



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Gilberto Fugimoto de Andrade

Proposta Metodológica de Indicadores para Recuperação
de Áreas Degradadas

Rio de Janeiro
2014



GILBERTO FUGIMOTO DE ANDRADE

Proposta Metodológica de Indicadores para Recuperação de Áreas Degradadas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadores: Prof. Josimar Ribeiro de Almeida D.Sc.
Prof^a. Gabriela Fernandez Sanchez D.Sc.

Rio de Janeiro
2014

Andrade, Gilberto Fugimoto de.

Proposta Metodológica de Indicadores para Recuperação de Áreas Degradadas / Gilberto Fugimoto de Andrade – 2014.

116 f. il. 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2014.

Josimar Ribeiro de Almeida e Gabriela Fernandez Sanchez.

1. Recuperação de Áreas Degradadas. 2. Monitoramento e Avaliação. 3. Indicadores. 4. Restauração Ecológica. 5. Marcos Ordenadores. I. Almeida, Josimar Ribeiro de. II. Sanchez, Gabriela Fernandez. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



Folha de aprovação

PROPOSTA METODOLÓGICA DE INDICADORES PARA RECUPERAÇÃO
DE ÁREAS DEGRADADAS

GILBERTO FUGIMOTO DE ANDRADE

Orientadores: Prof. Josimar Ribeiro de Almeida D.Sc.
Prof^a. Gabriela Fernandez Sanchez D.Sc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente: Prof. Dr. Josimar Ribeiro de Almeida

Examinadora: Pro^a Dr^a Gabriela Fernandez Sanchez

Examinadora: Pro^a Dr^a Maria Fernanda Santos Quintela da Costa Nunes

Examinadora: Pro^a Dr^a Cristina Aparecida Gomes Nassar

DEDICATÓRIA

Um trabalho deve ser uma aposta no futuro melhor, portanto dedico este trabalho aos meus filhos Luiza e Vinicius como expressão da minha esperança.

AGRADECIMENTOS

Somos o resultado de múltiplas conexões, trajetórias e probabilidades dos quais seleciono algumas para aqui agradecer.

Agradeço à Sintonia do Universo que conspira de formas e maneiras misteriosas, nos proporcionando experiências, conexões e conhecimentos fantásticos traduzidos em desafios de aparente simplicidade em nosso cotidiano.

Agradeço à minha mãe que me orientou desde os primeiros passos para o saber como um processo contínuo e desfrutar o prazer de trilhar o caminho do conhecimento.

Agradeço ainda à minha família e aos amigos que contribuíram de tantas formas às minhas trajetórias.

Agradeço à Cleude, companheira que me tanto me apoiou e me deu os maiores presentes: Luiza e Vinicius.

Agradeço à orientação da Prof^a Dr^a Gabriela Fernandez Sanchez que dedicou à estruturação do trabalho, bem como ao Prof Dr Josimar Almeida pelo seu acompanhamento.

Agradeço ainda ao Sesc Rio que, mesmo em meio a tanta turbulência, abriu espaço para que meu aperfeiçoamento profissional possa ser revertido de forma mais sólida.

EPÍGRAFE

“Sabemos que o homem branco não compreende nossos costumes. Uma porção de terra, para ele, tem o mesmo significado que qualquer outra, pois é um forasteiro que vem à noite e extrai da terra aquilo que necessita. A terra não é sua irmã, mas sua inimiga, e quando ele a conquista, prossegue seu caminho. Deixa pra trás os túmulos de seus antepassados e não se incomoda. Rapta da terra aquilo que seria de seus filhos e não se importa. A sepultura de seu pai e os direitos de seus filhos são esquecidos. Trata sua mãe, a terra, e seu irmão, o céu, como coisas que possam ser compradas, saqueadas, vendidas como carneiros ou enfeites coloridos. Seu apetite devorará a terra, deixando somente um deserto. (...)

Se te vendermos nossa terra, ama-a como nós a amávamos. Protege-a como nós a protegíamos. Nunca esqueça como era a terra quando dela tomou posse. E com toda a sua força, o seu poder e todo o seu coração, conserva-a para os seus filhos, e ama-a como Deus nos ama a todos.

Vocês devem ensinar as suas crianças que o solo a seus pés, é a cinza de nossos avós. Para que respeitem a terra, digam a seus filhos que ela foi enriquecida com as vidas de nosso povo. Ensinem as suas crianças, o que ensinamos às nossas, que a terra é nossa mãe. Tudo que acontecer a terra, acontecerá aos seus filhos da terra. Se os homens cospem no solo, estão cuspiendo em si mesmos.

Isto sabemos: a terra não pertence ao homem; o homem pertence a terra.”

Carta do Cacique Seattle, 1855.

RESUMO

ANDRADE, Gilberto Fugimoto de. Indicadores de Áreas Degradadas. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

O presente trabalho consistiu em produzir uma Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD. Para tanto, foi realizada uma análise exploratória sobre o tema selecionando quatro propostas de Marcos Ordenadores em Recuperação de Áreas Degradadas. As propostas foram homogeneizadas por outro Marco Metodológico, o Marco PC&I (Princípio, Critérios e Indicadores – LAMMERTS van BUEREN e BLOM, 1997), que resultou em quatro Matrizes de Indicadores RAD. Estas matrizes foram amalgamadas em uma Matriz Sintetizada de Indicadores RAD. Além dessa, duas outras matrizes foram produzidas atribuindo pesos aos Indicadores RAD e uma nota global ao desempenho do PRAD. O conjunto dessas três Matrizes consiste na Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD. Conclui-se que os Marcos Ordenadores em Indicadores RAD estruturam-se à maneira de uma Programação Voltada a Objetivos, adequando-se aos pressupostos de Marcos Hierárquicos. Além disso, esses Marcos Ordenadores apresentam sintonia entre si quando comparado os Princípios por eles adotados, em razão de serem desenvolvidos à luz do mesmo Marco SER (*Society for Ecological Restoration International*, 2004). Por fim a presente Proposta Metodológica tem especificidade para o Bioma Mata Atlântica, para onde foi desenvolvida, carecendo de replicabilidade para outros biomas.

Palavras chave: Recuperação de Áreas Degradadas, Indicadores Ecológicos, Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas, Monitoramento, Avaliação, Restauração Ecológica, Marcos Ordenadores.

ABSTRACT

ANDRADE, Gilberto Fugimoto de. Indicadores de Áreas Degradadas. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

The aim of this study was to develop a Methodological Proposal Assessment Project for Recovery of Degraded Areas (PRDA) through Recovery of Degraded Areas (RDA) Indicators. For that purpose was held an exploratory analysis on the subject, selecting four proposals of Milestones on Recovery of Degraded Areas. The proposals were homogenized by another Methodological Milestone, PC Milestone (LAMMERTS van BUEREN e BLOM, 1997) resulting in four RDA Indicator matrices. These matrices were amalgamated into a Synthesized RDA Indicators Matrix. We conclude that the Milestones on RAD indicators are structured in the manner of the Objectives Oriented Programming, adapting to the assumptions of Hierarchical Milestones. Additionally, these Milestones feature tune with each other when compared Principles adopted by them, since they may be developed in the light of the same SER Milestone (Society for Ecological Restoration International, 2004). Finally this Methodological Proposal has specificity for the Atlantic Forest biome, where it was developed, lacking replicability to other biomes.

