\mu+2\sigma$ | $\mu + 1\sigma$ |

TABELA 4 continua...

| | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Teor de matéria orgânica no solo*; CTC efetiva*; CRH da serapilheira; cobertura do solo por serapilheira; diversidade de espécies do EA e RN; índice de similaridade de Sorensen*; cobertura do dossel; densidade total de indivíduos do EA e RN; área basal do EA; estratificação vertical do EA; acúmulo de serapilheira; porcentagem de espécies zoocóricas do EA; quantidade de florestas nativas conectadas*. | $\mu - 5\sigma$ | $\mu - 4\sigma$ | $\mu - 3\sigma$ | $\mu - 2\sigma$ | $\mu - 1\sigma$ |
| Presença ou ausência de espécies exóticas na RN, epífitas no EA e espécies do EA no banco de sementes do solo. | P/A | | | | A/P |
| pH no solo (MEURER, 2007) | <5,0 | 5,0 a 5,5 | | | > 5,5 |
| Saturação por bases (RONQUIM, 2010) | < 50% | | | | ≥ 50% |
| Porcentagem de espécies do núcleo de diversidade | > 12% | | | | ≤ 12% |

*Como valor de desvio-padrão para estes verificadores foi considerado 20% do valor médio do ecossistema de referência, devido ser verificadores que não possuíam repetição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ausência de Ameaças

Para caracterizar a ausência de ameaças, utilizaram-se os indicadores de estrato herbáceo invasor, espécies exóticas na regeneração natural e uso do solo da matriz do entorno.

Em todas as áreas de estudos observam-se valores da cobertura do solo por gramíneas e herbáceas invasoras (TABELA 5) em nível aceitável. Este tipo de cobertura de solo, quando atinge nível inferior a 10%, torna-se ideal para áreas de restauração (BELLOTTO, et al., 2009; BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Espécies indesejadas não estão apenas no estrato herbáceo, na regeneração natural de espécies arbóreas pode-se observar a presença de espécies arbóreas não regionais nas áreas de restauração A24a e A26a (TABELA 5). A presença de espécies não regionais é proveniente do processo de implantação destas áreas, que, segundo Ferreira (2009), no inventário realizado nestas áreas com 15 e 17 anos da implantação, no estrato arbóreo já existia o estabelecimento de espécies não regionais.

Tabela 5: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: ausência de ameaças.

Table 5: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to evaluate the key attribute of ecological restoration: absence of threats.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|--|---|------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Estrato herbáceo invasor | Cobertura do solo por gramíneas ou herbáceas invasoras | % | 1,74 (5) | 4,97 (5) | 1,6 (5) | 3,73 (5) | 1,4 (5) |
| Espécies exóticas na regeneração natural | Presença ou ausência de espécies arbóreas não regionais | P/A | A (5) | P (1) | A (5) | P (1) | A (5) |
| Uso do solo da matriz do entorno | Área de solo exposto, pastagem e urbana | % | 36,23 (5) | 32,05 (5) | 36,52 (5) | 34,33 (5) | 35,19 (5) |

P: presente; A: ausente.

O uso de espécies não-regionais é observado como uma tendência dos plantios mais antigos, como descrito por Brancalion et al. (2009). Quando implantados estes plantios de restauração na década de 1990 (fase 2 da restauração florestal no Brasil) seguiu-se alguns critérios de sucessão ecológica utilizando espécies pioneiras, secundárias e clímax, porém ainda se utilizava espécies não-regionais ou exóticas para o rápido recobrimento da área ou falta de mudas nativas. Outros plantios de implantação de restauração da mesma época seguiram esta metodologia (CASTANHO, 2009; FERREIRA, 2009b).

As espécies não-regionais encontradas na regeneração natural foram *Pachira aquatica* Aubl. (A24a), *Psidium guajava* L. (A24a) e *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. (A24a e A26a). Espécies que não ocorrem regionalmente podem trazer impactos negativos na regeneração natural, caracterizando estes indivíduos como bons competidores por espaço e recursos (PETENON; PIVELLO, 2008; NETO; FONSECA; CARVALHO, 2014). Segundo Sher et al. (2018), ainda não são claras quais seriam as consequências da retirada de espécies não-regionais da regeneração natural em ecossistemas de restauração, necessita-se de um bom planejamento se a escolha for retirá-los.

No uso da matriz do solo no entorno das áreas, consideradas as partes como ameaça ao ecossistema, pode-se verificar que nas diferentes áreas em restauração há uso do solo semelhante ao ER, com variação inferior a 15%. Áreas com solo exposto, pastagem e urbanização em uma matriz florestal podem acarretar problemas como: redução das populações, chegando até perda de alelos; analisando a longo prazo, por não se ter tantos fragmentos florestais, pode

ocasionar a endogamia, potencializando a probabilidade de autofecundação e acasalamento entre indivíduos aparentados (KAGEYAMA, et al. 1998).

Condições Físicas

Como nas florestas nativas, a interação solo-planta em restauração também é complexa. Os indicadores utilizados no atributo-chave Condições Físicas, estão ligados diretamente à sobrevivência das plantas com os processos biológicos, geoquímicos, hidrológicos, possuindo variação dos seus atributos por meio do perfil e através do tempo (KARDOL; WARDLE, 2010; AZAM et al. 2012; SMITH et al. 2015).

No indicador substrato físico e verificador solo exposto (TABELA 6), pode-se verificar que as áreas com maior idade cronológica (A26a e A26b) possuem valores superiores ao ER, podendo ser influenciados pela densidade de indivíduos arbóreos presentes na área (TABELA 8), que possuem densidades de indivíduos arbóreos menores que as áreas com 24 anos.

Tabela 6: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: condições físicas.

