



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PROTOCOLO DE INDICADORES DE
FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA O
MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA
ESTACIONAL SEMI-DECIDUAL.**

FÁBIO AUGUSTO ALENCAR DE ANDRADE

Araras
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PROTOCOLO DE INDICADORES DE
FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA O
MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA
ESTACIONAL SEMI-DECIDUAL.**

FÁBIO AUGUSTO ALENCAR DE ANDRADE

ORIENTADORA: PROFESSORA. Dra. FÁTIMA C. M. PIÑA-RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de
MESTRE EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Fábio Augusto Alencar de Andrade, realizada em 12/07/2017:

Profa. Dra. Fatima Conceição Marquez Pina Rodrigues
UFSCar

Prof. Dr. Nivaldo Lemes da Silva Filho
UNISO

Prof. Dr. Fernando Silveira Franco
UFSCar

Alencar de Andrade, Fabio Augusto

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PROTOCOLO DE INDICADORES DE FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMI-DECIDUAL. / Fabio Augusto Alencar de Andrade. -- 2017.

43 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador: FÁTIMA C. M. PIÑA-RODRIGUES

Banca examinadora: NIVALDO LEMES DA SILVA FILHO, FERNANDO SILVEIRA FRANCO, FÁTIMA C. M. PIÑA-RODRIGUES

Bibliografia

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. estabilidade e resiliência. 3. MESMIS. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Fabiana que já percorreu esse caminho curto e intenso seu apoio foi fundamental. Aos meus filhos Heitor e Raul que ficaram muitos dias com saudades, a minha mãe Edith por sempre se preocupar com meu futuro.

Ao Professor Cláudio José Bertazzo por me introduzir à Agroecologia e poder vivenciar ótimas experiências junto a agricultores, assentados, estudantes.

A Professora Fátima C. M. Piña-Rodrigues por possibilitar a viabilidade do meu mestrado e possibilitar pesquisar um objeto de estudo o qual aprendi muito e me identifiquei tanto: a Restauração ecológica.

Aos estudantes Glória, Lucas e Francilene pela ajuda fundamental em campo, por sua dedicação e amizade.

A Fundação SOS Mata Atlântica em especial à Aretha Medina.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural – PPGADR e a a a Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1	Construção do protocolo de indicadores.....	14
2.2	Áreas de estudo.....	17
2.3	Aplicação do protocolo de indicadores.....	18
2.4	Análise dos dados.....	19
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1	Avaliação da aplicação dos indicadores	21
3.2	Análise da eficiência dos indicadores	27
4	CONCLUSÃO	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Protocolo de indicadores contendo o conjunto de atributos de sustentabilidade ecológica, seus descritores e indicadores ecológicos utilizados na comparação da funcionalidade ecológica das áreas de estudo. Baseado no método MESMIS (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002). Protocolo segundo Piña-Rodrigues et al. (2015).....	15
Tabela 2: Descrição dos modelos de restauração de áreas degradadas implantados na área de estudo situada em Itu – SP empregados para avaliação dos indicadores segundo o método MESMIS (MASERA et al. 1999), adaptados por Piña-Rodrigues et al. (2015). Data de plantio: maio de 2013. Idade: 2 anos.	18
Tabela 3: Notas atribuídas aos indicadores de diversidade e estrutura da comunidade baseadas nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.....	23
Tabela 4: Notas atribuídas aos indicadores de diversidade funcional estabelecidos nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.....	24
Tabela 5: Notas atribuídas aos indicadores de manejo e conservação estabelecidas nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resultado da análise de componentes principais (PCA). Linhas representam os vetores dos parâmetros principais. Componente 1 (eixo 1) explica 43,8% e o componente 2 (eixo 2) 25.85% da variabilidade obtida para os indicadores de estrutura (H' , J, S, Alt, DAP, Bif, Est), diversidade funcional (EPI, HERB, GE, F(eco), Ser, CobSer) e de manejo e conservação (%CUPFORM, CIP, Pertu, PH, Gram) aplicados em diferentes modelos de restauração de áreas degradadas. H' = índice de diversidade de Shannon; J = equitabilidade; S = número de espécies, Alt = Altura total da árvore (m), DAP = Diâmetro a altura do peito (m), Bif = Número de bifurcações, Est = Número de estratos; EPI =, HERB = Cobertura do solo (%) com herbáceas e regenerantes, GE = % de espécies por grupo ecológico, F(eco) = Funções ecológicas das espécies, Ser = Altura da serapilheira, CobSer = % de área coberta pela serapilheira; (%CUPFORM = Presença de cupins e formigas, CIP = Presença de cipós e lianas, Pertu = Nível de perturbação na área, PH = Presença humana (aspectos negativos), Gram = % de cobertura do solo com gramíneas. FRAG = fragmentos de floresta natural, considerada como área de referência (AR1) e RAD = restauração de 6 anos com espaçamento 3 x 2 m, considerada como referência (AR2). T01 a T10 = modelos de experimentos descritos na Tabela 2. 30

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PROTOCOLO DE INDICADORES DE FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA COMO FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMI-DECIDUAL.

Autor: FÁBIO AUGUSTO ALENCAR DE ANDRADE

Orientadora: Prof. Dra. FÁTIMA C. M. PIÑA-RODRIGUES

RESUMO

O monitoramento de áreas em processo de restauração é um desafio permanente a ser estudado. A integridade ecológica deve avaliar se as características da área restaurada, seu tamanho, sua disposição na paisagem, composição florística e estrutura possibilitam o funcionamento dos processos ecológicos capazes de persistir em longo prazo. Por isso indicadores devem conter diversos parâmetros mensuráveis e que sejam passíveis de replicação, sensíveis a mudanças ao longo do tempo e de fácil aplicação e interpretação. Este trabalho pretende discutir e analisar protocolo multicriterial desenvolvido, com vistas a identificar indicadores eficientes para avaliar o estabelecimento de processos ecológicos essenciais para a auto sustentabilidade da restauração. Para tanto foram analisados indicadores que refletem a estabilidade e resiliência da área relacionados à diversidade (diversidade, equitabilidade, riqueza) e estrutura da comunidade (altura, diâmetro, bifurcação, estratificação) e diversidade funcional (epífitas, cobertura do solo com herbáceas e regenerantes, % de espécies por grupo ecológico, altura e % de área de cobertura com serapilheira). A confiabilidade para manter a produtividade no longo prazo foi avaliada por: (a) manejo e proteção (presença de cupins / formigas e videiras), (b) impacto antrópico (presença de pastoreio, trilhas e caminhos e espécies exóticas) e (c) incidência de luz no solo e a 1 m deste. O protocolo foi aplicado em duas áreas de referência (fragmento de Floresta Estacional em estágio inicial de regeneração e uma restauração com 6 anos) e em 10 modelos de restauração com 2 anos de idade, com variação na proporção de pioneiras e não pioneiras e em diferentes densidades de plantio. O maior problema do protocolo de indicadores foi a sua aplicação e interpretação no campo, requerendo treinamento para seu emprego. Os indicadores foram selecionadas a partir da análise de componentes principais e, entre eles, 61% foram redundantes ou com baixa sensibilidade para as condições avaliadas. Os indicadores mais sensíveis para as diferenças entre as áreas foram a cobertura do solo com herbáceas e serapilheira, incidência de luz no solo e a proporção de não-pioneiras. Como principal característica deste protocolo utilizado neste trabalho, destaca-se a facilidade em sua aplicação, porém necessita o prévio conhecimento taxonômico das espécies utilizadas e suas respectivas funções ecológicas.

Palavras chave: Recuperação de áreas degradadas; estabilidade e resiliência; MESMIS

EFFICIENCY OF A PROTOCOL FOR MONITORING ECOLOGICAL FUNCTIONALITY IN RESTORATION AREAS OF SEASONAL FOREST

Author: FÁBIO AUGUSTO ALENCAR DE ANDRADE
Adviser: Prof. Dra. FÁTIMA C. M. PIÑA-RODRIGUES

ABSTRACT

The monitoring of areas in process of restoration is a permanent challenge to be studied. Ecological integrity should assess whether the characteristics of the restored area, its size, its layout in the landscape, floristic composition and structure allow the ecological processes that can persist in the long term to function. Therefore, indicators must contain several measurable parameters such as replicability, sensibility to changes over time and easy to apply and interpret. This work intends to discuss and analyze multicriteria protocol developed with the aim of identifying efficient indicators to evaluate the establishment of ecological processes essential for the self-sustainability of the restoration. In order to do so, we analyzed indicators that reflect the stability and resilience of the area related to diversity (diversity, equitability, richness) and community structure (height, diameter, bifurcation, stratification) and functional diversity (epiphytes, herbaceous and regenerating soil cover, % of species by ecological group, height and % of cover area with litter). The reliability to maintain productivity in the long term was evaluated by: (A) management and protection (presence of termites / ants and vines), (b) anthropic impact (presence of grazing, trails and paths and exotic species), and (c) incidence of light in the soil and 1 m from this. The protocol was applied in two reference areas (fragment of Seasonal Forest at the initial stage of regeneration and one restoration at 6 years) and in 10 restoration models with two years of age, with variation in the proportion of pioneers and non-pioneers and in different densities. The main problem of the protocol of indicators was its application and interpretation in the field, requiring training for its use. The indicators were selected from the analysis of main components and, among them, 61% were redundant or with low sensitivity for the conditions evaluated. The most sensitive indicators for the differences between the areas were soil cover with herbaceous-regenerants and litter, light incidence in the soil and the proportion of non-pioneers. The main characteristic of this protocol used in this work is the ease of its application, but it needs the previous taxonomic knowledge of the species used and their respective ecological functions.

Keywords: Restoration of degraded areas; stability and resilience; MESMIS.