Keywords: Recovery of Degraded Areas, Indicators, Monitoring, Assessing, Ecological Restoration, Milestones.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística de Degradação de Terras entre 1981 e 2003.....	16
Tabela 2. Principais atos normativos relacionados à Recuperação de Áreas Degradadas (nível federal e estadual – RJ)	21
Tabela 3. Termo de Referência para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Alterada (TR – PRAD).....	45
Tabela 4. Termo de Referência para Elaboração de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas	49
Tabela 5. Matriz de Avaliação de Projeto de Reflorestamento Heterogêneo...	53
Tabela 6. Grau de importância dos parâmetros avaliados.....	73
Tabela 7. Critério de pontuação para indicadores de restauração	73
Tabela 8. Adaptação da Proposta SER ao Marco PC&I - Matriz de Indicadores para Projetos de Restauração Ecológica	90
Tabela 9. Adaptação da Proposta Melo <i>et al.</i> (2010) ao Marco PC&I – Matriz de Avaliação para Projetos de Restauração de Matas Ciliares.....	91
Tabela 10. Adaptação da Proposta Durigan (2011) ao Marco PC&I – Matriz de Indicadores Universais para o Monitoramento de Áreas em Recuperação.	93
Tabela 11. Adaptação da Proposta Brancalion <i>et al.</i> (2012) ao Marco PC&I – Matriz de Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração	94
Tabela 12. Matriz de Monitoramento e Avaliação de Indicadores RAD	97
Tabela 13. Grau de importância dos indicadores PRAD	99
Tabela 14. Tabela Diagnóstica de Avaliação de PRAD	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura do Trabalho	5
Figura 2. Emprego do Marco Metodológico PC&I para a Sistematização de Indicadores RAD	79
Figura 3. Estrutura Hierárquica do Marco PC&I.....	85

LISTA DE SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
ASV	Autorizações de Supressão de Vegetação
CIFOR	<i>Center for International Forest Research</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GLASOD	<i>Global Assessment of Land Degradation and Improvement</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISRIC	<i>International Soil Reference and Information Centre</i>
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MFS	Manejo Florestal Sustentável
NBR	Norma Brasileira
NPP	<i>Net Primary Productivity</i>
PC&I	Princípios, Critérios e Indicadores
PRAD	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RAD	Recuperação de Áreas Degradadas
SAF	Sistemas Agroflorestais
SER	<i>Society for Ecological Restoration International Science</i>
TAC	Termos de Ajustamento Ambiental
TBI	<i>Tropenbos International</i>
UFM	Unidade de Manejo Florestal
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Antecedentes e Justificativa do Trabalho.....	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodologia.....	4
1.4. Estrutura do Trabalho	4
2. Referencial Teórico	6
2.1. Áreas Degradadas	8
2.1.1. Definições	8
2.1.2. Importância do Tema	14
2.1.3. Ordenamento Jurídico de Áreas Degradadas.....	17
2.2. Recuperação de Áreas Degradadas	26
2.2.1. Conceitos e Definições	26
2.2.2. Diretrizes Técnicas Empregadas em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas.....	29
2.2.3. Diretrizes Normativas em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas	44
2.3. Análise da Recuperação de Áreas Degradadas	55
2.3.1. Monitoramento e Avaliação em PRADs.....	55
2.3.2. Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas	58
2.3.3. Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores RAD... 63	
2.3.3.1. Proposta SER.....	66
2.3.3.2. Proposta de Melo <i>et al.</i> (2010)	68
2.3.3.3. Proposta de Durigan (2011)	70
2.3.3.4. Proposta de Brancalion <i>et al.</i> (2012)	72
2.3.3.5. Marco PC&I	75
3. Metodologia.....	78

3.1. Esquema Metodológico.....	79
3.2. A sistematização de Indicadores RAD mediante o Marco PC&I	82
4. Resultados	87
4.1. Resultados Preliminares	88
4.2. Resultados Finais.....	96
5. Conclusões e Futuras Linhas de Pesquisa	101
5.1. Conclusões	101
5.2. Futuras Linhas de Pesquisa.....	103
6. Referências Bibliográficas.....	106

1. Introdução

1.1. Antecedentes e Justificativa do Trabalho

A degradação de terras é um fenômeno global sendo considerado como a mais ameaçadora mudança nos ecossistemas com impacto direto sobre o bem estar humano e social especialmente na vida das populações mais pobres (ADEEL *et al.*, 2005; VOGT *et al.*, 2011). Entretanto, a despeito da gravidade do problema, há dificuldade em mensurar sua real extensão, em parte pelas diferentes definições assumidas, como pela dimensão planetária que tal tarefa envolve.

A definição do termo '**Áreas Degradadas**' apresenta polissemia de conceitos, em razão das diferentes causas e consequências que envolvem fatores abióticos como o solo, fatores bióticos (fauna, flora), bem como o caráter antrópico e social, uma vez que a degradação está relacionada à exploração dos recursos naturais por atividades econômicas. Em muitos casos a degradação de terras encontra-se associada a processos de desertificação.

Considerando que a exploração dos recursos naturais é a principal causa de degradação dos ecossistemas, portanto cabe ao Estado desenvolver Políticas Ambientais para disciplinar a exploração e promover a reparação de impactos ambientais. No contexto de mitigação, surgiu a exigência de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas PRADs, por parte de órgãos ambientais, normalmente como requisito de processos de licenciamento de atividades ou como compensação por danos ambientais.

Por sua vez, o termo **Recuperação de Áreas Degradadas** encontra-se associado a diferentes conceitos e procedimentos como recuperação, reabilitação e restauração. Além disso, a partir da década de 1980 houve uma evolução do conhecimento motivada inicialmente pela Recuperação de Áreas Mineradas e desenvolvida com a Recuperação de Matas Ciliares quando se adotaram conceitos oriundos fitogeografia, fitossociologia e sucessão

secundária em adesão às técnicas silviculturais até então empregadas. Os conhecimentos agregados permitiram ainda promover a recomposição florestal empregando técnicas como regeneração natural; nucleação; modelos sucessionais e sistemas agroflorestais.

De tal forma o avanço da tecnologia e conhecimento acerca da restauração ecológica permitiu dominar técnicas reativas à produção de sementes de árvores nativas, ampliaram-se os conhecimentos relativos os processos e estágios sucessionais florestais de tal forma que ampliou-se o âmbito da restauração para além do replantio de espécies florestais incluindo também a atração da fauna, especialmente pássaros, como elementos dispersores de sementes. As técnicas empregadas contribuíram para redução de custos, aumento da eficiência, avanço da legislação resultando em ampliação das áreas em recuperação (DURIGAN *et al.*, 2012).