Table 6: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to assess the key attribute of ecological restoration: physical conditions.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Substrato físico | Solo exposto | % | 4,84 (5) | 3,28 (5) | 1,39 (5) | 5,98 (5) | 9,32 (5) |
| | pH no solo | Adm. | 5,5 (3) | 5,3 (3) | 6 (5) | 5,6 (5) | 5,6 (5) |
| Substrato químico | Matéria orgânica no solo | Dag.kg ⁻¹ | 4 (5) | 5,86 (5) | 7,4 (5) | 3,76 (5) | 2,49 (3) |
| | Saturação por bases | % | 52,18 (5) | 52,56 (5) | 83,52 (5) | 74,98 (5) | 49,1 (1) |
| | CTC efetiva | cmol.dm ⁻³ | 6,88 (5) | 6,59 (5) | 12,94 (5) | 11,15 (5) | 3,03 (3) |
| Cobertura do solo | CRH da serapilheira | % | 157,04 (5) | 99,24 (4) | 120,84 (4) | 120,4 (4) | 118,38 (4) |
| | Cobertura do solo por serapilheira | % | 76,42 (5) | 90,61 (5) | 96,26 (5) | 86,02 (5) | 80,63 (5) |

Adm: adimensional; CRH: capacidade de retenção hídrica; CTC: capacidade de troca catiônica do solo.

No substrato químico do solo, o pH está envolvido em processos de ciclagem de nutrientes e até mesmo acúmulo de biomassa nas plantas em todas as

áreas, segundo classificação de Alvarez et al. (1999), eles estão classificados em acidez média (5,1 – 6,0). Já a matéria orgânica do solo está ligada ao incremento da capacidade de troca catiônica e soma de bases, permitindo maior retenção e liberando CO₂ no solo, como também permitindo a liberação de nutrientes para regeneração natural (PEREIRA; VELOSO; GAMA, 2000; CONSTANTINI et al., 2016), no qual as áreas com 24 anos apresentam teor de matéria orgânica superior ao ER, e as de 26 anos inferior. Em todos os ambientes de restauração, com exceção do A26b, o solo caracteriza-se como eutrófico (saturação por bases \geq 50%), demonstrando comportamento semelhante ao ER.

A capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva não seguiu um padrão em relação à idade cronológica das áreas, isso em virtude dos diferentes tipos de solos e locais, apresentando condições heterogêneas. Assim, onde possui CTC efetiva maior, há um maior teor de matéria orgânica que colabora para propriedades benéficas ao solo de suporte à vegetação. A CTC efetiva pode estar ligada à presença de raízes como também ao incremento de matéria orgânica, que permite melhoras relacionadas à estrutura do solo, a infiltração de água e a absorção de nutrientes (PORTUGAL; COSTA; COSTA; 2010; CONSTANTINI et al., 2016).

A maior capacitação de retenção hídrica (CRH) da serapilheira foi observada no ER, sendo que os ecossistemas em restauração apresentaram valores inferiores (tabela 6). Este maior valor no ER demonstra uma maior capacidade de retenção de umidade, que se distingue dos demais, devido características do próprio ambiente, dependendo do percentual de lignina, carbono, polifenóis, nitrogênio e outros componentes do material encontrado na serapilheira (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979).

A principal função da CRH da serapilheira é a disponibilidade de água para os indivíduos que irão dar perpetuação ao local, fazendo com que o papel da regeneração natural favoreça a continuidade dos processos de restauração. Segundo Matheus et al. (2013), em área de restauração florestal em mata atlântica a capacidade de retenção hídrica foi de 250%, valor superior de todas as áreas do estudo. Essa diferença pode se dar devido às áreas em estudo serem de transição dos domínios Cerrado e Mata Atlântica, em condições climáticas diferentes, obtendo diferenças no material, tendo maior exposição ao impacto da chuva e escoamento superficial (GONÇALVES; NOGUEIRA; DUCATTI, 2003).

Em áreas de restauração com maior riqueza de espécies, demonstra-se uma maior cobertura de solo por serapilheira (MACHADO, 2016). As áreas A24a e A24b demonstram maiores coberturas de solo por serapilheira em comparação com ER. No estrato arbóreo em comparação com o ER, podendo ser este o fator de proporcionar maior cobertura por serapilheira.

Composição de Espécies

O número de espécies florestais do estrato arbóreo (tabela 7) é menor do que o esperado na restauração florestal, e até mesmo para o ecossistema de referência. Durigan, Suganuma e Melo (2016), em um estudo de valores esperados para plantios de restauração florestal de matas ciliares, afirma que se espera que, a partir dos 24 anos, a riqueza em número total de espécies do estrato arbóreo seja superior a 58 e o valor crítico a partir de 41 espécies. Em todas as áreas de estudo, o número de espécies está abaixo ou igual ao valor crítico, demonstrando a necessidade de incremento de espécies na área em restauração.

Tabela 7: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: composição de espécies.

Table 7: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to assess the key attribute of ecological restoration: species composition.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|-------------------------|--|---------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Plantas desejadas | Riqueza total de spp. EA | Nº spp | 21 (5) | 32 (5) | 41 (5) | 25 (5) | 28 (5) |
| | Riqueza total de spp. RN | Nº spp | 24 (5) | 27 (5) | 22 (5) | 22 (5) | 17 (5) |
| Evolução sucessional | Índice de similaridade de Sorensen do EA | Adm. | 1 (5) | 0,34 (2) | 0,31 (2) | 0,43 (3) | 0,57 (3) |
| | Porcentagem de spp. do núcleo de diversidade do EA | % | 15 (5) | 25 (5) | 12 (1) | 16 (5) | 14 (5) |
| Espécies indesejadas | Densidade de herbáceas indesejáveis no banco de sementes do solo | ind.m ⁻² | 228,88 (5) | 228,52 (5) | 184,44 (5) | 302,59 | 166,29 (5) |

Spp: espécies; EA: estrato arbóreo; RN: regeneração natural; ind: indivíduos.

A riqueza total de espécies da regeneração natural nas áreas de restauração oscilou de 17 a 27 (tabela 7). Segundo Durigan, Suganuma e Melo (2016), o valor crítico de espécies deste estrato em áreas de restauração com mais de 24 anos é de 11 espécies, com valor ótimo igual ou superior a 24. Observamos que todas as áreas estão com número superior ao valor crítico mencionado por estes autores, com a área A24a apresentando valores superiores ao ótimo.

Reis, Davide e Ferreira (2014) observaram que em oito áreas de restauração com idade entre um e quinze anos, na mesma matriz do entorno da Usina Hidrelétrica de Volta Grande, a riqueza de espécies de regeneração entre uma e treze espécies demonstrou um avanço das áreas em restauração do estudo em relação à regeneração natural.