1 INTRODUÇÃO

Distúrbios em florestas tropicais originados por atividades antrópicas ocorrem em maior escala quando comparados aos de causas naturais e assim a recuperação do ecossistema torna-se lenta ou incerta (UHL et al., 1990; ENGEL ; PARROTA, 2009; ENGEL, 2011). Em função disto, planos conservacionistas recomendam a restauração intencional de comunidades vegetais para impulsionar a sucessão ecológica e aumentar a capacidade de suporte do ambiente (ANAND ; DESTOCHERS, 2004). A restauração deve ser prioritária, não apenas com o objetivo de recompor a vegetação, mas também de recuperar a conectividade entre os fragmentos de florestas remanescentes e assim, restaurar também a funcionalidade da paisagem (METZGER et al., 2009).

Embora ao longo do tempo a prática da restauração tenha se desenvolvido por tentativa e erros (WRIGHT et al., 2009), inicialmente várias técnicas focaram a formação de cobertura florestal (REIS et al.,1999; KAGEYAMA et al., 2009; CORREA, 2009) e o restabelecimento da sucessão (LAMB, 2006). A partir do final da década de 90 e início dos anos 2000, passou-se a enfatizar a restauração da biodiversidade e dos processos ecológicos de sucessão (PALMER et al., 1997; SOUZA ; BATISTA, 2004; RODRIGUES et al, 2009; SOUZA et al., 2015).

A Society for Ecological Restoration International – Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica (SER) - considera que o ecossistema deve retornar à sua trajetória histórica (SER, 2004). Para isto, é necessário que haja a associação entre as práticas culturais e o restabelecimento dos processos ecológicos, se reforçando mutuamente. Por outro lado, vários autores argumentam que processos como o aumento da biodiversidade, a fixação de carbono e a regeneração natural dependem da sustentabilidade ecológica pretendida como meta da restauração (ALLISON, 2004; GANDOLFI, 2006; NOGUEIRA JR., 2010).

Mesmo soluções como a restauração baseada em processos para mitigar o impacto humano no ambiente podem alterar localmente a seleção natural causando derivas nas trajetórias ecológicas das espécies e, principalmente, dos ecossistemas (SARRAZIN ; LECOMTE, 2016). Por isto, vários autores sugerem que, para avaliar a trajetória da restauração inicialmente se tenha um ambiente de referência para analisar a sua dinâmica (GANDOLFI, 2006; BRANCALION et al., 2009; RODRIGUES et al., 2009). No

entanto, ao se restaurar um ecossistema é impossível retorná-lo ao estado próximo ao referencial ou ao estado original da área devido a características dinâmicas e a trajetória temporal individual de cada área (ENGEL ; PARROTA, 2009; SUGANUMA et al., 2013; DURIGAN et al., 2016).

Baseado nestas questões, o conceito de “restauração ecológica” surgiu como uma visão ecossistêmica (NAEEM et al., 2009). Esta passou a ser definida como qualquer intervenção antrópica, que inicia ou acelera a recuperação do ecossistema com respeito à sua saúde, integridade ecológica e sustentabilidade (LAMB et al., 2006; BRANCALION et al, 2009; NAEEM et al., 2009; ENGEL, 2011), no qual se agregam dois princípios básicos: o estrutural e o funcional.

Enquanto a estrutura da comunidade está relacionada com a sua diversidade (CHAZDON, 2008; HOLL ; AIDE, 2011), no princípio da funcionalidade destaca-se a geração de serviços ambientais das áreas restauradas com o retorno de processos e funções exercidas pelo ecossistema (NAEEM et al., 2009). Contudo, a abordagem da restauração ecológica não deve apenas se restringir à funcionalidade e à processos ecológicos tais como produtividade primária, acúmulo de biomassa e absorção de CO₂ (SIDDIQUE et al., 2008).

As somas dos atributos dinâmicos dos ecossistemas como estabilidade, resiliência e confiabilidade, promovem as funções e processos ecológicos, ou seja, as interações ecológicas entre os organismos e entre esses e seus ambientes. Esta abordagem em comunidades foca a restauração dos componentes bióticos de um ecossistema baseado nas espécies presentes, sua abundância relativa e suas interações (trófica, competitiva, facilitadora) (EHRENFELD ; TOTH, 1997; WRIGHT et al., 2009). O uso do termo funcionalidade ecológica congrega estes processos e pode ser limitado àqueles atributos dinâmicos que mais diretamente afetam o metabolismo, principalmente a captura e a transformação de energia, nutrientes e umidade (SER, 2004). Esta questão se torna relevante pelas mudanças recentes de paradigmas na restauração, que levam a enfatizar não o produto final da sucessão, mas sim os processos internos (interações bióticas e abióticas) e externos (interações com a paisagem) que levam ao restabelecimento da trajetória sucessional (SUDING ; GROSS, 2006).

Diversos estudos realizados na última década têm focado sobre a análise da diversidade funcional, onde se priorizam os aspectos do funcionamento do ecossistema,

como sua dinâmica, estabilidade, disponibilidade de nutrientes, entre outros (PETCHEY ; GASTON, 2006; LEPS et al., 2006; CIANCIARUSO et al., 2009). Nestes, o foco se reverteu da preocupação em recuperar apenas a composição e diversidade de espécies, para as funções que cada espécie desempenha dentro da comunidade. Por isto, a análise da diversidade funcional enfatiza questões como as respostas às variáveis ambientais e as funções exercidas na comunidade (LEPS et al., 2006).

No Brasil, a restauração realizada entre os anos 1980 a 2000 visava à recomposição de vegetação focando na criação de corredores ecológicos assumindo uma postura de que a floresta se sustentaria com seus ciclos e funções ecológicas ao longo do tempo, a partir de modelos baseados na diversidade de espécies arbóreas (GANDOLFI, 2006; KAGEYAMA ; SANTOS, 2011). Posteriormente, esta metodologia incorporou conceitos de função, adotando-se o plantio de espécies por grupos sucessionais (SANTOS et al., 2007; RODRIGUES et al., 2007) ou funcionais (FREITAS et al., 2012). Dentre estes foi difundido no Estado de São Paulo o método que classifica as espécies baseado na sua função como grupo de preenchimento e diversidade (RODRIGUES et al., 2009; REIS et al., 2006). Contudo, monitoramento realizado no Estado na Operação Primavera efetivada CETESB, demonstrou o insucesso de várias restaurações (TONELLO et al., 2015) implantadas na égide da Resolução SMA nº 8, de 31 de janeiro de 2008 (SÃO PAULO, 2008). Esta foi uma das questões que gerou a sua substituição pela Resolução SMA nº 32 de 2014 (SÃO PAULO, 2014) que estabeleceu indicadores de monitoramento, aumentou para até 20 anos o tempo de monitoramento e flexibilizou a seleção do método de plantio.

Apesar dos avanços nos últimos anos, o monitoramento de áreas em processo de restauração é um desafio permanente (DALE ; BEYELER, 2001; RUIZ-JAEN ; AIDE, 2005; BRANCALION et al, 2009; REY-BENAYAS et al., 2009). A primeira etapa no sentido de formular indicadores que expressem a integridade ecológica é definir-se o conjunto de dados capazes de distinguir um cenário muito degradado daquele apenas degradado para obter-se informações de referência tanto de estrutura quanto de função e composição do ecossistema no espaço e no tempo (ANDREASEN et al., 2001; NIEMI ; McDONALD, 2004; TIERNEY et al., 2009). Mesmo que se considere controverso o uso de indicadores baseados em ecossistemas de referência, sua utilização permite avaliar

atributos estruturais, funcionais e de riqueza que podem ser utilizados como referenciais (SUGANUMA et al., 2013).

Os indicadores representam uma análise científica, a partir da categorização numérica ou descritiva de dados ambientais (VAN STRAALLEN, 1998; MORAES et al., 2010; SUDING, 2011). Para tanto, envolvem multicritérios, desde a presença de espécies apropriadas, a ocorrência de processos ecológicos até as condições ambientais que suportem tais processos (DALE ; BEYELER, 2001; LÓPEZ-RIDAURA et al., 2005). Além disto, refletem critérios qualitativos ou quantitativos gerando a padronização de dados, possibilitando o estabelecimento de metodologias flexíveis e consistentes na gestão de desempenho e na avaliação de intervenções e alternativas ambientais quando necessária (MAES et al., 2011). Por isso, os indicadores devem ser práticos, mensuráveis, acessíveis, comparáveis, sensíveis e compatíveis com os objetivos do projeto (DALE ; BEYELER, 2001) e devem propor uma metodologia confiável para avaliar o sucesso da restauração (TADER et al., 2007; MAES et al., 2011).

Apesar de vários trabalhos empregando indicadores para avaliar a restauração de processos ecológicos e serviços ecossistêmicos (MARON ; COCKFIELD, 2008; CONVERTINO et al., 2013; URIBE et al., 2014), ainda há a necessidade de desenvolvimento de multicritérios e indicadores que sejam operacionais, permitindo análises temporais e espaciais (ORSI et al., 2011). Análises de multicritérios têm sido usadas em manejo e conservação de florestas para a tomada de decisão (MENDOZA ; PRABHU, 2003; WOLFSLEHNER ; VACIK 2011). Seu uso depende da definição de critérios e indicadores que representem os processos ou sistemas estabelecidos a partir de conceitos e princípios a serem analisados (ORSI ; GENELETTI 2010) e que sejam práticos e sensíveis a alterações temporais (ORSI et al., 2011).

Modelos de protocolos de monitoramento têm focado em diversidade, funcionalidade, manejo (VAN STRAALLEN et al., 1998; LOPEZ-RIDAURA et al., 2005; RODRIGUES et al., 2009; MAES et al., 2011; PIÑA-RODRIGUES, 2015). Dentre estes, o método MESMIS - Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002) se destaca pela sua flexibilidade na adaptação a diferentes sistemas e informações e por possibilitar a avaliação ao longo do tempo (THEODORO et al., 2011). Baseia-se em indicadores de estabilidade - capacidade do sistema de manter o equilíbrio dinâmico estável, de

resiliência - capacidade para regressar ao estado de equilíbrio ou manter seu potencial produtivo, mesmo após distúrbio e de confiabilidade dos sistemas - estimado por seu potencial de manter a produtividade em níveis próximos ao seu equilíbrio de longo prazo (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2005).