Entretanto, a despeito do avanço em determinados segmentos do conhecimento acerca da restauração ecológica, persistem lacunas a serem preenchidas pela pesquisa como a) o estabelecimento de metas de restauração, apresentando características desejáveis a uma área restaurada; b) a definição da conclusão de um PRAD, estabelecendo um patamar, um estado na área restaurada que não necessita manejo adicional para sua autorregulação; c) a necessidade de estabelecer Indicadores de restauração, ferramentas gerenciais que permitem monitorar e avaliar PRADs, entre outros (DURIGAN *et al.*, 2012).

Considerando estas lacunas do conhecimento, especialmente quanto a **indicadores RAD**, sua seleção de constitui uma etapa fundamental do processo de **avaliação** e **monitoramento** da recuperação de áreas degradadas. Ademais, a análise conjunta de uma extensa lista de indicadores simples, apresenta um certo grau de dificuldade que não deve ser subestimado (SÁNCHEZ-FERNANDEZ, 2009). Para tanto, se faz necessário o emprego de um **marco metodológico** que oriente o processo de análise e seleção de indicadores. Sem o seu auxílio, os indicadores seriam selecionados de forma *ad hoc*, incompletos em algumas áreas e excessivos em outras. Portanto sem

um marco metodológico aumentar-se-ia o risco de tomar decisões erradas, uma vez que não se disporia de esquema que respaldasse a racionalidade por trás da decisão de monitorar e avaliar a recuperação de áreas degradadas.

Em função do modelo conceitual de análise da recuperação, é possível classificar os marcos metodológicos em a) **Marcos Analíticos**, baseados em modelos causa e efeito; b) **Marcos Sistêmicos**, baseados em modelos sistêmicos de interpretação do ecossistema e c) **Marcos Normativos**, baseados em modelos hierárquicos que apresentam uma estrutura que segue a lógica de programação voltada a objetivos.

Para a seleção de indicadores foram selecionadas 4 propostas de Matrizes de **Indicadores RAD**: a) Proposta SER, elaborada pela Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica – SER (*Society for Ecological Restoration International*) ; b) Proposta de Melo *et al.* (2010), com indicadores de reflorestamento heterogêneo; c) Proposta de Durigan (2011), com proposta de protocolo de monitoramento e avaliação de áreas em recuperação; d) Proposta de Brancalion *et al.* (2012) com *Método de Avaliação Rápida de Áreas Restauradas por Plantio de Mudanças em Área Total* e e) Marco PC&I, que orientam a formulação de Princípios, Critérios e Indicadores.

Portanto, a partir do ferramental metodológico proporcionado pelos cinco **Marcos Ordenadores** acima descritos, as propostas de indicadores de monitoramento e avaliação RAD podem ser comparadas em uma base conceitual comum, viabilizando o desafio de produzir indicadores homogeneizados de projetos de recuperação de áreas degradadas.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo contribuir para ampliar o conhecimento sobre monitoramento e avaliação em recuperação de áreas degradadas e desenvolver uma Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que permita monitorar e avaliar o desempenho global de PRADs através de Indicadores RAD, de forma a atestar sua efetiva realização.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada no trabalho consiste em promover uma pesquisa exploratória sobre recuperação de áreas degradadas e selecionar os trabalhos mais relevantes que apresentem propostas sólidas de Indicadores RAD. Uma vez selecionadas as propostas, promoveu-se uma homogeneização delas mediante o Marco Normativo PC&I (LAMMERTS van BUEREN e BLOM, 1997).

A partir das matrizes homogeneizadas sob o Marco PC&I é possível elaborar uma matriz sintética de indicadores RAD que represente o núcleo de um Protocolo de Monitoramento e Avaliação de Áreas Degradadas.

1.4. Estrutura do Trabalho

A estrutura do trabalho apresenta-se organizada em diferentes etapas voltadas à realização dos objetivos acima descritos. Para tanto, a Dissertação estrutura-se conforme o esquema descrito na **Figura 1** a seguir:

Figura 1. Estrutura do Trabalho

INTRODUÇÃO	CAPÍTULO I	Apresentação do trabalho, Justificativa, Objetivos
MARCO TEÓRICO	CAPÍTULO II	Estado da Arte sobre Áreas Degradadas, Recuperação de Áreas Degradadas, Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas e os Marcos Ordenadores de Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas
METODOLOGIA	CAPÍTULO III	Sistematização de Propostas de Indicadores de Recuperação Mediante Marco PC&I
RESULTADOS PRELIMINARES E FINAIS	CAPÍTULO IV	Homogeneização de Matrizes de Indicadores RAD mediante Marco PC&I e Sintetização de Matriz de Indicadores em Protocolo de Monitoramento e Avaliação de Áreas Degradadas
CONCLUSÕES	CAPÍTULO V	Conclusões e desdobramentos em futuras linhas de pesquisa
BIBLIOGRAFIA	CAPÍTULO VI	Referências Bibliográficas

Fonte: Elaboração própria (2014).

O trabalho inicia-se com um Capítulo de Introdução; a seguir, no Capítulo II apresenta-se o “Estado da Arte” com uma pesquisa exploratória sobre o tema Áreas Degradadas, Recuperação de Áreas Degradadas, Monitoramento, Avaliação e Indicadores RAD, além de Marcos Ordenadores em Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas. Após o Marco Teórico, o Capítulo III descreve o Esquema Metodológico e promove a sistematização do Marco Metodológico PC&I. No Capítulo IV, os Resultados Preliminares são apresentados com a homogeneização das Matrizes de Indicadores RAD mediante o Marco PC&I e os Resultados Finais, com a sistematização de uma Matriz de Indicadores RAD em um Protocolo de Monitoramento e Avaliação de Áreas Degradadas. O Capítulo V apresenta, por fim, as Conclusões alcançadas pelo trabalho. Encerra a pesquisa com a relação da Bibliografia enumerada no Capítulo VI.

2. Referencial Teórico

O presente capítulo apresenta o tema *áreas degradadas*, as ações necessárias à *recuperação de áreas degradadas* para, por fim tratar de monitoramento e tipificação de recuperação através de *indicadores de recuperação de áreas degradadas*.

A fim de melhor elucidar o tema, este capítulo apresenta-se dividido em três seções. A primeira seção apresenta, de forma mais ampla, o tema *áreas degradadas*. Para tanto a primeira subseção discorre sobre a contextualização do tema a partir das várias terminologias empregadas, fruto das diferentes abordagens e linhas de pesquisas existentes. A segunda subseção destaca a importância e a extensão do problema analisando seus impactos em nível global e regional. A terceira subseção apresenta o papel do Estado como disciplinador das atividades econômicas causadoras de impacto ambiental e realiza um compêndio das principais normas legais e infra-legais que tratam de áreas degradadas e de sua recuperação.