O baixo número de espécies encontradas nas áreas nos dois estratos (EA e RN), representa um dos problemas vigentes em restauração ecológica,

principalmente aquelas implantadas há mais de duas décadas (BRANCALION et al. 2012). O número total de espécies encontradas para todas as áreas em restauração, com exceção da A24b, e até o ER apresenta baixo número de espécies, sugerindo que a dispersão e entrada de propágulos na área pode limitar o enriquecimento destas áreas (SOUSA; BATISTA, 2004).

A utilização de alta riqueza na implantação de projetos de restauração ecológica ou enriquecimento no decorrer da trajetória destas áreas surge como uma alternativa para que, em longo prazo, estas áreas não sofram com a perda de espécies. Rodrigues et al. (2009) ressaltam a importância de um grande número de espécies em áreas de restauração florestal, visando o sucesso destes projetos, como também a chance de ser ampliada a diversidade destes remanescentes.

Na riqueza observada do estrato arbóreo foram constadas espécies não regionais ou naturalizadas, como *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard (A24a, A24b, A26a, A26b e ER), *Pachira aquática* Aubl. (A24a), *Euterpe oleracea* Mart. (A24b), *Cryptocarya aschersoniana* Mez (A24b) e algumas espécies exóticas como *Acacia mangium* Willd. (A24b), *Persea americana* Mill (A24a), *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. (A24a, A24b, A26a e A26b). Apesar destas espécies serem exóticas, desempenham funções como atração da fauna por ser de dispersão zoocórica, como pode-se observar no atributo-chave função do ecossistema.

Ainda devem-se ressaltar as espécies florestais selecionadas na implantação destas áreas, pois se sabe que o ideal são espécies nativas e regionais (RODRIGUES et al., 2009). Mas, como diversos autores citam, os viveiros florestais da época de implantação, e até nos dias atuais, apresentam quantidade insatisfatória de diversidade de espécies para utilização em projetos de restauração ecológica (ASSIS et al., 2013; NETO; FONSECA; CARVALHO, 2014). Dessa forma necessita-se de um reforço conjunto da cadeia produtiva da restauração florestal, visando o aumento da riqueza de espécies nestes ambientes.

A avaliação de similaridade de Sorensen entre as áreas de estudo (tabela 7) indicou baixa similaridade entre as áreas de restauração com o ecossistema de referência, sendo o mais similar a área em restauração A26b. Esta alta heterogeneidade florística nas áreas de estudo condiz com estudo de Rodrigues e Nave (2004) no qual observaram que áreas naturais de matas ciliares apresentam elevada heterogeneidade florística, e até mesmo na mesma matriz de paisagem, devido a alguns fatores como: tamanho da faixa ciliar florestada, tipo de vegetação original, chegada de propágulos e outros envolvidos em interações complexas de fatores físicos e biológicos.

As espécies do núcleo de diversidade (secundárias e clímax) são fundamentais, pois são essas que vão se perpetuar por mais tempo nas áreas em restauração seguindo uma trajetória sucessional. Em todas as áreas de estudo e até mesmo no ER, demonstraram-se valores baixos comparados às áreas naturais.

Milhomem, Araújo e Vale (2013) encontram valores superiores a 30% para este núcleo em floresta nativa na mesma fitofisionomia, já em área de restauração com 07 anos foram encontrados valores de 57,5% (RECH et al., 2015).

Ao analisar o indicador de espécies indesejáveis, o verificar utilizado foi a densidade (ind.m^{-2}) de espécies herbáceas invasoras no banco de sementes de solo com valores entre 166 a 302,59 ind.m^{-2} . Em áreas com 16 e 17 anos de implantação na mesma fitofisionomia, apresentaram-se valores superiores, sendo 850 ind.m^{-2} e 1361,60 ind.m^{-2} respectivamente; mata nativa também com valores superiores 613,3 ind.m^{-2} , e em um ecossistema nativo observou-se que 74% da germinação do banco de sementes do solo são herbáceas indesejáveis (SCCOTI et al., 2011; MORESSI; PADOVAN; PEREIRA, 2014).

A baixa densidade de indivíduos herbáceos no banco de sementes do solo, em comparação com áreas nativas e em restauração com estágios menos avançados, demonstra um avanço na sucessão destas áreas. Segundo Baider, Taberelli e Mantovani (2001), em áreas nativas de florestas tropicais pouco perturbadas a densidade de espécies herbáceas tende ser menor do que aquelas em estágios de sucessão intermediária, o que demonstra um decréscimo do estoque de banco de sementes do solo com o passar da trajetória sucessional.

Diversidade Estrutural

Os indicadores utilizados para descrever o atributo-chave para diversidade estrutural dos ecossistemas são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: diversidade estrutural.

Table 8: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to assess the key attribute of ecological restoration: structural diversity.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|--------------------------|----------------------------|---|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Fechamento do dossel | Cobertura do dossel | % | 88,95 (5) | 47,52 (1) | 71,11 (1) | 82,87 (4) | 82,18 (3) |
| Densidade do povoamento | Densidade total EA | ind.ha^{-1} | 940 (5) | 700 (1) | 1008 (5) | 579 (1) | 696 (1) |
| | Área basal EA | $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ | 35,87 (5) | 39,67 (5) | 38,55 (5) | 24,95 (1) | 23,69 (1) |
| Estratificação florestal | Estratificação vertical EA | Nº ind.ha ⁻¹ no estrato médio | 647 (5) | 365 (1) | 592 (5) | 272 (1) | 353 (1) |

EA: estrato arbóreo; ind: indivíduos.

Quanto ao fechamento do dossel, todas as áreas, com exceção da A24a, possuem áreas com dossel superior a 70% de cobertura, o que representa uma característica bastante desejável para áreas em restauração florestal na busca de promover o sombreamento do solo, reduzindo a invasão de gramíneas e herbáceas. Levantamentos realizados na mesma matriz de estudo evidenciaram que os resultados estão no intervalo destas áreas (SOARES et al., 2016). Em florestas estacionais semidecíduais na bacia do Parapanema a cobertura do dossel atingiu 88,4%, sendo compatível com o ecossistema de referência (SUGANUMA et al., 2013).