A estabilidade e a resiliência dos processos são fundamentais para que a restauração possa se autossustentar, retornar ou mudar para uma situação de equilíbrio (estabilidade), mesmo quando submetidas a condições de perturbações (resiliência) (GUNDERSON, 2000; LOPEZ-RIDAURA et al., 2005). Considerando estes conceitos, vários indicadores podem ser empregados para avaliar não só o estabelecimento dos processos de estabilidade e resiliência, mas também as práticas de manejo a serem realizadas.

Com base no exposto, considerando que a restauração deve abranger não apenas a recomposição da diversidade de espécies, mas também da função e dos processos ecológicos, este trabalho pretende discutir e analisar protocolo desenvolvido com base no método MESMIS, com vistas a identificar indicadores eficientes para avaliar o estabelecimento de processos ecológicos essenciais para a auto sustentabilidade da restauração. A premissa adotada foi que os indicadores mais eficientes seriam aqueles com sensibilidade para detectar semelhanças e diferenças nas funções ecológicas de áreas naturais de distintos modelos de restauração e idades, sendo sensíveis às diferenças entre áreas, de fácil interpretação e aplicação em campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Construção do protocolo de indicadores

Para evitar a perda de consistência e de conceitos na estrutura do protocolo e na seleção dos indicadores, a sua construção seguiu as linhas gerais estabelecidas por Van Cauwenberg et al. (2007) e os indicadores de restauração basearam-se no método MESMIS (MASERA et al., 1999; LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002). O protocolo foi estruturado estabelecendo-se um conjunto de indicadores de estabilidade e resiliência e de manejo e conservação (Tabela 1). A seguir, de forma participativa, o protocolo foi aplicado nas mesmas propriedades anualmente (de 2011 a 2015) e épocas (novembro)

sendo aperfeiçoado em campo. Como referência foram utilizadas áreas de fragmentos da mesma região (FONSECA, 2011). Para o presente estudo, foi utilizada a versão do protocolo de Piña-Rodrigues et al., (2015).

Tabela 1. Protocolo de indicadores contendo o conjunto de atributos de sustentabilidade ecológica, seus descritores e indicadores ecológicos utilizados na comparação da funcionalidade ecológica das áreas de estudo. Baseado no método MESMIS (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002). Protocolo segundo Piña-Rodrigues et al. (2015).

Descritor	Indicador	Descrição	Cenário	Parâmetros
Estabilidade e resiliência				
<i>Diversidade e estrutura da comunidade</i>				
Diversidade da comunidade (MAGURRAN, 2004)	Diversidade	Índice de Shannon (H')	Similar à área de referência AR1 H' = 1,671 nat.ind ⁻¹	H' > 2,0 = 3 (alto) 1,0 < H' < 1,9 = 2 (médio) H' < 0,9 = 1 (baixo)
	Equitabilidade	Índice de Pielou (J')	Similar à área de referência AR1 J' = 1,09	J' ≥ 1 = 3 0,5 < J' < 0,9 = 2 J' < 0,5 = 1
	Riqueza de espécies	Nº de espécies arbóreas (S)	Presença de 50% do número de espécies da área de referência –AR1 S = 75	S > 30 = 3 10 < S < 30 = 2 S < 10 = 1
Estrutura	Altura (m)	Incrementos médios em altura (IMA)	Incremento médio em altura das espécies com intervalo de confiança entre 0,04 a 0,17 m mês ⁻¹ aos 15 meses de idade	IMA > 0,17 m mês ⁻¹ = 3 0,04m/mês < IAM < 0,17 m mês ⁻¹ = 2 IMA < 0,04 m mês ⁻¹ = 1
	DAP (mm)	Incremento médio diamétrico (IMD)	Incremento médio em diâmetro (IMD) com intervalo de confiança de 2,00 a 2,70 mm mês ⁻¹ aos 15 meses em plantios de restauração	IMD > 2,70 mm mês ⁻¹ = 3 2,00 mm mês ⁻¹ < IMD < 2,70 mm mês ⁻¹ = 2 IMD < 2,00 mm mês ⁻¹ = 1
	Bifurcação (nº)	Refletem o excesso de luz, atraso no estabelecimento de	Valores compatíveis aos constatados na área de referência- AR1 Nº de indivíduos bifurcados = 2,3±0,35	Nº bifurcações < AR = 3 Nº bifurcações = AR = 2 Nº bifurcações > AR = 1
	Posição da bifurcação	competição, ou prática silvicultural inadequada	Similar ao obtido na AR1 Nos terços superiores (TS) de zero a 24,3% dos indivíduos amostrados	TS < 24,3% = 3 TS > 24,3% = 1
	Nº de estratos	Estratificação da floresta	Presença na área de três estratos de vegetação formados pelo dossel superior (altura maior do que 12 m), estrato médio (de 5 a 12 m) e inferior (< 5 m) (Resolução CONAMA nº 01 de 31/01/1994)	Três estratos = 3 Dois estratos = 2 Um estrato = 1
<i>Diversidade funcional</i>				
Processo de sucessão	Presença de epífitas	Restauração da estrutura da floresta	Fontes de recursos e abrigo para a fauna, ciclagem de água e nutrientes	Presença = 3 Ausência = 0
	Cobertura do solo (%) com herbáceas e regenerantes	Índice de cobertura do solo	Presença de herbáceas e regenerantes na parcela	>75% = 3 50 - 75% = 2 25 - 50% = 1 1 - 25% = 0

Descritor	Indicador	Descrição	Cenário	Parâmetros
Estabilidade e resiliência (cont.)				
Diversidade funcional (cont.)				
Processo de sucessão (continuação)	% de espécies por grupo ecológico	Nº de espécies por grupos ecológicos utilizados em restaurações	Percentual mínimo de espécies por grupo ecológico de 40% (SMA nº 08/08). NP= não pioneira; P= pioneira	NP > 60% = 3 40% < NP < 60% = 2 NP < 40% = 1
	Funções ecológicas das espécies	Nº de funções ecológicas das espécies empregadas	Presença de espécies com as funções ecológicas (f_{eco}) de fixação de nitrogênio por microrganismos, aporte de biomassa (espécies caducifólias), atração de fauna (espécies zoocóricas) e sombreamento (copas amplas)	$f_{eco} \geq 4 = 3$ $1 > f_{eco} < 4 = 2$ $f_{eco} \leq 1 = 1$ Nenhuma = 0
Aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes	Altura da camada de deposição das serapilheira	Altura da camada de deposição das folhas	Similar à obtida em AR1, na mesma época (AR1 = 5,46±0,2 cm).	> AR1 = 3 = AR1 = 2 < AR1 = 1
	% de área coberta pela serapilheira	Solo recoberto por matéria orgânica.	Valores similares à área de referência (AR1)	>75% = 3 50 - 75% = 2 25 - 50% = 1 1 - 25% = 0
Manejo e conservação				
Sanidade	Taxa de herbivoria	Presença de plantas com sinais de herbivoria (H)	Em situações de estresse as plantas tornam-se susceptíveis aos ataques de pragas e doenças. Esperam-se taxas de herbivoria similares às áreas de referência	Baixa ($\leq 25\%$ da copa com herbivoria) = 3 Média ($25\% < H \leq 50\%$) = 2 Alta ($50\% < H \leq 75\%$ da copa com presença de herbivoria) = 1 Muito alta ($H > 75\%$) = 0
	Presença de cupins e formigas	Ninhos de formigas e cupins	Espera-se a ausência de formigas e cupins, o que indica a execução de tratamentos culturais e controle adequados	Ausência = 3 Presença = 1
	Presença de cipós e lianas	Espécies não arbóreas que dominam a copa das árvores, em especial os terços superiores e médios	Em áreas degradadas a presença de cipós e de lianas é mais frequente indicando a ocorrência de claros na área.	Presente = 1 Ausente = 3
Grau de intervenção e impactos na área	Nível de perturbação na área	Ocorrência de fogo, pastejo de animais domésticos, lixo, artefatos de indivíduos lenhosos	A ausência de perturbações que restringem o desenvolvimento e o estabelecimento da regeneração natural e da vegetação em geral.	Ausência = 3 Presença = 1
	Presença humana (aspectos negativos)	Trilhas e caminhos	Áreas perturbadas com uso frequente por pessoas tendem a ficar vulneráveis, podendo interferir na vegetação.	Ausência = 3 Presença = 1
	% de cobertura do solo com gramíneas	Superfície do solo coberto por gramíneas invasoras.	Espécies invasoras dominantes em áreas degradadas indicam a falta de manejo de controle e práticas culturais.	0% = 3 0 - 25% = 2 25 - 50% = 1 > 50% = 0
Grau de intervenção e impactos na área (Continuação)	Presença de espécies exóticas	Espécies agrícolas ou florestais exóticas à região e invasoras (excetuando-se gramíneas)	Ausentes em áreas de conservação ou empregadas com fins de restauração ambiental	Ausência = 3 Presença = 1
	% de área com cobertura morta	Solo recoberto devido a prática silvicultural para controle de gramíneas.	A presença de cobertura morta oriunda do controle de gramíneas protege o solo contra erosão e favorece a penetração de água no solo.	> 50% = 3 (alta) 30 - 50% = 2 (média) 0 - 30% = 1 (baixa)

Fechamento do dossel	% de luz no solo	Quantidade de luminosidade que atravessa o dossel e atinge a superfície do solo.	O rápido desenvolvimento da vegetação promove o sombreamento em projetos de restauração, diminui a luminosidade incidente no solo, fator importante na redução da mato-competição	0 – 30% = 3 (baixa) 30 – 50% = 2 (média) > 50% = 1 (alta)
	% de luz a 1m do solo	Quantidade de luz que chega a 1 m do solo.		