A seguir, a segunda seção apresenta questões relativas à *Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)*. Em sua primeira subseção são apresentados diferentes conceitos e definições que, assim com a definição de Áreas Degradadas, carecem de consenso, apresentando diferentes conceitos e objetivos para *recuperação*, *restauração* ou *reabilitação*. A segunda subseção descreve diretrizes técnicas em recuperação de áreas degradadas surgidas com a evolução do conhecimento e que vem orientando o aprimoramento técnico na condução desses projetos. A terceira subseção procura focar, em nível mais próximo ao operacional, as técnicas de restauração florestal adotadas a partir de modelos de sucessão vegetal desenvolvidos pela pesquisa científica. A quarta subseção descreve a necessidade de uma estruturação organizacional que apóie e responda aos desafios enfrentados pelas atividades de planejamento, implementação e encerramento para alcançar sucesso em projetos de recuperação de áreas degradadas. A quinta subseção apresenta os requisitos exigidos por órgãos ambientais oficiais para a elaboração de PRAD,

considerando que os projetos, via de regra, destinam-se a atender determinadas exigências de licenciamento ou reparação ambiental.

Finalmente, a terceira e última seção deste capítulo, trata de *monitoramento e avaliação* da recuperação de áreas degradadas. A sua primeira subseção considera *monitoramento e avaliação* como recursos gerenciais que auxiliam na tomada de decisão e promovem aperfeiçoamento do conhecimento na condução de projetos. Estas etapas baseiam-se fundamentalmente nas informações e dados fornecidos por *indicadores*. Nesse sentido, a segunda subseção descreve as características desejadas dos indicadores empregados como ferramentas de compilação de dados de fenômenos complexos como a recuperação de áreas degradadas. Como o processo de desenvolvimento e seleção de indicadores é uma tarefa que envolve algum grau de complexidade, a terceira subseção descreve *Marcos Metodológicos* para fundamentar o processo de sistematização de indicadores RAD.

2.1. Áreas Degradadas

2.1.1. Definições

O termo *áreas degradadas* apresenta uma polissemia conceitual decorrente das diferentes causas e conseqüências que abarcam diversos e complexos aspectos ambientais. Em razão disso, as várias definições encontradas na literatura acabam gerando entendimentos e interpretações diferenciados entre os autores (ESWARAN *et al.*, 2001), que podem ser classificados segundo os diferentes aspectos analisados da degradação:

Substrato Físico – esse aspecto envolve o solo degradado como objeto de estudo e apresenta duas linhas de pesquisa principais: “degradação de solos” (*soil degradation*) e “degradação de terras” (*land degradation*). Esta última ocorre frequentemente associada ao fenômeno de *desertificação* (OLDEMAN, 1988; LAL, 2001; BALLAYAN, 2012);

Relações Ecológicas – estes estudos envolvem as interações entre os aspectos bióticos e abióticos do sistema considerando todas as relações ecológicas (o solo, o regime hídrico e sua relação com a fauna e flora), o que os aproxima do conceito de degradação ambiental (TAVARES, 2008; MARTINS, 2010);

Caráter Antrópico – esta abordagem parte de uma análise multidisciplinar que reconhece o caráter antrópico do fenômeno e sua relação com os componentes bióticos e abióticos. Nesse caso, considera-se que políticas públicas, a pressão econômica e aspectos institucionais contribuem para agravar ou equacionar o problema (KOBAYAMA *et al.*, 2001; SER, 2004; ADEEL, 2005; GISLADOTTIR e STOCKING, 2005; PRAGER *et al.*, 2011).

Em primeiro lugar, para o entendimento do conceito *áreas degradadas* a partir do **substrato físico**, apresenta-se o conceito de **degradação dos solos** (*soil degradation*) que representa um processo de perda da produtividade do solo e sua capacidade de moderação do ambiente em longo prazo. Trata-se portanto, de um fenômeno biofísico originado por fatores antrópicos que envolve três

processos de degradação do solo: químico, físico e biológico. Os *processos químicos* englobam a salinização, alcalinização, lixiviação, acidificação e eluviação. Os *processos físicos* envolvem a degradação da estrutura do solo que podem levar a um aumento da densidade, diminuição da macroporosidade, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial ou a exacerbação da erosão pela água e pelo vento. E finalmente os *processos biológicos* englobam o declínio da biodiversidade do solo, perda da quantidade e qualidade de húmus. Todos esses três processos contribuem para ocorrência de processos erosivos dos solos. Sua ocorrência retroalimenta o processo de degradação, assim, quanto maior a erosão, maior e mais intensa será a degradação (LAL, 2001). Além disso, aspectos naturais e antrópicos contribuem para o processo de degradação dos solos. Dentre os fatores naturais destacam-se a topografia do terreno, o clima, especialmente a ação de chuvas provocando erosão, deslizamentos, lixiviação, etc. Já as atividades antrópicas contribuem com o desmatamento em terras frágeis, agricultura itinerante, superpastejo, uso desequilibrado de fertilizantes e não adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo (OLDEMAN, 1988; BALLAYAN, 2012).

Ainda considerando os aspectos físicos de áreas degradadas, destaca-se o termo ***degradação de terras*** (*land degradation*). Para esses estudos, o termo *terra* refere-se a um ecossistema que inclui solo, paisagem, conformidade do terreno, vegetação, água e clima. A *degradação de terras* se traduz na perda de produtividade biológica ou das lavouras, como resultado de fatores naturais ou antrópicos, levando ao declínio de qualidade do ecossistema. O fenômeno é considerado cumulativo e de ocorrência global, resultado de um declínio, ao longo do tempo, nas funções do ecossistema, e medido em termos de perda da produtividade primária líquida¹ (ONU, 1994; ESWARAN *et al.*, 2001; BAI *et al.* 2008; Global Environmental Outlook, 2007 *apud* ANDERSSON *et al.*, 2011). Causada por perturbações das quais o sistema não consegue se recuperar

¹ A *Produtividade Primária Líquida* é medida por comparação a um padrão produzido a partir do índice de vegetação captado por sensoriamento remoto e que pode servir como um indicador da degradação dos solos (BAI *et al.*, 2008).

sozinho, a degradação de terras é fruto de um processo, ou da combinação de processos tais como:

- a) Erosão por vento ou água;
- b) Deterioração das propriedades físicas, químicas, biológicas e econômicas do solo;
- c) Perda de longo prazo da vegetação natural.

A *degradação de terras* é frequentemente associada, na literatura, a processos de *desertificação* que significa “degradação de terras em regiões áridas, semi-áridas e secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (ONU, 1994). Entretanto, cabe destacar que uma parte considerável da *desertificação* ocorre também em áreas úmidas, daí a necessidade de se adotar definições mais abrangentes quando se deseja caracterizar o fenômeno de degradação deflagrado por alterações climáticas como a redução da pluviosidade (NKONYA *et al.*, 2011).

Em segundo lugar, a análise sobre a degradação de terras não se limita apenas ao dano ao substrato físico, enfocando também as **relações ecológicas**. Assim, os mecanismos de degradação envolvidos incluem processos físicos, químicos e biológicos. Dentre os *processos físicos* envolvidos destacam-se: compactação, erosão e desertificação dos solos, o sistema hidrológico e a poluição ambiental. Os *processos químicos* incluem acidificação, lixiviação, salinização, redução na capacidade de troca de cátions e perda da fertilidade do solo. E os *processos biológicos* envolvem a redução do carbono, da biomassa total e o declínio da biodiversidade (ESWARAN *et al.*, 2001; TAVARES, 2008).