As densidades totais dos indivíduos arbóreos apresentaram valores baixos até para o ecossistema de referência, visto que ambientes florestais nativos na mesma formação original apresentaram valores entre 1203 a 1716 ind.ha⁻¹ (SUGANUMA et al., 2013; VILAS-BÓAS et al., 2014).

Em áreas de restauração na região de florestas estacionais semidecíduas, na mesma região de estudo, a densidade total de indivíduos do EA por hectare em áreas com mais de 10 anos de implantação apresentou valores de 1528 ind.ha⁻¹, com desvio padrão de 94 ind.ha⁻¹ (SOUSA; BATISTA, 2004). Em uma área também em floresta estacional semidecidual, com início de restauração na década 1970, observou-se valores da densidade total de indivíduos aos 28 anos de 1117 ind.ha⁻¹ e aos 38 anos de 1360 ind.ha⁻¹ (PULITANO; DURIGAN; DIAS, 2004; SUGANUMA, 2013); esperava-se que estes valores aumentassem no decorrer da sucessão em área de restauração, o que não foi observado neste estudo. Ainda, os valores encontrados são superiores aos das áreas de restauração com 24 e 26 anos e do ecossistema de referência, demonstrando que estas áreas possuem um baixo indicativo de restauração da abundância de indivíduos arbóreos.

Segundo Durigan, Suganuma e Melo (2016), após os 24 anos, a área basal de uma floresta em restauração deve possuir valor esperados de 40,3 m².ha⁻¹ e valor crítico de 28,5 m².ha⁻¹. Assim, todas as áreas, com exceção das áreas de 26 anos (A26a e A26b), encontram-se no intervalo esperado. Ainda as áreas com 24 anos de restauração e o ER apresentaram valores superiores à média da área basal de áreas nativas de fragmentos nativos em Floresta Estacional Semidecidual de 27,9 m².ha⁻¹ (SUGANUMA et al., 2013).

Os indicadores refletem que são áreas em que é preciso avançar quanto a sua diversidade estrutural. Por mais que se tenham valores próximos da referência como em cobertura do dossel e área basal, a diferença da densidade total de indivíduos de áreas com maior tempo de implantação (26 anos) em comparação com as de menor tempo (24 anos) demonstra o potencial destas áreas em ainda manter seus indivíduos adultos, sendo que as espécies pioneiras começam seus declínios entre 20 e 25 anos (BRANCALION; RODRIGUES; GANDOLFI, 2015).

Função Ecológica

Nas áreas em restauração com 24 anos (A24a e A24b) o acúmulo de serapilheira foi superior as com 26 anos e ao ER (TABELA 9). Souza et al. (2016), avaliando sistemas agroflorestais implantados em áreas ciliares para restauração florestal em área de mata atlântica, afirma que os dados de acúmulo de serapilheira apresentaram valores entre 2,97 Mg.ha⁻¹ a 4,06 Mg.ha⁻¹, sendo que as áreas em restauração A26a, A26b e o ER apresentam valores superiores. Já as áreas A24a e A24b assemelham-se ao acúmulo de serapilheira de floresta secundária nativa, utilizada como referência por Souza et al. (2016). O acúmulo de serapilheira em áreas de restauração além de favorecer a cobertura do solo também favorece a atividade biológica e a fertilidade deste (CUNHA NETO et al., 2013).

Tabela 9: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: função ecossistêmica.

Table 9: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to assess the key attribute of ecological restoration: ecosystem function.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Produtividade /ciclagem | Acúmulo de serapilheira | Mg.ha ⁻¹ | 4,33 (5) | 7,35 (5) | 9,98 (5) | 4,48 (5) | 4,36 (5) |
| Interação planta-animal | Porcentagem de spp. zoocóricas EA | % | 75 (5) | 59 (3) | 66 (4) | 60 (3) | 68 (4) |
| Resiliência/recrutamento | Densidade total RN | (ind.1000).ha ⁻¹ | 32,89 (5) | 9,6 (1) | 5,6 (1) | 22,26 (1) | 20,33 (1) |

EA: estrato arbóreo; spp: espécies; RN: regeneração natural; ind: indivíduos.

A predominância de espécies de dispersão zoocórica (TABELA 9) se apresenta com valores referentes a florestas tropicais secundárias e até mesmo restauradas no domínio da Mata Atlântica (LIEBSCH; MARQUES; GOLDENBERG, 2008; SANSEVERO et al., 2011; MILHOMEM; ARAÚJO; VALE, 2013). Espécies de plantas do grupo funcional com dispersão zoocórica são muito importantes para as áreas em restauração, pois permitem a atração de animais. Em todas as áreas, observou-se a porcentagem de espécies zoocóricas aumentando de acordo com o avanço da idade das florestas em restauração.

Quanto ao indicador de resiliência/recrutamento, analisou-se a densidade total de indivíduos na regeneração natural (TABELA 9). Quanto aos valores observados nas áreas A26a e A26b, eles são os mais próximos do ER. Mesmo apresentando valores bem inferiores em relação ao ER, todas as áreas com exceção da A24b, possuem densidade total de regenerantes compatíveis com áreas

nativas de floresta estacional semidecidual na bacia do Rio Parapanema (SUGANUMA et al., 2013).

Trocas Externas

Os indicadores de fluxos de paisagem e conectividade florestal, demonstrados por meio da tabela 10, evidenciam que a área A26b é a mais próxima de um fragmento de floresta nativa.

Tabela 10: Valores médios e (nota) respectivamente dos verificadores e respectivos indicadores utilizados para avaliação do atributo-chave da restauração ecológica: trocas externas.

Table 10: Mean values and (note) respectively of the verifiers and respective indicators used to assess the key attribute of ecological restoration: external exchanges.

| Indicador | Verificador | Und. | Áreas de Estudo | | | | |
|---------------------------|---|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|---------|
| | | | ER | A24a | A24b | A26a | A26b |
| Fluxos de paisagem | Distância mínima de fragmentos nativos | M | 210 (5) | 1640 (1) | 1420 (1) | 1030 (1) | 270 (4) |
| | Presença de epífitas | P/A | P (5) | A (1) | A (1) | P (5) | P (5) |
| Conectividade e florestal | Quantidade de fragmentos nativos conectados | Qntd. área ⁻¹ | 84 (5) | 76 (5) | 83 (5) | 92 (5) | 84 (5) |
| Fluxo gênico | Presença de spp. do EA no banco de sementes do solo | P/A | A (1) | P (5) | A (1) | P (5) | A (1) |

P: presente; A: ausente; Qntd: quantidade. EA: estrato arbóreo.