2.2 Áreas de estudo

De acordo com o protocolo MESMIS (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002) foram empregadas como áreas de referência fragmentos de floresta nativa da região (AR1) localizada a 23°34'40,02"S e 47°31'17,80"O, no município de Sorocaba-SP, cobertos por vegetação de Floresta Estacional Semidecidual em estágio inicial de regeneração (KORTZ, 2009), utilizada para estabelecer os cenários utilizados no protocolo (Tabela 1). A outra área de referência foi uma restauração instalada no modelo diversidade e preenchimento com seis anos (AR2), situada na região de Itu, São Paulo, a cerca de 30 km de Sorocaba, em propriedade de 526 ha, localizada a 23°14'15.18"S e 47°24'3.29"O. Neste mesmo local, se localizaram as áreas de restauração estudadas (T1 a T10), instaladas em maio de 2013 empregando-se delineamento experimental fatorial em blocos ao acaso, com três repetições e 10 tratamentos (Tabela 2). A lista de espécies plantadas e sua classificação em grupo sucessional (pioneira e não pioneira) são apresentadas no Anexo 1.

Tabela 2: Descrição dos modelos de restauração de áreas degradadas implantados na área de estudo situada em Itu – SP empregados para avaliação dos indicadores segundo o método MESMIS (MASERA et al. 1999), adaptados por Piña-Rodrigues et al., (2015). Data de plantio: maio de 2013. Idade: 2 anos.

Identificação	Descrição	Proporção	Identificação
Sistema adensado	1 m ² /planta (1 x 1 m)	60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras	T1
		60% de não pioneiras e 40% de pioneiras	T2
		80% de não pioneiras e 20% de pioneiras	T3
Semi-adensado	2 m ² /planta (2 x 1 m)	60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras	T4
		60% de não pioneiras e 40% de pioneiras	T5
		80% de não pioneiras e 20% de pioneiras	T6
Denso	0,3 m ² /planta (1 x 0.3 m - 3 plantas/m ²)	60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras	T7
		60% de não pioneiras e 40% de pioneiras	T8
		80% de não pioneiras e 20% de pioneiras	T9
Convencional	6 m ² /planta (3 x 2 m)	60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras	T10

2.3 Aplicação do protocolo de indicadores

Na área de referência AR1 foram instaladas três parcelas de 10 x 10 m (100 m²) e na AR2 foram amostradas cinco parcelas de 10 x 5 m, espaçadas de 50 m entre elas, sendo os indicadores avaliados na estação seca em julho-agosto de 2015. A aplicação dos indicadores foi realizada nas áreas de experimentos (T1 a T10) durante o inverno na estação seca em agosto de 2015, aos dois anos após o plantio. As amostragens foram realizadas na área total do experimento, excetuando-se T10, no qual em cada repetição foram instaladas três parcelas de 10 x 10 m (100 m²). Todos os indivíduos nas áreas de estudo foram identificados quanto a sua respectiva espécie e mensurados obtendo-se

dados de diâmetro a altura do peito (DAP - mm), altura total (m) altura do fuste (m), presença de cipós e lianas, posição da bifurcação e herbivoria.

Para avaliação da taxa de herbivoria, estimou-se o percentual da copa dos indivíduos apresentando sinais de predação (Tabela 1). A seguir, foi realizada a estimativa dos indicadores de cobertura do solo com serapilheira, herbáceas e gramíneas e medida a altura da serapilheira com o uso de quadrante de 0,50 x 0,50 m, subdividido em quadrículas de 0,25 x 0,25 m, sendo atribuída a cada subdivisão o percentual de 25% de cobertura. O quadro foi lançado em três pontos de cada parcela de monitoramento e neles foi medida também a incidência de luz se empregando luxímetro digital modelo SKLD-400A utilizando a unidade de aferição em Lux. Como referencial foram efetuadas medições em lux na área externa ao plantio, considerada como 100% de incidência luz, e posteriormente calculada a percentagem de luz dentro da restauração em relação a área aberta. O sensor do luxímetro foi posicionado no centro do quadro na altura do solo e a 1 m do solo nas quatro direções (N, S, L e O) utilizando uma bússola para o posicionamento. Paralelamente, foi efetuada a vistoria dos tratamentos anotando-se a ocorrência de vestígios de fogo, pastejo de animais, lixo ou artefatos lenhosos, trilhas ou caminhos e formigueiros ou cupinzeiros. As classificações das espécies quanto ao grupo ecológico foram realizadas com base no anexo da Resolução SMA nº 08/2008 (SÃO PAULO, 2008) e as funções ecológicas foram determinadas para cada espécie por meio de revisão bibliográfica.

2.4 Análise dos dados

Para os indicadores de estrutura (Tabela 1), a diversidade de espécies foi determinada pelos índices de Shannon (H'), de equitabilidade de Pielou (J') e pela riqueza (S) e densidade de plantas segundo Magurran (2004). Os incrementos médios de altura e diâmetro foram calculados dividindo-se os dados obtidos por indivíduo pelo número de meses após o plantio, obtendo-se o valor médio de cada espécie.

Cada indicador foi avaliado criticamente em campo para identificação de problemas e dificuldades encontradas na sua aplicação. Posteriormente, com base nas anotações em campo e interpretação dos dados coletados, foram avaliados quanto as seguintes propriedades: (a) **repetibilidade** - facilidade de aplicação várias vezes em dado

monitoramento ao longo do tempo; (b) **sensibilidade**- a capacidade de resposta do indicador perante ao ambiente considerando a comparação entre eles a partir da interpretação dos dados para cada área; (c) **aplicação em campo** - sua facilidade de coleta e amostragem em campo; (d) **interpretação** - a facilidade de gerar dados e de conseguir interpretá-los em relação aos objetivos da restauração. Para estas quatro propriedades desejáveis foram atribuídas notas para cada um dos indicadores variando de 0 a 3, onde zero – mínimo - considerado ruim, difícil, impreciso, indesejável e três (3) - máximo, para bom, prático, fácil. O grau de eficiência dos indicadores foi definido pela somatória das pontuações atribuídas e, posteriormente, classificados como de baixa eficiência (0 a 6 pontos), regular a bom (> 6 a 10 pontos) e ótima (> 10 pontos).

Para a seleção dos indicadores que refletissem o estabelecimento de processos ecológicos, a análise de ordenamento de componentes principais (PCA) foi utilizada verificando-se quais indicadores estavam mais relacionados com as áreas estudadas. Foi considerado que a área de restauração mais antiga (AR2) representou a referência pretendida para a trajetória das áreas de restauração estudadas (T1 a T10) e que, portanto, os indicadores a ela relacionados seriam potenciais para estimar a evolução do processo de restauração, até aos seis anos. Por outro lado, a área de fragmentos (AR1) foi considerada como a trajetória esperada em longo prazo para as restaurações estudadas e que os indicadores a ela relacionados poderiam avaliar a ocorrência de processos ecológicos representativos de florestas naturais em estágio sucessional inicial. Para a análise de componentes principais foi empregada a matriz de 10 áreas x 20 indicadores no programa PAST 3.02 (HAMMER, 2014), com os dados normalizados e utilizando o método UPGMA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da aplicação dos indicadores

Entre os indicadores de diversidade da comunidade, a principal dificuldade foi a necessidade de identificação das espécies e conhecimentos sobre a interpretação dos índices fitossociológicos, como o índice de Shannon, a equitabilidade e a riqueza de espécies, os quais são relacionados (Tabela 3). Contudo, para estes indicadores, a possibilidade de trabalhar com morfoespécies viabilizaria sua utilização mas dificultaria a aplicação dos indicadores relativos aos processos sucessionais, os quais requerem a classificação das espécies em grupos ecológicos. Por isto, nestes indicadores a principal dificuldade foi a necessidade de conhecimento taxonômico das espécies utilizadas inicialmente na restauração.

Os indicadores de estrutura da comunidade permitem a avaliação do estágio de conservação da floresta e de alterações causadas pela mudança no uso do solo (MORAES et al., 2010). No presente estudo, os indicadores de estrutura da comunidade foram de fácil avaliação em campo e interpretação, permitindo a comparação entre as áreas. No entanto, o indicador de presença de bifurcações requereu conhecimentos sobre a arquitetura de cada espécie. Esta característica pode ser empregada como indicador de ausência de competição por luz no início do crescimento dos indivíduos e está associada a espécies pioneiras e secundárias que demandam maior quantidade de luz para seu desenvolvimento (MACIEL et al., 2003).

Os indicadores utilizados para avaliar a diversidade funcional (Tabela 4) mostraram-se dependentes da função ecológica de cada indivíduo (pioneira, secundária, fixador de N₂, depositador de material orgânico e atração e abrigo para dispersores). Apesar de serem de fácil aferição, houve dificuldade de interpretação dos resultados pois necessitam de conhecimento sobre a ecologia das espécies. Diversos autores apontam a necessidade de caracterizar as espécies mesmo que apresentem dificuldades de mensuração (quantificação) em determinados níveis (ENRENFELD ; TOTH, 1997; ENGEL ; PARROTA, 2009) Embora existam vários guias de campo para identificação morfológica de espécies arbóreas (LORENZI, 1992; RAMOS, 2007; FLÔRES et al, 2015), a tarefa nem sempre é simples devido a suas peculiaridades morfológicas. Contudo, após

identificadas as espécies e as suas funções, torna-se um indicador de importância singular por acompanhar a dinâmica das interações entre as espécies presentes na trajetória da restauração, onde em termos ambientais, a concepção sequencial (sucessão ecológica) favorece o entendimento de que determinadas espécies cumprem o papel de facilitadoras para outras mais exigentes (CAMPELLO et al., 2005).