Sob o enfoque das *relações ecológicas*, a *degradação ambiental* apresenta proximidade de conceitos ao ser caracterizada como a perda, em uma determinada área, de alguma de suas características físicas, químicas e biológicas, inviabilizando o desenvolvimento sócio-econômico. Essa abordagem considera aspectos como a remoção da vegetação nativa e a

fauna, afetando a diversidade biológica e a produtividade primária (massa vegetal por área considerada). Além disso, destaca a importância do solo e sua camada fértil superficial como sustentáculo da vida e atividades econômicas, alerta para alteração da qualidade e regime hídrico e conclui que a degradação compromete a interação dos organismos e seu ambiente. A *análise ecológica* sobre áreas degradadas considera as complexas interações bióticas e abióticas que afetam o equilíbrio dinâmico dos ecossistemas por ações antrópicas e naturais (PARROTA, 1992 *apud* KOBAYAMA *et al.*, 2001; DUARTE e BUENO, 2006; IBAMA, 1990 *apud* TAVARES, 2008).

Um outro enfoque na análise ecológica do processo de degradação, aponta para o comprometimento do fluxo de energia e ciclagem de matéria. Nesse sentido, foram identificados três aspectos da energia que podem ser afetados num dado ecossistema (BLUM, 1998 *apud* KOBAYAMA *et al.*, 2001):

- **Gravitacional:** aquela que controla os movimentos de sólidos, líquidos e gases no sistema e é determinante para os processos de erosão e sedimentação;
- **Conservada:** é a energia presente no material de origem. Esta fonte de energia é proveniente das forças internas da terra (pressão e temperatura);
- **Solar:** é a energia utilizada pelos organismos para que transformem, através da fotossíntese, o gás carbônico em componentes orgânicos que interagem com o solo.

Um terceiro aspecto destaca o enfoque do **caráter antrópico** da degradação, derivado de uma *abordagem multidisciplinar* que entende o fenômeno não apenas como um problema ecológico mas também político e institucional, considerando a interdependência entre os sistemas ecológico e social. Assim, nesta abordagem, são consideradas não só as condições ambientais e os resultados da intervenção humana, mas acrescenta-se ainda o papel de outros atores sociais na formulação de políticas e participação de estruturas governamentais no equacionamento do problema. Uma atitude comum e simplista seria identificar o culpado pela degradação em nível local, recaindo apenas sobre os usuários da terra. Só recentemente tem se reconhecido que

os principais motivadores de degradação podem ocorrer em um nível acima do usuário da terra, como os formuladores de políticas de exploração da terra que impelem os usuários a sobre-utilizar os recursos para sobreviverem. Ao inserir a análise política na discussão, abrem-se novas possibilidades ao tratamento da questão ao invés de atribuir a responsabilidade apenas a uma das partes do complexo sistema econômico de exploração de recursos para a produção de bens (ADEEL, 2005; GISLADOTTIR e STOCKING, 2005; PRAGER *et al.*, 2011).

Além da polissemia conceitual do termo, ao analisar os aspectos da degradação, apresenta-se também a questão de considerar suas causas e origens. Por um lado, SER (2004) destaca como as causas naturais podem ser fatores determinantes da degradação dos ecossistemas. Em alguns casos, agentes naturais (tais como incêndios, inundações, tempestades ou erupções vulcânicas) são fontes de estresse sobre o meio ambiente até um grau em que o ecossistema não mais pode se restabelecer por si próprio, conforme seu estado anterior à alteração ou à sua trajetória histórica de desenvolvimento.

Entretanto, há consenso na literatura de que a ocorrência de áreas degradadas é preponderantemente resultado das atividades humanas. Nesse sentido, os distúrbios de origem antrópica têm, na maioria das vezes, maior intensidade sobre a ocorrência do fenômeno do que aqueles de origens naturais, podendo comprometer a sucessão secundária no ecossistema, a integridade dos solos, as relações ecológicas, etc. (OLDEMAN, 1988; SER, 2004; MARTINS, 2010).

Nessa ótica, Martins (2010) destaca que, dentre as atividades humanas relacionadas à ocorrência de áreas degradadas, a **mineração** é a mais comumente destacada, em razão dos intensos impactos ambientais causados pela necessidade de alteração drástica do solo, como remoção da sua camada fértil superficial, mistura de horizontes edáficos, compactação, erosão, etc.

Embora a mineração apresente impactos mais profundos em termos pontuais, outras atividades antrópicas também são responsáveis pela produção de áreas degradadas. Assim, a agropecuária é a principal atividade responsável por grandes extensões de áreas degradadas (KOBYIAMA, 2001; MARTINS, 2010).

Dentre as atividades que contribuem para a degradação de terras agrícolas, destacam-se o uso do solo fora de sua aptidão agrícola², a cobertura inadequada do solo (oriunda de cultivo intenso, monocultura e perda de matéria orgânica), o sistema de preparo inadequado do solo (com excesso de máquinas promovendo sua desagregação ou compactação), a monocultura, a irrigação inadequada (promovendo salinização, desagregação da estrutura física) e o superpastejo (OLDEMAN *et al.*, 1991; KOBİYAMA, 2001; ARAÚJO *et al.*, 2010).

Diante de tantas definições e sobreposições de termos, abre-se espaço a diferentes interpretações e também desentendimentos, surgidos em função de uma ampla gama de termos usados na literatura, frequentemente por diferentes disciplinas. Por essa razão, Eswaran *et al.* (2001) ressaltam a importância do esforço de padronização da terminologia e desenvolvimento de uma definição sem ambiguidades e aceita por todas as disciplinas .

² A *aptidão agrícola* consiste em um sistema de classificação de terras com base nas características físicas das mesmas, classificando-as segundo sua capacidade de uso e aptidão para o aproveitamento econômico (RAMALHO FILHO *et al.*, 1999).

2.1.2. Importância do Tema

A despeito da gravidade do fenômeno e do seu alcance planetário, algumas dificuldades se apresentam ao dimensionar a real magnitude de ocorrência de áreas degradadas. A principal dificuldade encontrada se deve à definição de áreas degradadas em razão dos vários conceitos sobre o fenômeno. Assim, em função do enfoque conceitual de partida adotado, a gravidade e, conseqüentemente, a importância do tema, também variarão.

Nesse sentido, Oldeman *et al.* (1991) ao avaliarem a degradação de solos para o Relatório GLASOD³, estimaram em **1,9 bilhões de hectares** a extensão do problema em nível global (OLDEMAN *et al.*, 1991; ESWARAN *et al.*, 2001; KNIIVILA, 2004).