No caso da presença de epífitas, elas ocorrem nas áreas A26a e A26b e a quantidade de fragmentos nativos conectados (TABELA 10) em um raio de 10 Km são quantidades próximas do ecossistema de referência.

A conectividade com fragmentos florestais nativos, por meio de corredores ecológicos ou proximidade, aumenta a probabilidade de colonização de novas espécies, além de permitir maior conectividade genética devido à movimentação de pólenes, sementes e animais (RUDNICK et al., 2012).

Nas áreas de estudo que apresentaram epífitas nos forófitos (A26a, A26b e ER) ocorreram espécies das famílias bromeliaceae (*Tilandsia recurvata* (L.) L. e *Tilandsia stricta* Sol. Ex. Sims) e cactaceae (*Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw.). As espécies da família bromeliaceae apresentaram dispersão anemocórica, já da cactaceae são zoocóricas, demonstrando o fluxo de ave-fauna como dispersores para instalação desta espécie (BATAGHIN et al., 2017).

A chegada de epífitas em ambientes de restauração muitas vezes está sujeita aos impactos da fragmentação florestal. Diversas espécies de epífitas necessitam de ambientes estáveis para germinarem e se estabelecerem (BELLOTTO et al., 2009; PARRA-TABLE et al., 2011). Devido a estas condições favoráveis, epífitas e as bromélias vem sendo consideradas como boas indicadoras de ecossistemas conservados (GOODE; ALLEN, 2009).

Quando se analisa o indicador fluxo gênico, o verificador utilizado foi a presença de espécies do estrato arbóreo no banco de sementes do solo, no qual verificou-se as áreas A24a e A26a com condições satisfatórias. A época de realização da coleta no banco de sementes do solo pode ter sido a causa de, até no ecossistema de referência, não possuir, no banco de sementes do solo, espécies arbóreas.

As áreas A24a e A26a demonstram que possuem espécies arbóreas no banco de sementes de solo em época de seca, como uma capacidade de armazenamento de sementes. Estas sementes esperam condições adequadas para germinação por meio deste banco (DeFALCO et al., 2012). O aumento da densidade do plantio durante o processo de restauração ecológica pode surgir como uma forma de ajuste para obter retornos positivos quanto à dispersão de propágulos (MERRITT; DIXON, 2011).

Roda da Recuperação

Na figura 2, pode-se observar o desenvolvimento da atual trajetória dos ecossistemas em restauração e do ecossistema de referência em relação aos seis atributos-chave avaliados. A partir dos indicadores utilizados para responder os atributos-chave propostos por McDonald et al. (2016).

O ecossistema de referência (FIGURA 2), como um fragmento nativo na mesma matriz de estudo, demonstra como se espera que os ecossistemas em restauração possam chegar. Este ecossistema obteve nota cinco em quase todos os indicadores, com exceção dos indicadores do atributo-chave trocas externas, por não possuir espécies do estrato arbóreo no banco de sementes do solo, o que pode ter sido devido à época de coleta dos dados.

Brancaion, Rodrigues e Gandolfi (2015) demonstram que os critérios de fragmentos nativos pouco degradados, que possam ser utilizados como ecossistema de referência, devem possuir as seguintes características: número de estratos verticais superior a 2; o dossel contínuo e com árvores ente 7 a 15 m de altura; ocasionalmente, presença de epífitas; as lianas podem ocorrer em desequilíbrio frequentemente nas bordas e no interior; presença de gramíneas exóticas frequentes na borda e ocasional no interior. Todas estas características foram observadas no ecossistema de referência deste estudo.