Os demais indicadores utilizados de diversidade funcional foram de fácil utilização e interpretação. A presença de epífitas está associada aos estágios de sucessão avançados ao longo de uma trajetória temporal e expressam a contribuição na diversidade biológica das florestas tropicais, em riqueza de espécies e biomassa deste grupo funcional (DETTKE et al 2008). Por sua vez, a cobertura do solo por herbáceas também foi um indicador eficiente e de fácil utilização, contudo foi dependente da repetibilidade e representatividade da área a ser amostrada. Seu uso representa a maior dispersão de indivíduos, indicando o início do processo de sucessão e cobertura do solo. Se a cobertura com herbáceas for pouco significativa, pode não gerar as alterações esperadas, tais como sombreamento, redução de temperatura do solo entre outros, que favorecem a instalação das espécies arbóreas (CHEUNG et al., 2009). Por outro lado, a produção de serapilheira que representa o primeiro estágio de transferência de nutrientes e energia da vegetação para o solo, foi indicador de fácil emprego em campo e considerado relevante pois se relaciona ao estabelecimento de processos ecológicos que interferem nas propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos (CALDEIRA, et al., 2007). Para os indicadores de diversidade funcional, as propriedades de sensibilidade, facilidade de aplicação e interpretação foram as que afetaram seu emprego, com quatro dos indicadores (n= 6) com eficiência classificada como regular a boa.

Tabela 3: Notas atribuídas aos indicadores de diversidade e estrutura da comunidade baseadas nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.

<i>Diversidade da comunidade e estrutura</i>	Repetibilidade	Sensibilidade	Aplicação	Interpretação	Soma das notas	EF
Atributo	Nota	Nota	Nota	Nota		
<i>Diversidade</i> Índice de Shannon (H')	3	2	2	2	9	Regular a bom
<i>Equitabilidade</i> Índice de Pielou (J')	3	2	2	3	10	Regular a bom
<i>Riqueza de espécies</i> Nº de espécies arbóreas (S)	3	2	2	3	10	Regular a bom
<i>Altura (m)</i> Incrementos médios em altura (IMA)	3	3	3	3	12	Ótima
<i>DAP (cm)</i> Incremento médio diamétrico (IMD)	3	3	3	3	12	Ótima
<i>Bifurcação (nº) / Posição da bifurcação</i>	2	3	3	2	10	Regular a bom
<i>Nº de estratos</i> Estratificação florestal	3	3	3	3	12	Ótima

Tabela 4: Notas atribuídas aos indicadores de diversidade funcional estabelecidos nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.

Estrutura da comunidade Diversidade funcional	Repetibilidade	Sensibilidade	Aplicação	Interpretação	Soma das Notas	EF
Atributo	Nota	Nota	Nota	Nota		
<i>Presença de epífitas</i> Restauração da estrutura da floresta	3	3	3	3	12	Ótima
<i>Cobertura de solo com herbáceas e regenerantes</i> Índice de cobertura do solo	2	2	3	3	10	Regular a bom
<i>% de espécies por grupo ecológico</i> Nº de espécies por grupos ecológicos utilizados em restaurações	3	3	2	2	10	Regular a bom
<i>Funções ecológicas das espécies</i> Nº de funções ecológicas das espécies empregadas	3	3	1	1	8	Regular a bom
<i>Altura da serrapilheira</i> Altura da camada de deposição das folhas	3	3	3	2	11	Ótima
<i>% de área coberta por serapilheira</i> Solo recoberto por matéria orgânica.	3	3	3	2	11	Ótima

Os indicadores de manejo e conservação (Tabela 5) visam nortear intervenções de tratos culturais nas áreas em processo de restauração como a supressão de gramíneas, manutenção das mudas, irrigação controle de cupins e formigas. Espera-se que aos quatro anos de uma restauração o local deva ser capaz de se autoperpetuar (SÃO PAULO, 2015). Na área estudada com dois anos, alguns dos indicadores utilizados evidenciaram a falta de manejo, com a presença de gramíneas invasoras, o que pode dificultar o estabelecimento das arbóreas. A questão do manejo é confirmada pela presença de cupins e formigas, mostrando a ausência de tratos culturais na área e a presença de espécies de formigas-cortadeiras como a saúva (*Atta* ssp.) e/ou a quenquém (*Acromyrmex* ssp.), consideradas prejudiciais ao desenvolvimento das mudas (RODRIGUES et al., 2015). Em termos práticos de avaliação dos indicadores, a observação destes fatores pode ser complexa devido à presença de cobertura morta, que encobre a presença de formigas, o que requer o caminhar em toda a área amostrada.

O fechamento do dossel, afeta a distribuição temporal e espacial da luz no solo, determinando níveis diferenciados de umidade do ar, temperatura e condições de umidade do solo (JENNINGS et al., 1999), além de promover a interceptação das chuvas, e reduzir o seu impacto direto sobre o solo (MELO et al., 2007). Em campo, os indicadores de porcentagem de luminosidade apresentaram dificuldades de obtenção por necessitarem de equipamento e constante calibração com a luminosidade da área aberta. Porém outros instrumentos como, por exemplo, o esferodensímetro, podem ser empregados com facilidade. De maneira geral, este indicador foi de fácil aplicação e interpretação no campo e posteriormente na análise dos dados.

Tabela 5: Notas atribuídas aos indicadores de manejo e conservação estabelecidas nos levantamentos realizados em área de diferentes modelos de restauração em Itu, São Paulo. Idade: 2 anos, dados amostrados em 2015.

<i>Manejo e conservação</i>	Repetibilidade	Sensibilidade	Aplicação	Interpretação	Soma das Notas	EF
Atributo	Nota	Nota	Nota	Nota		
<i>Taxa de herbivoria</i>	3	3	2	3	11	Ótima
<i>Presença de cupins e formigas</i>	3	2	1	1	7	Regular a bom
<i>Presença de cipós e lianas</i>	3	3	2	2	10	Ótima
<i>Nível de perturbação da área</i>	3	3	2	3	11	Ótima
<i>Presença humana (aspectos negativos)</i>	3	3	3	3	12	Ótima
<i>% da cobertura do solo por gramíneas</i>	3	3	2	2	10	Ótima
<i>Presença de espécies exóticas</i>	3	3	1	3	10	Ótima
<i>% de cobertura morta</i>	3	3	3	3	12	Ótima
<i>% de luz no solo e a 1 m</i>	3	3	1	3	10	Ótima

3.2 Análise da eficiência dos indicadores

A repetibilidade foi a propriedade que recebeu maiores notas para a maioria dos indicadores, excetuando-se apenas bifurcação e cobertura do solo com herbáceas (Tabela 3), mostrando que este não foi o problema na aplicação do protocolo. Para as variáveis de cobertura do solo com gramíneas e herbáceas constatou-se que o uso de três repetições de 0,75 m² em 100 m² pode não representar a variação existente na área. Nesta condição, que pode ser facilmente identificada em campo, recomenda-se o aumento no número de repetições, o que tende a diminuir a variabilidade entre amostras. Por sua vez, os indicadores de diversidade da comunidade, com exceção apenas dos índices de diversidade, riqueza e equitabilidade, apresentaram menor sensibilidade do que os de estrutura.

Considerando o atributo de estabilidade e resiliência, a maioria dos indicadores apresentou repetibilidade, sensibilidade e facilidade de aplicação e interpretação. Excetuaram-se apenas os critérios de repetibilidade e aplicação para o índice de Shannon (H') e repetibilidade para o número de espécies, cobertura do solo com herbáceas e grupos ecológico. O mesmo não se constatou para os indicadores de manejo e conservação. Estes indicadores foram gerados por observação do aplicador e coletas de campo, mas em sua maioria, foram os que apresentaram maior problema na sua sensibilidade, aplicação e interpretação. De maneira geral, esta questão evidencia a importância não apenas do desenvolvimento de indicadores, mas também da capacitação de pessoal para sua aplicação e interpretação.

De maneira geral, os indicadores do conjunto de *estabilidade e resiliência*, apresentaram em sua maioria resultados mais assertivos em termos de dados numéricos em relação aos do grupo de *manejo e conservação* que possuem alguns indicadores qualitativos que podem ou não serem visualizados e podem ser interpretados de forma precipitada ou até mesmo ignorados pelo aplicador do protocolo que, ao final pode resultar em algum desvio na interpretação dos dados da análise na área monitorada.

Existe a necessidade de estabelecer parâmetros mínimos, que funcionem como indicadores que norteiem o processo de restauração, demonstrando os aspectos visuais da paisagem e a reconstrução da complexidade dos processos ecológicos que possam manter a dinâmica vegetal e a perpetuação (BARBOSA et al., 2011). Porém cabe ressaltar que os protocolos como o presente e aquele apresentado pelo Pacto da Mata

Atlântica (RODRIGUES et al., 2009), podem ser demasiadamente extensos, de complexa aplicação e interpretação e requerem capacitação de pessoal.

O aprimoramento de protocolos de pouca complexidade, focados em indicadores tidos como essenciais para o monitoramento, pode contemplar a função de avaliar a restauração ecológica. Ao identificar-se cada categoria de indicador utilizado ao longo de uma trajetória temporal, o protocolo tende a acompanhar as dinâmicas presentes no sistema e assim contemplar ao máximo índices capazes de monitorar as áreas. Para isso, segundo Durigan et al. (2010), o indicador ecológico, deve ser de fácil medição, apresentar clareza em seus resultados e ser passível de modificações ao longo do processo e ainda: ser sensível a fatores que modificam o ecossistema; responder aos fatores que atuam sobre o ecossistema de forma previsível; possibilitar predições sobre os efeitos dos agentes de degradação ou sobre os efeitos benéficos de práticas de manejo que venham a ser aplicadas; ser interativo e ter baixa variabilidade nas respostas aos fatores que representa. E por fim, deve-se considerar a adequação dos indicadores à escala espacial e temporal e ao nível de organização biológica (METZGER ; CASATTI, 2005). Todos indicadores devem ser capazes de resultar no acompanhamento da área em processo de restauração, indicando seu desenvolvimento e que se sustentará após alguns anos, refletindo aspecto de paisagem, a reconstrução da complexidade dos processos ecológicos que sejam capazes de manter a dinâmica vegetal e a sua perpetuação (BARBOSA et al., 2011).