Por sua vez, ao tratar da degradação de terras no contexto da desertificação, o estudo de Dregne e Chou (1994 *apud* ESWARAN *et al.*, 2001) estima em **3,6 bilhões de hectares** (ou 70% dos 5,2 bilhões de hectares totais) as terras áridas do planeta que apresentam algum grau de degradação. Os dados estão disponíveis para a maioria dos países do mundo destacando as terras agrícolas irrigadas, as de sequeiro e as pastagens. Por outro lado, Gisladottir e Stocking (2005) estimam que, em nível global, estão degradadas cerca de 73% das pastagens em terras áridas, 47% das áreas de cultivo de sequeiro, além de um percentual significativo de terras agrícolas irrigadas. Com base na área coberta pelas regiões áridas, os autores estimaram que cerca de 37% da população mundial vive em terras real ou potencialmente degradadas. Outrossim, ao analisar a desertificação, Adeel *et al.* (2005) estimaram para o

³ O Relatório *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) consiste em pesquisa conduzida por Oldeman *et al.* (1991) para o *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para avaliação global da degradação de solos. A pesquisa caracterizou um total de 12 tipos diferentes de degradação reconhecidos e mapeados, como por exemplo, a erosão hídrica (perda de solo superficial e deformação do terreno), a erosão eólica (perda da camada superficial do solo, a deformação do terreno) e a salinização. Os autores consideraram também a gravidade da degradação (baixa, média, alta e muito alta) calculada combinando o grau de degradação (leve, moderado, forte, extremo) com sua extensão relativa.

Relatório *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA⁴), que 10 a 20% das terras áridas do planeta já apresentam algum grau de degradação, e 1 a 6% da população vive em áreas desertificadas, com efeitos sobre a pobreza e vulnerabilidade social das populações (ADEEL *et al.*, 2005).

Com relação às linhas de pesquisas que enfocam a ocorrência de áreas degradadas sob a ótica das relações ecológicas, Bai *et al.* (2008) produziram o Relatório *Global Assessment of Land Degradation and Improvement* (GLADA⁵) que procurou definir degradação de terras como um declínio na função dos ecossistemas. O sensoriamento remoto da superfície do planeta permitiu identificar áreas onde há mudanças significativas na cobertura vegetal, que se expressa em 23,54% das terras disponíveis no mundo, atingindo **35 milhões de quilômetros quadrados**, afetando 23,89% da população mundial. Conforme a **Tabela 1** a seguir, no Brasil o problema atinge 1,8 milhões de quilômetros quadrados, representando 22,11% do território nacional, contribuindo com 5,38% das terras degradadas do planeta. A população afetada atinge 46.595.573 de habitantes, representando 26,67% da população brasileira (BAI *et al.*, 2008).

⁴ O Relatório *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) : produzido por Adeel *et al.* (2005) e Hassan *et al.* (2005) consiste em pesquisa promovida pela ONU em colaboração com governos, iniciativa privada, ONGs e instituições de pesquisa reunindo mais de 1.360 especialistas ambientais para avaliar as conseqüências das mudanças dos ecossistemas e fornecer as bases científicas para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

⁵ A Pesquisa *Global Assessment of Land Degradation and Improvement* (GLADA) realizada por Bai *et al.* (2008) para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) em parceria com o *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) consistiu em mensurar, por sensoriamento remoto, a degradação de terras em nível global. Para tanto foi medida a “Perda da Produtividade Primária Líquida” (*Net Primary Productivity – NPP*), ou seja, a taxa de energia acumulada pela biomassa produzida no ecossistema, através de uma série consolidada de dados obtidos entre os anos de 1981 e 2003.

Tabela 1. Estatística de Degradação de Terras entre 1981 e 2003

Abrangência	Área Degradada (km ²)	Área Degradada (% do território ⁶)	Participação em Área Degradada global (%)	População afetada (habitantes)	Ratio de População afetada (% do total)
Brasil	1.881.702	22.11	5,381	46.595.573	26.67
Mundo	35.058.104	23.54	-	1.537.679.148	23.89

Fonte: Adaptado de Bai *et al.* (2008).

Assim, diante da diversidade de dados levantados apresenta-se a seguinte questão: *como então avaliar a gravidade do problema de degradação de terras?* Nesse sentido, cabe destacar que a despeito de um problema tão abrangente, verificam-se poucas pesquisas, em nível global e nacional, que adotem padrões amplamente aceitos de identificação da degradação e que permitam avaliar objetivamente a extensão do problema.

Mesmo analisando o fenômeno a partir de conceitos consolidados como *taxas de erosão* e *perda de solo*, ainda há uma lacuna nas pesquisas que permita apresentar medidas precisas e confiáveis sobre a real extensão da degradação de terras em nível nacional ou regional. Para Gisladottir e Stocking (2005), o problema crucial a ser enfrentado recai em como admitir que medições obtidas em parcelas de experimentos, especialmente no cálculo de perda de solo e escoamento superficial⁷, possam ser extrapoladas para bacias hidrográficas inteiras, países e até mesmo subcontinentes.

Dessa forma, a imprecisão das estatísticas dá margem a conclusões mais alarmistas do que se poderia ou deveria esperar. Para Gisladottir e Stocking (2005), o debate ocorrido nas duas últimas décadas sobre a seriedade da estimativa global da erosão dos solos, destaca que “há muito pouco dado e muita opinião formada” especialmente pela forma como as estatísticas são

⁶ O *Território* abrange a terra seca, excluídos os corpos hídricos continentais, segundo Bai *et al.* (2008).

⁷ O termo *escoamento superficial* equivale ao termo em inglês *'runoff'*, também amplamente empregado na literatura.

usadas para chamar a atenção a respeito da seriedade da degradação e quão pouca advertência é feita para a falta de precisão dos dados empregados.

Nesse sentido, os autores reconhecem a necessidade de produzir dados confiáveis para o avanço das políticas e dos planos de ação para o combate do problema. Pensando em atender essa lacuna, os mais recentes esforços de pesquisa vêm reconhecendo a fragilidade dos dados disponíveis para seu dimensionamento. Assim, produzir informação consistente sobre a degradação tornou-se não só uma tarefa que requer um estudo detalhado, como também um esforço multi e interdisciplinar que envolve as várias partes interessadas: formuladores políticos, gestores agrícolas, comunidade científica, instituições de desenvolvimento, mídia e sociedade em geral (ADEEL *et al.*, 2005; VOGT *et al.*, 2011).

2.1.3. Ordenamento Jurídico de Áreas Degradadas

As sociedades contemporâneas têm por característica o uso intensivo dos recursos humanos e naturais a tal ponto que a história da civilização considera as sociedades como sendo primitivas ou avançadas conforme o nível tecnológico por elas adotado (DICKSON, 1978 *apud* DAGNINO *et al.*, 2004). Se por um lado o emprego de tecnologia apresenta o aspecto positivo de intensificar fortemente o desenvolvimento material e o dinamismo tecnológico, por outro ensejou enorme exploração do trabalho bem como intensa e predatória exploração dos recursos naturais (ROMEIRO, 2010).

O Estado brasileiro procura responder a esses dilemas do desenvolvimento elaborando uma legislação trabalhista que procura impor limites à sobre-exploração do trabalho humano e, na questão ambiental, uma legislação ambiental que pretende disciplinar a exploração de recursos naturais em favor da coletividade.