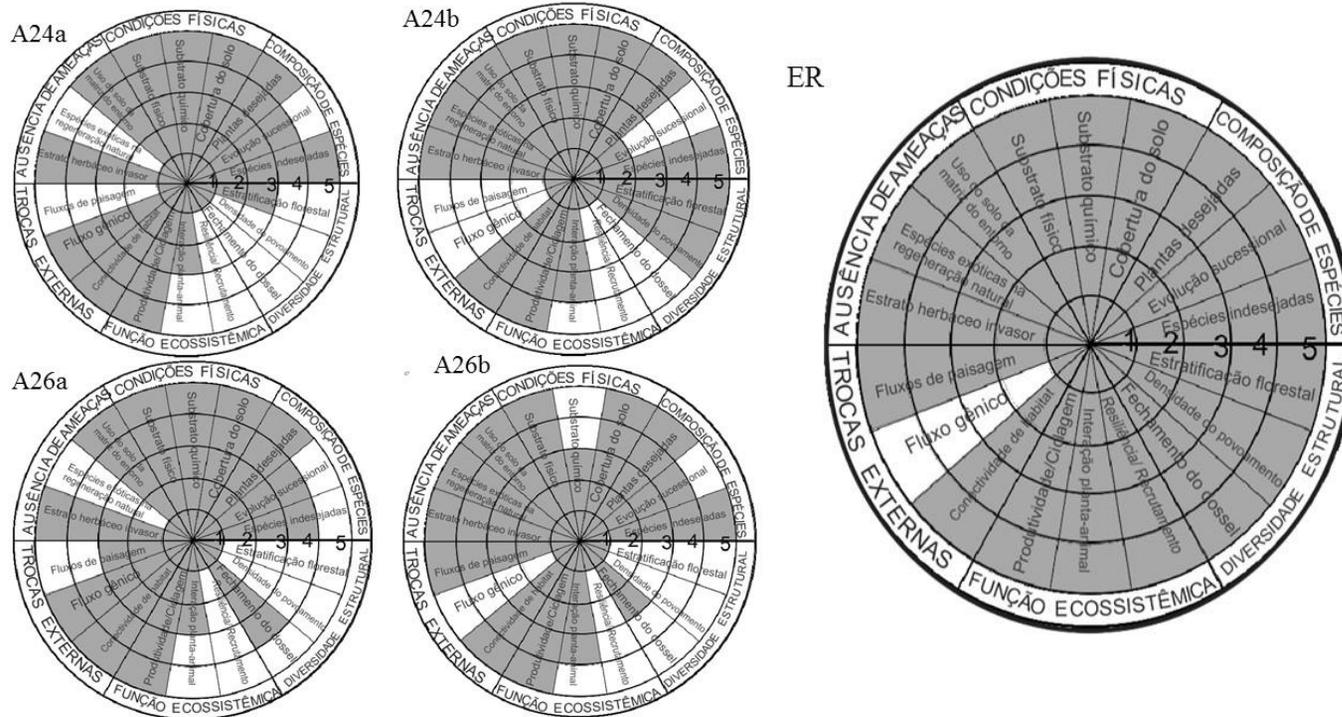


Figura 2: Avaliação do progresso das áreas em estudo, seguindo um ecossistema de referência por meio do modelo de roda da recuperação.

Figure 2: Evaluation of the progress of the study areas, following a reference ecosystem through the recovery wheel model.

Os atributos-chave de ausência de ameaças, condições físicas, composição de espécies e trocas externas apresentaram notas bastante semelhantes ao ecossistema de referência em todos ambientes de restauração, com exceção do A24b quanto ao atributo-chave trocas externas (FIGURA 2).

A função ecossistêmica junto à diversidade estrutural e composição de espécies está estreitamente ligada a sustentabilidade e resiliência, sendo atributos ligados ao sucesso de projetos de restauração ecológica de ecossistemas florestais (SER, 2004; McDONALD et al., 2016). Mas, a dificuldade está em como avaliar os esforços da restauração ecológica e solucionar problemas locais, a fim de melhorar estes dois atributos.

Quando se analisa os ecossistemas em restauração no todo, em todos os atributos-chave da restauração ecológica, sabe-se que diversos processos naturais podem influenciar nas trajetórias de desenvolvimento, resiliência, sustentabilidade e função do ecossistema (KARDOL; WARDLE, 2010). Estes processos são alcançados ao longo do tempo, de acordo com a estabilização de fauna e flora, como o desencadeamento de processos ambientes.

Deve-se lembrar que todos os ambientes florestais estão sujeitos à ação de diversos fatores abióticos (mudanças na hidrologia, incêndios, estrutura do solo) e bióticos (herbívoros, ausência de dispersores e polinizadores, invasão de plantas herbáceas invasoras), podendo levar a diferentes trajetórias, dificultando ou não o processo de autossustentabilidade (HOBBS, 2007).

Em estudo na região da Floresta Estacional Semidecidual do estado de São Paulo, pode-se dizer que 15 anos é a idade aproximada em que plantios com foco na restauração ecológica se aproximam estruturalmente (densidade, área basal, cobertura e altura média) à floresta madura (MELO; DURIGAN, 2007). Já as áreas de estudo com 24 e 26 anos ainda não apresentaram diversidade estrutural totalmente condizente com o ecossistema de referência. Assim, deve-se estar ciente que o tempo necessário para restauração florestal atingir patamares de ecossistemas de referência, buscando a autossustentabilidade, depende de diversas variáveis ao longo do tempo, sendo estas locais, regionais e históricas (WORTLEY; HERO; HOWES, 2013).

CONCLUSÃO

Pode-se considerar que as áreas em restauração apresentam uma trajetória satisfatória a partir de uma análise em conjunto dos seis atributos-chave em relação ao ecossistema de referência, porém, sem atingir a autossustentabilidade.

Estes ecossistemas ainda necessitam de mais tempo para atingir nota cinco em todos os indicadores, uso de técnicas de manejo adaptativo para os atributos-chave diversidade estrutural e função ecossistêmica pode contribuir para chegada mais rápida à autossustentabilidade.

O modelo de roda de recuperação adaptado da Sociedade Internacional de Restauração Ecológica (SER) é um ótimo instrumento para avaliação e monitoramento da trajetória de ecossistemas em processo de restauração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG) que implantou as áreas em restauração juntamente com a Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC – UFLA), e financiou as expedições a campo para coleta de dados do projeto “Restauração de ecossistemas ciliares no entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Volta Grande, MG, após 20 anos de implantação”. À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela bolsa de mestrado C. E. B. de O. (Nº de identificação 11687/2016).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B. N. de. **Avaliação do dossel de diferentes ambientes do parque ecológico quedas do rio bonito após evento de fogo**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVAREZ, V. H. V. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Eds.) **5ª aproximação – recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. SBRS: VIÇOSA, 1ª ed. 360p. 1999.

Angiosperm Phylogeny Group – APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** 2009, v. 161, n.2, p.105-121. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>>. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x.

ARRUDA, M. R. de; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Documentos 115: Amostragem e Cuidados na coleta do Solo para Fins de Fertilidade**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 22 p.

ASSIS, G. B. de. et al. Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1975 – 2008). **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.559-609. 2013.

AZAM, G. et al. Estalishing woody perennials on fostile soils in arid and semi-arid regions – A review. **Plant and Soil**, v.360, n.1, p. 55-76, 2012.

BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. The soil seed bank during Atlantic Forest regeneration in southeast Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v.61, n.1, p. 35-44, 2001.

BATAGHIN, F. A. et al. Epífitas vasculares da estação ecológica barreiro rico, Anhembi, SP, Brasil: diversidade, abundância e estratificação vertical. **Hoehnea**, v.44, n.2, p.172-183, 2017. DOI: 10.1590/2236-8906-72/2016.

BELLOTTO, A. et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.) **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1 ed. São Paulo: LERF/ESALQ: InstitutoBioAtlântica, 2009, Cap. 3. p. 128-147.

BLOW, F. E. Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in eastern Tennessee. **Journal of Forestry**, v.53, n.3, p. 190-195, 1985.
BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. (Org.). **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432 p.

BRANCALION, P. H. S. et al., Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. (Org.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa: Editora UFV, p.262-293, 2012.

BRANCALION, P. H. S. et al. **FASE 2: plantio de árvores nativas brasileiras fundamentada na sucessão florestal**. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.) **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1 ed. São Paulo: LERF/ESALQ: InstitutoBioAtlântica, 2009, Cap. 1. p. 14-23.