Para buscar a simplificação do protocolo e avaliar quais dos indicadores testados podem representar os diferentes estádios de desenvolvimento e trajetória temporal das áreas estudadas, a análise de componentes principais mostrou que a maior variação dos dados foi mais representada pelo eixo 1 (43,8%; autovalor- 861,465), enquanto o eixo 2, acumulou 25,85% (autovalor= 508,439) da variabilidade total de dados. Isto representa que as variáveis mais associadas ao eixo 1 foram as que mais influenciaram as áreas a ela relacionadas. No eixo 1, as maiores associações ocorreram para as variáveis cobertura do solo com serapilheira- Ser ($r = -0,7127$) e a presença de gramíneas- GRam ($r = 0,64478$), seguidas dos indicadores de luz no solo- Lsol% ($r = 0,1532$), cobertura do solo com herbáceas -Her ($r = 0,1387$) e luz a 1 m do solo- L% ($r = 0,12774$). Ambas as áreas de referência estiveram mais relacionadas com o eixo 1 (AR1= 81,662; AR2= -28,596) mostrando que, para estas áreas mais antigas, fatores como a presença de

serapilheira e de gramíneas foram indicadores efetivos para estimar seu estado de desenvolvimento e podem, portanto, serem utilizados para caracterizar áreas de restauração mais antigas e florestas em estádios iniciais de regeneração (Figura 1). Por sua vez, estes mesmos indicadores permitiram também diferenciar as áreas de restauração com diferentes modelos, como se constatou para T09 ($r = -24,776$) e T04 ($r = -22,449$), ambos mais associados ao eixo 1, enquanto T07 ($r = 55,084$) esteve mais associado à presença de herbáceas, no eixo 2. As maiores correlações obtidas no eixo 2 ocorreram com a presença de herbáceas- Her ($r = 0,75672$), serapilheira ($r = 0,3565$) e gramíneas ($r = 0,35456$) (Figura 1). Isto significa que, para estas áreas com apenas 2 anos de restauração, a cobertura do solo com herbáceas, serapilheira e gramíneas se mostrou em um indicador potencial para avaliar as diferenças de funcionalidade ecológica entre as áreas.

De maneira geral, independentemente da idade da área, tanto para as mais antigas como o fragmento (AR1) e a restauração de 6 anos (AR2), quanto para as mais recentes, representadas pelos diferentes modelos de restauração estudados com apenas dois anos, os indicadores mais efetivos e que permitiram a diferenciação entre elas foram a cobertura do solo com gramíneas e serapilheira, a percentagem de luz no solo e a 1 m deste e, em menor escala, o número de espécies e o percentual de espécies não pioneiras presentes na área (Figura 1). Os demais indicadores, segundo a análise de componentes principais, podem ser considerados como redundantes ou com baixa sensibilidade para as condições estudadas, apesar de terem sido considerados como eficientes devido às suas características de repetibilidade, sensibilidade, aplicação e interpretação.

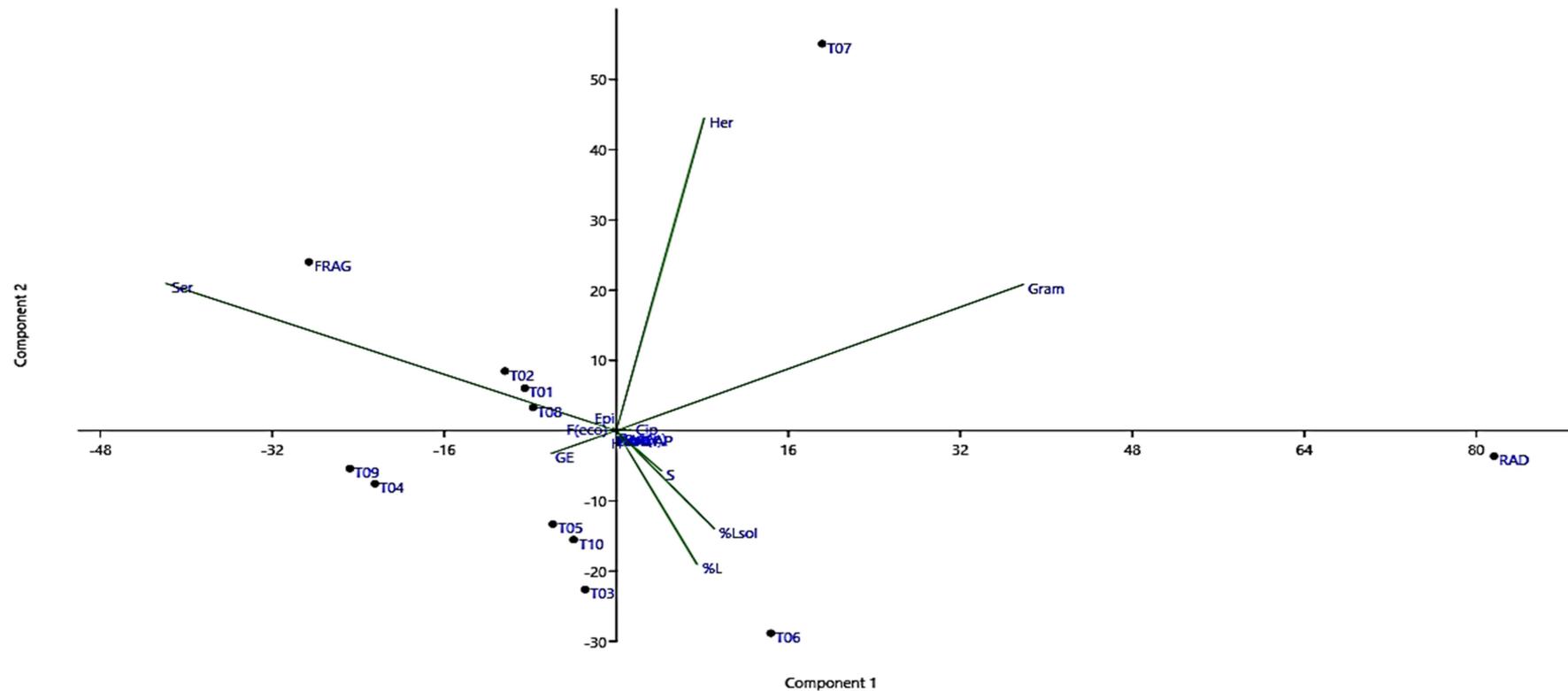


Figura 1: Resultado da análise de componentes principais (PCA). Linhas representam os vetores dos parâmetros principais. Componente 1 (eixo 1) explica 43,8% e o componente 2 (eixo 2) 25,85% da variabilidade obtida para os indicadores de estrutura (H' , J , S , Alt , DAP , Bif , Est), diversidade funcional (EPI , $HERB$, GE , $F(eco)$, Ser , $CobSer$) e de manejo e conservação ($\%CUPFORM$, CIP , $Pertu$, PH , $Gram$) aplicados em diferentes modelos de restauração de áreas degradadas. H' = índice de diversidade de Shannon; J = equitabilidade; S = número de espécies, Alt = Altura total da árvore (m), DAP = Diâmetro a altura do peito (m), Bif = Número de bifurcações, Est = Número de estratos; EPI , $HERB$ = Cobertura do solo (%) com herbáceas e regenerantes, GE = % de espécies por grupo ecológico, $F(eco)$ = Funções ecológicas das espécies, Ser = Altura da serapilheira, $CobSer$ = % de área coberta pela serapilheira; ($\%CUPFORM$ = Presença de cupins e formigas, CIP = Presença de cipós e lianas, $Pertu$ = Nível de perturbação na área, PH = Presença humana (aspectos negativos), $Gram$ = % de cobertura do solo com gramíneas. $FRAG$ = fragmentos de floresta natural, considerada como área de referência (AR1) e RAD = restauração de 6 anos com espaçamento 3 x 2 m, considerada como referência (AR2). $T01$ a $T10$ = modelos de experimentos descritos na Tabela 2.

Os indicadores propostos no protocolo baseado no método MESMIS, apresentaram propriedades de repetibilidade e sensibilidade embora alguns tenham sido menos eficientes em relação à facilidade de aplicação em campo e interpretação. Mesmo que ainda não se consiga aferir se o sistema avaliado seja capaz de se auto sustentar isso se deve ao pouco tempo de implementação dos modelos de restauração. Entretanto, os processos metodológicos de aplicabilidade e os indicadores propostos foram eficientes como ferramenta para o monitoramento de restauração e geraram dados capazes de permitir o acompanhamento da trajetória temporal da área analisada. Contudo, foi constatada a redundância entre vários dos indicadores empregados e coletados, o que aponta para a possibilidade de simplificação do protocolo devendo ser avaliada em futuras aplicações.

Os indicadores de cobertura do solo com herbáceas, gramíneas e serapilheira, a percentagem de luz captada na superfície do solo e a 1 m de altura, o número de espécies e o percentual de espécies não pioneiras foram os indicadores que mais refletiram as diferenças temporais e espaciais e as condições das áreas estudadas, apresentando sensibilidade e representatividade na caracterização dos processos ecológicos. Para os indicadores de cobertura de solo recomenda-se o aumento do número de amostras em áreas de 100 m².

Com a alteração do tempo de monitoramento passando de quatro anos na Resolução SMA n° 8, de 31 de janeiro de 2008 para vinte anos na Resolução SMA n° 32 de 2014, isto permitirá que este protocolo seja melhor avaliado e averiguar quais indicadores poderão ser acrescidos ou retirados para refletir o comportamento dos sistemas restaurados e assim tornando a prática da restauração ecológica mais pragmática, sólida, diminuindo as possibilidades de falha.

4 CONCLUSÃO

Como principal característica deste protocolo testado, destaca-se a facilidade e potencial de replicabilidade e sensibilidade a alterações ao longo do tempo, porém necessita do prévio conhecimento taxonômico das espécies utilizadas e suas respectivas funções ecológicas. Alguns indicadores qualitativos requerem atenção para não passarem despercebidos pelo aplicador e devem ser melhor interpretados seguindo bibliografias específicas para uma melhor compreensão dos resultados.

Para a simplificação do protocolo e sua rápida aplicação no monitoramento de áreas de restauração recomenda-se a utilização dos indicadores de diversidade funcional tais como a proporção de espécies não pioneiras e a cobertura do solo com herbáceas e serapilheira além dos de manejo e conservação, tais como a cobertura do solo com gramíneas e incidência de luz no solo.