Nesse sentido, o direito ambiental se expressa por um lado na limitação ao direito de propriedade e por outro na garantia ao direito de um meio ambiente ecologicamente equilibrado que se traduz em políticas públicas ambientais (DIAMANTINO, 2008). Como a estruturação da política pública é responsabilidade do Estado, este se organiza e se expressa na criação de órgãos e instituições reguladoras e em extensa normatização jurídica que procura impor restrições e orientações à exploração e utilização dos recursos pela sociedade.

Para disciplinar a exploração de recursos naturais, tendo em vista o interesse da sociedade, o conceito de *impacto ambiental* apresenta-se como um fundamento basilar para a compreensão das conseqüências das ações antrópicas sobre o meio ambiente e para a formulação de toda a Política Ambiental. Entende-se por *impacto ambiental* como sendo a alteração produzida no meio ambiente pela atividade humana. O entendimento mais amplo do conceito encontra respaldo também na Ciência Econômica. O desenvolvimento de uma atividade econômica, seja produção ou comercialização, implica pelo menos dois atores econômicos que atendem à oferta e demanda de bens ou serviços. Uma *externalidade* é então verificada quando os atores econômicos utilizam-se de bens não valorados monetariamente e impactam sobre a qualidade ambiental ou no bem-estar de terceiros que não participam dessa ação (CÁNEPA, 2010). Tal princípio permite compreender que os impactos ambientais oriundos das atividades econômicas (poluição e utilização dos recursos naturais) devem ser compensados por meio de políticas ambientais.

Nesse sentido, *impacto ambiental* representa qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas (CONAMA, 1986). Para disciplinar a utilização de recursos comuns, o Estado instituiu o *licenciamento ambiental* como um procedimento administrativo destinado a autorizar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (MACHADO, 2013).

Considerando ainda a natureza da exploração econômica e o esforço do Estado em discipliná-la, a Política Nacional do Meio Ambiente inseriu em seus objetivos dois comportamentos a serem procurados: *prevenção* e *reparação* do ambiente afetado por atividades poluidoras ou geradoras de impacto ambiental. Não tendo sido eficaz o procedimento preventivo, constata-se a ocorrência do dano ao meio ambiente e faz-se necessária a reparação. Tais princípios centrais irão reger o ordenamento jurídico acerca da recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981; MACHADO, 2013).

Dessa forma, o Direito Ambiental Brasileiro apresenta uma nova postura de responsabilização jurídica do poluidor ou do agressor dos recursos ambientais independentemente da existência de culpa. Adotou-se portanto, um sistema que conjuga ao mesmo tempo a responsabilidade objetiva e reparação integral. Considerando essa responsabilidade, a obrigação indenizatória vai além do simples pagamento monetário. Uma medida compensatória, consistente em substituição por equivalente em valor pecuniário, não cumpre a função de reconstituir a característica coletiva do bem. Constata-se não interessar remédios judiciais de simples compensação. Medidas desse teor transformariam em dinheiro valores sociais de natureza diversa, que não encontram correspondência nos parâmetros de mercado. Para cumprir sua função nessa esfera, Salles (1998, *apud* MACHADO, 2013) conclui que os mecanismos processuais devem ser compreendidos e aplicados de maneira a conduzir à adoção de soluções capazes de impor condutas, de maneira a evitar o dano ou a reconstituir o bem lesado.

Nesse sentido, a Constituição Federal de 1988 no seu artigo 225 passa a abrigar os princípios da *restauração*, *recuperação* e *reparação* do meio ambiente. Instaura-se a obrigação de restaurar os processos ecológicos essenciais, traduzindo a ideia de reencontrar a dinâmica que existia antes. Aplicando-se esses princípios, a atividade de exploração de recursos minerais obriga recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. Com isso a recuperação do meio ambiente passou, por força constitucional, a fazer parte do processo de exploração de recursos minerais. Nenhum órgão público

poderá autorizar qualquer pesquisa ou lavra mineral em que não esteja prevista a recuperação ambiental. (MACHADO, 2013).

Nesse contexto legal e institucional, o **Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)** passou a ser exigido após a Constituição de 1988, embora se considere que o seu conceito e linhas gerais já estivessem previstos na Resolução CONAMA 01/86 ao definir no seu art. 6º, III: “*definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas*”; e no mesmo artigo, em seu inciso IV, impor a “*elaboração de programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados*”. Diante dessas diretrizes, “*é razoável que se entenda estar aí inserido o plano de recuperação de área degradada*” (MACHADO, 2013).

A partir da promulgação da Constituição Federal, vários atos normativos federais passaram então a prever a recuperação de áreas degradadas como instrumento de prevenção ao risco ou reparação aos impactos ambientais causados pela intervenção humana nos ecossistemas. Ao analisar o conjunto de leis, decretos e atos normativos que tratam do direito ambiental, nota-se que o Estado brasileiro dispõe de extenso conjunto normativo para aplicação de projetos de recuperação de áreas degradadas como condicionantes no licenciamento ou compensação ambiental de atividades econômicas. O conjunto de normas promulgadas vem acompanhando não só a evolução da pesquisa e dos conhecimentos acumulados acerca do meio ambiente, das tecnologias de mitigação e recuperação desenvolvidas como também a evolução do padrão de exigências da sociedade brasileira em buscar mecanismos de instrumentos que viabilizem ações de conservação e recuperação ambiental. Em razão da importância desses atos normativos (como Leis, Decretos, Resoluções, Instruções Normativas) na orientação do desenvolvimento de projetos de recuperação de áreas degradadas, a **Tabela 2** a seguir apresenta uma recompilação abrangente do panorama desses atos especialmente em nível federal e no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 2. Principais atos normativos relacionados à Recuperação de Áreas Degradadas (nível federal e estadual – RJ)

Ano	Origem	Ato Normativo	Tema	Requisitos ao PRAD
1989	Presidência da República	Decreto Nº 97.632/89	Regulamenta apresentação de EIA / RIMA para empreendimentos de exploração mineral	Define procedimentos para recuperação de áreas degradadas ao disciplinar a exploração mineral. Seu art. 1º determina que os empreendimentos destinados à exploração mineral, juntamente com o EIA / RIMA, apresentem um plano de recuperação de área degradada, que será submetido à aprovação do órgão ambiental. Este Decreto obriga tanto o DNPM quanto os órgãos ambientais a exigirem planos de recuperação mesmo para os empreendimentos já existentes que teriam a partir de então 180 dias para regularização (art. 1º, parágrafo único).
1997	CONAMA	Resolução CONAMA 237/97	Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental	Em seu art 1º, III a exigência de Estudos Ambientais compreende: todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento. Para tanto, os Estudos Ambientais compreendem: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, além de plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco do empreendimento. Este normativo explicita que, para aprovação de processos de licenciamento causadores de impacto ambiental, deverá ser desenvolvido plano de recuperação de áreas degradadas.
1999	CONAMA	Resolução CONAMA 249/99	Diretrizes para a Política de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Mata Atlântica.	Destaca o PRAD como mecanismo de sustentabilidade e proteção dos biomas. Nesta Resolução, se estabelece como diretriz, para implementação de política pública, a Recuperação de Áreas Degradadas na Mata Atlântica, Para sua realização, se faz necessário observar 10 linhas programáticas de forma a atender ao objetivo de “recuperar a estrutura fitogeográfica, contribuindo para a proteção da diversidade biológica, conservação dos solos e garantia da integridade dos ecossistemas naturais”

Fonte: Elaboração Própria (2014) a partir de diversas fontes.