CASTANHO, G. G. **Avaliação de dois trechos de uma floresta estacional semidecidual restaurada por meio de plantio, com 18 e 20 anos, no Sudeste do Brasil**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais,

Conservação de Ecossistemas Florestais, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CDB. **Conservação da Diversidade Biológica**. Brasília: Ministério do Meio ambiente, Secretária de Biodiversidade e Florestas (MMA). 32p. 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_dpg/_arquivos/cdbport.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CLEWELL, A. F.; ARONSON, J. **Restauração Ecológica**: princípios, valores e estrutura de uma profissão emergente. SER: Washington, 2ed. 465 p. 2017.

COLE, L. E. S.; BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. J. Recovery and resilience of tropical forests after disturbance. **Nature Communications**, v.5, n. 3906, p. 207-226. 2014. DOI: 10.1038/ncomms4906.

CONSTANTINI, E. A. C. et al. Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems. **Solid Earth**, v.7, p.397-414, 2016. DOI: 10.5194/se-7-397-2016.

CORREIA, G. G. de S.; MARTINS, S. V. Banco de sementes do solo de floresta restaurada, Reserva Natural Vale, ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.22, n.1, p.79-87, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.096714>>. DOI: 10.1590/2179-8087.096714.

CUNHA NETO, F. V. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n.3, p. 379-387, jul-set, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509810549>>. DOI: 10.5902/1980509810549.

DeFALCO, L. A. et al. Supplementing seed banks to rehabilitate disturbed Mojave desert shrublands: where do all the seeds go? **Restoration Ecology**, v.20, n.1, p.85-94, 2012. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2010.00739.x

DURIGAN, G.; SUGANUMA, M. S.; MELO, A. C. G. de. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.44, n.110, p. 463-474, jun. 2016. DOI: 10.18671/scifor.v44n110.19.

FERREIRA, W. C. **Estoque de biomassa e carbono e parâmetros indicadores de recuperação de mata ciliar**. 2009a. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Engenharia Florestal, Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Cap. 2.

FERREIRA, W. C. et al. Estabelecimento de mata ciliar às margens do reservatório da usina hidrelétrica de camargos, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.1, p. 69-81, jan-mar., 2009.

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, user's manual and program documentation.1999. 40p.. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

FREITAS, W. K. de; MAGALHÃES, L. M. S. Métodos e Parâmetros para Estudo da Vegetação com Ênfase no Estrato Arbóreo. **Floresta e Ambiente**, Serópedica, v. 19, n. 4, p.520-540, 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.054>>. DOI: 10.4322/loram.2012.054.

FUJAÇO, M. A. G.; LEITE, M. G. P. Caracterização da Paisagem do Reservatório de Volta Grande. In: ANTONINI, Y.; MARTINS, J. P. V. (Org.). **Restauração e conservação de matas ciliares em reservatórios hidroelétricos: importância para a conservação da biodiversidade e processos ecológicos**. Ouro Preto: Nitro, 2016. Cap. 3. p. 29-42.

GERALDINO, H. C. L.; CAXAMBÕ, M. G.; SOUZA, D. C. de. Composição florística e estrutura da comunidade de epífitas vasculares em uma área de ecótono em Campo Mourão, PR, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 2, p.469-482, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062010000200018>>. DOI: 10.1590/s0102-33062010000200018.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA, L. R. Jr.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA P. Y. et al. **Restauração de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF; 2003.

GOODE, L. K.; ALLEN, E. M. F. Seed germination conditions and implications for establishment of an epiphyte, *Aechmea bracteata* (Bromeliaceae). **Plant Ecology**, v.204, n.1, p.179-188, 2009.

HOBBS, R. J. Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. **Restoration Ecology**, Malden, v.15, n.2, p. 354-357, 2007. DOI: 10.1111/j.1526-100x.2007.00225.x

HOBBS, R. J.; KRISTJANSON, L. J. Triage: how do we prioritize health care for landscapes? **Ecological Management & Restoration**, v.4, n. s1, p.s39-s45, 2003. DOI: 10.146/j,442-8903.4.s.5.x.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenadoria de Recursos Naturais (Ed.). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (978-85-240-4272-0).

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.; INGLEZ DE SOUZA, L. M. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **IPEF**, v.12, n.32, p. 65-70, 1998.

KARDOL, P.; WARDLE, D. A. How understanding aboveground-belowground linkages can assist restoration ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, v.25, n. 11, 2010. DOI: 10.1016/j.tree.2010.09.001.

LIEBSCH, D.; MARQUES, M. C. C.; GOLDENBERG, R. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. **Biological Conservation**, v.141, n.6, p.1717-1725, 2008. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.013.

LORENZI, H. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas: plantio direto e convencional**. 7. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 383 p.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 2000. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608 p.

MACHADO, D. L. **Aporte de serapilheira, fauna edáfica e matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de restauração florestal**. 2016. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2016. Cap. 2.

MARTINS, S. V. et al.. Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG. **Revista Árvore, Viçosa**, v. 32, n. 6, p.1081-1088, dez. 2008. DOI: 10.1590/s0100-67622008000600013.

MATEUS, F. A. et al. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.20, n.3, p.336-346, jul./set. 2013. DOI: 10.4322/loram.2013.024.

McDONALD, T. et al. **International standards for the practice of ecological restoration** – including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D. C. 47p. 2016. Disponível em: <<http://www.ser.org/?page=SERStandards>>. Acesso em: 23 out. 2017.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, C. Structural evolution of planted riparian forests in the Medium Paranapanema Valley, SP, Brazil. **Scientia Forestalis**, n.73, p.101-111, 2007.

MENZ, M. H. M.; DIXON, K. W.; HOBBS, R. J. Hurdles and opportunities for Landscape-Scale restoration. **Science**, v.339, n.6119, p. 526-527, 2013. DOI: 10.1126/science.128334.

MERRITT, D. J.; DIXON, K. W. Restoration seed banks – a matter of scale. **Science**. v.332, 2011. DOI: 10.1126/science.1203083.

MEURER, E. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; et al. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa:SBSCS. 2007. Cap. 2. p.65-91.