REFERÊNCIAS

ALLISON, S.K. What *Do We Mean When We Talk About Ecological Restoration?*. *Ecological Restoration* v.22 n.4. p. 281-286. 2004.

ANAND, M. ; DESROCHERS, R.E. Quantification of restoration success using complex systems concepts and model. *Restoration Ecology*, n.12, p. 117-123. 2004.

ANDREASEN, J. K., O'NEILL, R.V., NOSS, R.; SLOSSER, N.C. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, n. 1, p. 21-35 , 2001.

BARBOSA, K.C.; BARBOSA, L.M. ; REGO, L.F; A importância do estabelecimento de parâmetros de avaliação de qualidade em reflorestamentos compensatórios. In: Barbosa, Luiz Mauro, coord. *Anais do VI Simposio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros*. Luiz Mauro Barbosa – São Paulo, Instituto de Botânica - SMA, p. 344. 2011.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI. S.; RODRIGUES, R. R. Indicadores de avaliação e monitoramento de áreas restauradas com reflorestamentos heterogêneos. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). *Anais do III Simpósio sobre recuperação de áreas degradadas/Luiz Mauro Barbosa – São Paulo/ Instituto de Botânica*. 2009.

BRANCALION, P.H.S., PADOVEZI, A., FARAH, F.T., VIANI, R.A.G., BARRETO, T.E. ; RODRIGUES, R.R. Indicadores de avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração florestal: o exemplo do pacto pela restauração da Mata Atlântica. In: Barbosa, Luiz Mauro, coord. *Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros*. Luiz Mauro Barbosa – São Paulo, Instituto de Botânica - SMA, 344 p. 2011.

BRANCALION, P.H.S., LIMA, L.R. ; RODRIGUES, R.R. Restauração ecológica como estratégia de resgate e conservação da biodiversidade em paisagens antrópicas tropicais. In: Barbosa, Luiz Mauro, coord. *Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros*. Luiz Mauro Barbosa – São Paulo, Inst. de Botânica - SMA,. 344 p. 2011.

CALDEIRA, M.V.W.; MARQUES, R.; SOARES, R.V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – floresta ombrófila mista Montana – Paraná. *Revista Acadêmica*, v. 5, n. 2, p. 101-116. 2007.

CAMPELLO, E.F.; FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. Aspectos Ecológicos da Seleção de Espécies para Sistemas Agroflorestais e Recuperação de Áreas Degradadas. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R.L. (ed. Téc.) *Agroecologia*:

princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável /, Adriana Maria de Aquino, Renato Linhares de Assis. – Brasília, DF : EMBRAPA. Informação Tecnológica, 2005.

CIANCIARUSO, M.V., BATALHA, M.A., GASTON, K.J. ; PETCHEY, O.L. Including intraspecific variability in functional diversity. *Ecology*. V. 90. N.1. 81-89 p. 2009.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CHEUNG, K.C.; MARQUES, M.C.M.; LIEBSCH. D. Relação entre a presença de vegetação herbácea e a regeneração natural de espécies lenhosas em pastagens abandonadas na Floresta Ombrófila Densa do Sul do Brasil. *Acta botânica brasileira*, v.23, n4, p. 1048-1056. 2009.

CONVERTINO, M.; BAKER, K.M; VOGEL, J.T.; LU, C.; SUEDEL, B.; LINKOV, L. Multi-criteria decision analysis to select metrics for design and monitoring of sustainable ecosystem restorations. *Ecological Indicators*, v. 26, p. 76–86. 2013.

CORRÊA, R. S. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado: Manual para revegetação. 1.ed. Brasília: Universa, p. 187. 2009.

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

DETTKE, G. A., ORFRINI, A. C. ; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. Composição florística e distribuição de epífitas vasculares em um remanescente alterado de floresta estacional semidecidual no Paraná, Brasil. *Revista Rodriguésia* v. 59. n.4. p. 859-872. 2008.

DURIGAN, G., ENGEL, V.L., TOREZAN, J.M., MELO, A.C.G., MARQUES, M.C.M., MARTINS, S.V., REIS, A., SCARANO, F.R.. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas?. *Revista Arvore* n.34. p. 471-485 . 2010.

DURIGAN. G.; SUGANUMA, M. S.; MELO, A. C. G. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 463-474. 2016.

EHRENFELD J.G., TOTH L.A. Restoration ecology and the ecosystem perspective. *Restoration Ecology*, n.5, p.307-317. 1997.

ENGEL, V.L. Abordagem “BEF”: um novo paradigma na restauração de ecossistemas?. In: Barbosa, Luiz Mauro, coord. *Anais do VI Simposio de*

Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros. Luiz Mauro Barbosa – São Paulo, Instituto de Botânica - SMA, p. 344. 2011.

ENGEL, V. L. ; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: Restauração Ecológica de Sistemas Naturais. In: KAGEYAMA, P.Y (Org.). Botucatu, ed. FEPAF ed. 1, p.3-25. 2009.

FLÔRES, T.B.; COLLETTA, G.D.; SOUZA, V.C.; IVANUSKAS, N.M.; TAMASHIRO, J.Y. ; RODRIGUES, R.R. Guia ilustrado para identificação das plantas da Mata Atlântica,v.1. Ed. Oficina de Textos, p. 256. 2005.

FONSECA, V.H.C. Seleção de indicadores ecológicos para a avaliação de planos de restauração de áreas degradadas. Dissertação de Mestrado, UFSCar - Sorocaba. p.86. 2011.

-

FREITAS, J.R., CIANCIARUSO, M.V.; BATALHA, M.A. Functional diversity, soil features and community functioning: a test in a cerrado site. Brazilian Journal of Biology, v. 72, n. 3, p. 463-470. 2012.

GANDOLFI, S. Indicadores de avaliação e monitoramento de áreas em recuperação. In Anais do workshop sobre recuperação de áreas degradadas em matas ciliares: modelos alternativos para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares no estado de São Paulo, p. 44-52. 2006.

GUNDERSON, L.H. Ecological Resilience – in Theory and Application. In: Annual Review of Ecology and Systematics, n.31, p. 425-439. 2000.

HAMMER, Ø. Manual of Paleontological Statistics (PAST) Version 3.02. Museu de História Natural, Universidade de Oslo, 2014.

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

LEPS, J.; BELLO, F; LAVOREL, S; BERMAN, S. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. Preslia, n.78, p. 481–501. 2006.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; OLIVEIRA, R.E. Biodiversidade e restauração ambiental. In: Restauração Ecológica de Sistemas Naturais. In: KAGEYAMA, P.Y (Org.). Botucatu, ed. FEPAF ed. 1, p. 20-46 . 2009.

KAGEYAMA, P.Y. SANTOS; J.D. Aspectos da política ambiental nos governos Lula. FAAC/UNESP (Bauru. Oline) v. 1, n. 2, p. 179-192. 2011.

KORTZ, A.R., Composição Florística dos Fragmentos do campus da UFSCar Sorocaba. , p.1-49. 2009.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. *Revista Science* v. 310, p. 1628. 2006.

LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, v.2, p. 135-148. 2002.

LÓPEZ-RIDAURA, S., VAN ITTERSUM, M. K.; MASERA, O. R.; LEFFELAAR, P. A.; ASTIER, M. ; VAN KEULEN, H. Sustainability evaluation. Applying ecological principles and tools to natural resource management systems. P.139-167. In Maples, A.D., org. *Sustainable development: new research*. Ed. NovaScience, 2005.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil. Vol. 1, 2 e 3. Nova Odessa, Ed. Plantarum, p. 384. 1992,

MAES, W.H.; FONTAINE, M.; RONGÉ, K.; HERM, M.; MUYS, B. A quantitative indicator framework for stand level evaluation and monitoring of environmentally sustainable forest management. *Ecological Indicators*, n.11, p. 468–479. 2011.

MAGURRAN, A. E., *Measuring biological diversity*. 1 Ed. Blackwell Publishing. Reino Unido, p. 215. 2004.

MARON, M.; COCKFIELD, G. Managing trade-offs in landscape restoration and revegetation projects. *Ecological Applications*, v. 18, n.8. 2008.

MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIDAURA, S. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. México: Mundi-Prensa, p.109. 1999.

MELO, A. C. G; REIS, C. M.; RESENDE, R. U. Guia para monitoramento de reflorestamentos para restauração – Circular Técnica 1. São Paulo: SMA-SP, Jan. 2010. Disponível em: <http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/Sigam2/Repositorio/222/Documentos/C_Tecnica_01.pdf>. Acesso em: 12 Agosto. 2016. *Revista Oecologia Australis*, v. 2. n.14. p 437-451. 2010.

MENDOZA, G.A.; PRABHU, R. Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management. *Forest Ecology and Management*. n.174. p. 329-343. 2003.

METZGER, J.P.; CASATTI, L. Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP. *Revista Biotropica*. v. 6, n.2, 2006.

METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; DIXO, M.; BEMACCI, C.B.; RIBEIRO, M.C.; TEIXEIRA, A.M.; PARDINI, R. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biological Conservation*, v.142, n.6, p. 1166-1177. 2009.

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

NAEEM, S.; BUNKER, D.E; HECTOR, A.; LOREAU, M.; PERRINGS, C. Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing An Ecological and Economic Perspective. Ed. Oxford. p.372. 2009.

NIEMI, G.J. ; MCDONALD, M.E. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v.35: p. 89-111. 2004.

NOGUEIRA JR., L. R. Estoque de carbono na fitomassa e midanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica, Tese de doutorado. ESALQ. p. 94. Piracicaba, 2010.

NOSS, R.F., Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management* n.115, p. 135–146, 1999.

ORSI, F., GENELETTI, D. Identifying priority areas for forest landscape restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. *Landscape and Urban Planning*, v.94. n.1, p. 20-30. 2010.

ORSI, F., GENELETTI, D., NEWTON, A. C. Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: An expert panel-based approach. *Ecological Indicators*, v.2 n11, p. 337-347. 2011.