MILHOMEM, M. E. V.; ARAÚJO, G. M.; VALE, V. S. do. Estrutura do estrato arbóreo e regenerativo de um fragmento de floresta estacional semidecidual em Itumbiara, GO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n.4, p.679-690, 2013.

MIRANDA NETO, A. et al. Banco de sementes do solo e serapilheira acumulada em floresta restaurada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p.609-620, ago. 2014. DOI: 10.1590/s0100-67622014000400004.

MORESSI, M.; PADOVAN, M. P.; PEREIRA, Z. V. Banco de sementes como indicador de restauração em sistemas agroflorestais multiestratificados no sudoeste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.6, p. 1073-1083, 2014.

NETO, N. E. O.; FONSECA, C. R. da; CARVALHO, F. A. O problema das espécies arbóreas exóticas comercializadas nos viveiros florestais: estudo de caso

no município de Juiz de Fora (MG). **Revista de Biologia Neotropical**, Goiânia, v.11, n.1, p.28-46, 2014. DOI: 10.5216/rbn.v11i1.28346.

PARRA-TABLA, V. et al. Population status and reproductive success of an endangered epiphytic orchid in a fragmented landscape. **Biotropica**, v.43, n.5, p.640-647, 2011. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2011.00752.x.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latassolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia agrícola**, v.57, n.3, p. 531-537, 2000. DOI: 10.159/S0103-9016200000300025.

PETENON, D.; PIVELLO, V. R. Plantas invasoras: representatividade da pesquisa dos países tropicais no contexto mundial. **Natureza & Conservação**, v.6, n.1, p.65-77, 2008.

PIJL, L. van D. **Principles of Dispersal in Higher Plants**. Munich, 225 p. 1982. Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-87925-8>>. DOI: 10.1007/978-3-642-87925-8.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p. 575-585, 2010.

PULITANO, F. M., DURIGAN, G.; DIAS, L. E.; A mata ciliar da fazenda cananéia: estrutura e composição florística em dois setores com idades diferentes. In: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. (Eds.) **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista**: resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo: Páginas e Letras, pp. 419-445, 2004.

RECH, C. C. C. et al. Avaliação da restauração florestal de uma APP degradada em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.22, n.2, p.194-2013. DOI: 10.1590/2179-8087.083414.

REFLORA - HERBÁRIO VIRTUAL. 2014. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>>. Acesso em: 31 out. 2017.

REIS, D. N. dos; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, D. F. Indicadores preliminares para avaliação da restauração em reflorestamentos de ambientes ciliares. **Pesquisa**

Florestal Brasileira, Colombo, v.34, n.80, p.375-389, 2014. DOI: 10.436/2014.pfb.34.80.757.

REY B. et al. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. **Science**, v.325, n.5944, p. 1121-1124, 2009. DOI: 10.1126/science.1172460.

RITHIE, B. et al. **Criteria and indicators of sustainability in community managed forest landscapes**: an introductory guide. Bogor: Cifor, 2000. 113 p.
RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n.6, p. 1242-1251, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.008.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Heterogeneidade Florística das Matas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (Eds.) **Matas Ciliares**: conservação e recuperação. 2ed. 1.reimpr. São Paulo: Edusp. Fapesp, 2004. 320p.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Bolete de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa: Campinas, 30p. 2010.

RUDNICK, D. et al. The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. **Issues in Ecology**, n.16, p.1-20, 2012.

SAAVEDRA, P. G.; ECHEVERRIA, C.; NELSON, C. R. Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. **Restoration Ecology**, v.25, n.6, p.850-857. 2017. DOI: 10.1111/rec.12586.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Natural regeneration in plantations of native trees in lowland Brazilian Atlantic Forest: community structure, diversity, and dispersal syndromes. **Restoration Ecology**, v.19, n.3, pp. 379-389. 2011. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2009.00556.x.

SCCOTI, M. S. V. et al. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p. 459-472, 2011.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; SILVA, C. P. de C. (Ed.). **Florestal Estacional Semidecidual e Ombrófila**: Florística, estrutura, diversidade,

similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. 2. ed. Lavras: Ufla, 2008. 1029 p.

SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. **The SER international primer on ecological restoration**. Disponível em: <<http://www.ser.org>>. 2004. Acesso em: 10 jan. 2018.

SHER, A. A. et al. Native species recovery after reduction of an invasive tree by biological control with and without active removal. **Ecological Engineering**, n. 111, p. 167-175, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.018.

SMITH, P. et al. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **Soil**, v.1, p. 665-685, 2015. DOI: 10.5194/soil-1-665-205.

SOARES, A. A. V. et al. Influence of ecological group composition, plantation spacing and arrangement in the restoration of riparian forest on reservoir shores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.26, n.4, Oct./Dec. 2016. DOI: 10.5902/1980509825015.

SOUSA, F. M. de; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, v.191, n.1-3, p.185-200, 2004. DOI: 10.1016/j.foreco.2003.12.006.

SOUZA, M. C. S. de.; et al. Funcionalidade ecológica de sistemas agroflorestais biodiversos: uso da serapilheira como indicador da recuperação de áreas de preservação permanente. **Floresta**, Curitiba, v.40, n. 1, p.75-82, jan./mar. 2016. DOI: 10.5380/rf.v46il.34991.

STANTURF, J. A.; PALIK, B. J.; DUMROESE, R. K. Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v.331, p.292-323, 2014. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.07.029.

SUDING, K. N. Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities Ahead. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.42, p.465-487, 2011. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115.

SUGANUMA, M. **Trajetórias sucessionais e fatores condicionantes na restauração de matas ciliares em região de Floresta Estacional Semidecidual**. 2013. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental,

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Cap. 1.

SUGANUMA, M. S.; et al. Ecosistemas de referência para restauração de matas ciliares: existem padrões de biodiversidade, estrutura florestal e atributos funcionais? **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p. 835-847, 2013.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications; v.5, 372p. 1979.

VILAS-BÔAS, R.; et al. Restoration success: secondary forests at the margin of the hydroelectric reservoir (Minas Gerais State, Brazil). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.8, n.13, p. 153-160, 2014.

WORTLEY, L., HERO, J. M.; HOWES, M. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. **Restoration Ecology**, v.21. n. 5, p. 537-543, 2013. DOI: 10.1111/rec.12028.