PALMER, M.A.; AMBROSE, R.F.; POFF, N.L., Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology*, v.5, n.4, p. 291-300. 1997.

PARRISH, J.D; BRAUN, D.P. ; UNNASCH, R.S. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience*, v. 53 n. 9, p. 851-860. 2003.

PETCHEY, O.L. ; GASTON, K.J. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecological Letters*, v. 9, n.6, p. 741-758. 2006.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FREITAS, N.P. Aplicação de indicadores de restauração florestal para a proposição de estratégias de conservação de fragmentos florestais em Sorocaba, SP. Sorocaba: Prefeitura Municipal de

Sorocaba/Secretaria de Obras e Infraestrutura, p. 94. 2013. Disponível em: <http://www.sementeflorestaltropical.blogspot.com>

POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. SÉRIE TÉCNICA IPEF, v.12, n.31, p. 33-44, 1998.

RAMOS, V.S. Árvores da floresta estacional semidecidual: guia de identificação de espécies. Vol. 1. São Paulo. Ed. EDUSP, p. 320. 2007.

REIS, A; TRES, D. R; BECHARA, F. C. A Nucleação como Novo Paradigma na Restauração Ecológica: "Espaço para o Imprevisível". Simpósio sobre Recuperação de Áreas Degradadas com Ênfase em Matas Ciliares. São Paulo, Instituto de Botânica, p. 16. 2006.

REIS, A; ZAMBONIM, R.M.; NAKAZONO, E.M. Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal. São Paulo. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera, p.42. 1999.

REY-BENAYAS, J.M.; NEWTON, A.C.; DIAZ, A.; BULLOCK, J. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. Science, n.325, p. 1121-1124. 2009

RICARTE, J.D.; RIBEIRO, M.T.; FAGUDES, G.G; FERRAZ, J.M.G; HABIB, M. Avaliação de agroecossistemas em duas propriedades de produção orgânica através de indicadores de sustentabilidade. Revista Interagir Pensando a Extensão. Rio de Janeiro, p. 173-184. 2006.

RODRIGUES, R.R, GANDOLFI, S., NAVE, A.G. ; ATTANASIO, C.M. Atividades de adequação ambiental e restauração florestal do LERF/ESALQ/USP. Pesq. Flor. bras., Colombo, n.55, p. 7-21, 2007.

RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I.. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Organização por Rodrigues et al. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto Bioatlântica, p. 256. 2009.

RODRIGUES, R.R., GANDOLFI, S. ; P.H.S. BRANCALION. Restauração florestal. São Paulo. Oficina de textos. Ed 1, p. 432. 2015.

RUIZ-JAEN, M.C. AIDE, T.M. Restoration Success: How Is It Being Measured? Restoration Ecology, v. 13, n.3, p. 569–577. 2005.

SÃO PAULO. Portaria CBRN 01/2015 , de janeiro de 2015. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 15/01/2015. Seção Meio Ambiente.

SÃO PAULO. Resolução nº 08/2008, de 31 de janeiro de 2008. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 01/02/2008. Seção Meio Ambiente.

SÃO PAULO. Resolução nº 32/2014, de 03 de abril de 2014. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 29/04/2014. Seção Meio Ambiente.

SANTOS, A.M.M.; CAVALCANTI, D.R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. *Journal of Biogeography*, v.34, p.437-446, 2007.

SARRAZIN, F ; LECOMTE, J.; Evolution in the Anthropocene. *Science*, v.351. p. 922-923. 2016.

SIDDIQUE, I.; ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A.; LAMB, D.; NARDOTO, G.B.; OMETTO, J.P.H.B.; MARTINELLI, L.A.; SCHMIDT, S. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. *Biogeochemistry*, v.88, p. 89-101. 2008.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION (SER) International, Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica. www.ser.org y Tucson: 2004

SOUZA, F. M. ; 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.

SOUZA, M.C.S.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M., CASAGRANDE, J.C; SILVA, S.F.; SCORIZA, R.N. Funcionalidade ecológica de sistemas agroflorestais biodiversos: uso da serapilheira como indicador da recuperação de áreas de preservação. *FLORESTA*, v.46, n.1, p.75-82. 2015.

permanente Disponível em:
[https://www.researchgate.net/publication/299533575_FUNCIONALIDADE ECOLOGICA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS USO DA SERAPILHEIRA COMO INDICADOR DA RECUPERACAO DE AREAS DE P RESERVACAO PERMANENTE](https://www.researchgate.net/publication/299533575_FUNCIONALIDADE_ECOLOGICA_DE_SISTEMAS_AGROFLORESTAIS_BIODIVERSOS_USO_DA_SERAPILHEIRA_COMO_INDICADOR_DA_RECUPERACAO_DE_AREAS_DE_PRESERVACAO_PERMANENTE)

SUDING, K.N; GROSS, K.L. The dynamic nature of ecological systems: multiple states and restoration trajectories. In: *Foundations of Restoration Ecology*, p. 190-209. 2006.

SUDING, K.N. Toward an Era of Restoration in Ecology: Successes, Failures, and Opportunities Ahead. In: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v.42, p.465-487. 2011.

SUGANUMA, M. S. ASSIS, G.B.; MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Ecosistemas de referência para restauração de matas ciliares: existem padrões de biodiversidade, estrutura florestal e atributos funcionais? *Revista Árvore*, v.37, n.5, p. 835-847. 2013.

TEDER, T.; MOORA, M.; ROOSALUSTE, E.; ZOBEL, K.; ZOEBEL, M.; ARTEL, M. P. OLJALG, U. K. Monitoring of Biological Diversity: a Common-Ground Approach. *Conservation Biology*, v.21, n. 2, p. 313–317. 2006.

THEODORO, V.C.A.; CASTRO, F.P.; ABURAYA, F. Indicadores ecológicos de sustentabilidade de unidades de produção agrícola do assentamento Falcão – Cáceres- MT, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.6, n.3, p. 21-33. 2011.

TIERNEY, G.L.; FABER-LANGENDOEN, D.; MITCHELL, B.R.; SHRIVER, W.G.; GIBBS, J.P. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. *Ecological Environment*, v.7, n.6. p. 308-316. 2009.

TONELLO, K.C.; RODRIGUES, C.M. Efficiency in the adoption of measures for recovery of degraded areas in Brazil. In: XIV WORLD FORESTRY CONGRESS, 2015.

UHL, C., NEPSTAD, D., BUSCHBACHER, R., CLARK, K., KAUFFMAN, B., ; SUBLER, S. Studies of Ecosystem Response to Natural and Anthropogenic Disturbances Provide Guidelines for Designing Sustainable Land-Use Systems in Amazonia. In *Alternatives to Deforestation: Steps Toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest* (ed A. Anderson). Columbia University, New York. 1990.

URIBE, D.; GENELETTI, D.; DEL CASTILLO, R.F.; ORSI, F. Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities. *Sustainability*, v.6, n.2, p. 935-951. 2014.

VAN CAUWENBERGH, N., BIALA, K., BIELDERS, C., BROUCKAERT, V., FRANCHOIS, L., GARCIA CIDAD, V., HERMY, M., MATHIJS, E., MUYS, B., REIJNDERS, J., SAUVENIER, X., VALCKX, J., VANCLOOSTER, M., VAN DER VEKEN, S., WAUTERS, E., PEETERS, A., SAFE - a hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* n.120, 229–242 p. 2007

VAN STRAALLEN, N. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, 9 ed. p. 429-437. 1998.

WOLFSLEHNER, B.; VACIK H. Mapping indicator models: from intuitive problem structuring to quantified decision-making in sustainable forest management. *Ecological Indicators*, v. 11, n.2, p. 274-283. 2011.

WRIGHT, J.; SYMSTAD, A.; BULLOCK, J.M.; ENGELHARDT, K.; JACKSON, L. ; BERNHARDT, E. Restoring biodiversity and ecosystem function: will an integrated approach improve results? In: Biodiversity, ecosystem functioning and human wellbeing. Oxford University. S. NAEEM, D. E. BUNKER, A. HECTOR, M. LOREAU ; C. PERRINGS, Org. p. 167-177. 2009.

ANEXO 1

Anexo I - Lista de espécies utilizadas na restauração deste estudo classificadas de acordo com o Anexo II da Resolução SMA nº 08 de 2008 (SÃO PAULO, 2008).

Espécie	Nome comum	Classe sucessional
<i>Albizia polyphylla</i>	Angico Branco	NP
<i>Alseis floribunda</i>	Quina-de-são-paulo	NP
<i>Amaioua guianensis</i>	Carvoeiro	NP
<i>Anadananthera macrocarpa</i>	Angico vermelho	NP
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	Peroba-poca	NP
<i>Bauhinia forficata</i>	Pata de vaca	P
<i>Cabralea canjerana</i>	Canjarana	NP
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitiba branco	NP
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro rosa	NP
<i>Ceiba speciosa</i>	Paineira	NP
<i>Centerlobium tomentosum</i>	Araribá	NP
<i>Copaiba longisdorffii</i>	Copaiba	NP
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	P
<i>Croton urucurana</i>	Sangra d'agua	P
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	Pau viola	P
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Timburi	P
<i>Erythrina falcata</i>	Corticeira-da-serra	NP
<i>Erythrina speciosa</i>	Mulungu	NP
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Ipê-roxo	NP
<i>Hymenaea courbaryl</i>	Jatobá	NP
<i>Inga laurina</i>	Ingá	P
<i>Miconia brunnea DC</i>	Jacatirão	NP
<i>Myroxylon peruiferum L. f.</i>	Cabreúva	NP
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela-amarela	P
<i>Ocotea laxa</i>	Canela-preta	NP
<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula	P
<i>Pterogyne nitens</i>	Amendoim-bravo	NP
<i>Rapanea ferruginea</i>	Capororoca-ferrugem	P
<i>Rapanea umbellata</i>	Capororoca	P
<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê branco	NP
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	P
<i>Tibouchina granulosa</i>	Quaresmeira	P
<i>Trema micrantha</i>	Pau-pólvora	P