Tabela 2. Principais atos normativos relacionados à Recuperação de Áreas Degradadas (nível federal e estadual – RJ)
(CONTINUAÇÃO)

Ano	Origem	Ato Normativo	Tema	Requisitos ao PRAD
2001	CONAMA	Resolução CONAMA 284/2001	Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação.	Para obtenção do licenciamento de grandes empreendimentos acima de 500 ou 1.000 hectares, dependendo do método de irrigação empregado, a licença de instalação (LI) encontra-se condicionada à apresentação de Plano de Controle Ambiental. Este Plano deverá conter um Programa de recuperação de Áreas Degradadas entre outros requisitos. Entende-se o PRAD como uma medida mitigadora aos impactos causados na implantação e operação do empreendimento.
2006	CONAMA	Resolução CONAMA 369/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP.	No caso de autorização de atividades de pesquisa e extração mineral, reeditam-se os procedimentos de licenciamento para atividades extrativas exigindo do empreendedor como exigência de realização de EIA/RIMA, averbação de reserva legal. Além das medidas de caráter mitigador e compensatório, os titulares das atividades ficam obrigados a recuperar o ambiente degradado, “sendo considerada obrigação de relevante interesse ambiental o cumprimento do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD)”; sem prejuízo de outras medidas de caráter mitigador e compensatórias em áreas localizadas na mesma bacia hidrográfica.
2010	CONAMA	Resolução CONAMA 425/2010	Dispõe sobre critérios para a caracterização de atividades e empreendimentos agropecuários sustentáveis do agricultor familiar, empreendedor rural familiar, e dos povos e comunidades tradicionais como de interesse social para fins de produção, intervenção e recuperação de Áreas de Preservação Permanente e outras de uso limitado.	A exigência de recuperação de áreas de preservação permanente que se encontram degradadas recai também sobre empreendimentos agropecuários sustentáveis do agricultor familiar, empreendedor rural familiar, e dos povos e comunidades tradicionais. A Resolução autoriza a supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente considerando o interesse social, exigindo no entanto, a indicação recuperação de áreas degradadas para sua regularização.

Fonte: Elaboração Própria (2014) a partir de diversas fontes.

Tabela 2. Principais atos normativos relacionados à Recuperação de Áreas Degradadas (nível federal e estadual – RJ)
(CONTINUAÇÃO)

Ano	Origem	Ato Normativo	Tema
2011	CONAMA	Resolução CONAMA 429/2011	Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente - APPs.
Requisitos ao PRAD			
<p>Estabelece técnicas de recuperação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs) em seu art. 3º:</p> <ul style="list-style-type: none"> I - condução da regeneração natural de espécies nativas; II - plantio de espécies nativas; e III - plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas. <p>O art 4º apresenta os requisitos e procedimentos necessários para condução da recuperação:</p> <ul style="list-style-type: none"> I - proteção, quando necessário, das espécies nativas mediante isolamento ou cercamento da área a ser recuperada, em casos especiais e tecnicamente justificados; II - adoção de medidas de controle e erradicação de espécies vegetais exóticas invasoras de modo a não comprometer a área em recuperação; III - adoção de medidas de prevenção, combate e controle do fogo; IV - adoção de medidas de controle da erosão, quando necessário; V - prevenção e controle do acesso de animais domésticos ou exóticos; VI - adoção de medidas para conservação e atração de animais nativos dispersores de sementes. <p>Parágrafo único. Para os fins de indução da regeneração natural de espécies nativas também deverá ser considerado o incremento de novas plantas a partir da rebrota.</p> <p>O artigo 5º da Resolução explicita os requisitos e procedimentos mínimos necessários à recuperação da APP:</p> <ul style="list-style-type: none"> I - manutenção dos indivíduos de espécies nativas estabelecidos, plantados ou germinados, pelo tempo necessário, sendo no mínimo dois anos, mediante coroamento, controle de plantas daninhas, de formigas cortadeiras, adubação quando necessário e outras; II - adoção de medidas de prevenção e controle do fogo; III - adoção de medidas de controle e erradicação de espécies vegetais ruderais e exóticas invasoras, de modo a não comprometer a área em recuperação; IV - proteção, quando necessário, das espécies vegetais nativas mediante isolamento ou cercamento da área a ser recuperada, em casos especiais e tecnicamente justificados; V – preparo do solo e controle da erosão, quando necessário; VI - prevenção e controle do acesso de animais domésticos; VII - adoção de medidas para conservação e atração de animais nativos dispersores de sementes; e VIII - plantio de espécies nativas conforme previsto nos §§ 1º e 2º deste artigo. <p>Ao produzir essa Resolução 429 de 2011, o normativo federal torna explícita as metodologias, requisitos e procedimentos técnicos necessários à recuperação de áreas degradadas.</p>			

Fonte: Elaboração Própria (2014) a partir de diversas fontes.

Tabela 2. Principais atos normativos relacionados à Recuperação de Áreas Degradadas (nível federal e estadual – RJ)
(CONTINUAÇÃO)

Ano	Origem	Ato Normativo	Tema	Requisitos ao PRAD
2011	IBAMA	Instrução Normativa IBAMA 04/2011	Estabelece procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD)	Apresenta parâmetros e procedimentos objetivos que norteiam a elaboração de PRAD para fins de cumprimento da legislação ambiental seja por processo de licenciamento ou obrigação de reparação de dano ambiental. A Instrução Normativa 04/2011 atende à necessidade de normalização de procedimentos e requisitos, diante do conjunto cada vez maior de atos normativos exigindo projetos ou ações de recuperação ambiental.
2011	INEA	Resolução INEA 36/2011	Aprova o Termo de Referência para Elaboração de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).	A Resolução estabelece critérios para apresentação de PRAD nos casos de exigir recuperação, recomposição, reabilitação ou restauração ecológica de áreas degradadas. A apresentação de PRAD será exigida nos casos de reparação a danos ambientais fruto de autuações administrativas e infrações; em recomposição de florestas em áreas de reserva legal; como condicionantes em processos de licenciamento ambiental; e no cumprimento de Termo de Ajustamento Ambiental (TAC) ou como condicionantes de Autorizações de Supressão da Vegetação (ASV).
2012	Presidência da República	Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012	Conhecida por Novo Código Florestal, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa	No Capítulo XI, sobre Controle do Desmatamento, estabelece o órgão ambiental, o poder de embargar a obra ou atividade como medida administrativa voltada a impedir a continuidade do dano ambiental, propiciar a regeneração do meio ambiente e dar viabilidade à recuperação da área degradada.
2013	CONAMA	Resolução CONAMA Nº 458	Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental em assentamento de reforma agrária, e dá outras providências.	Seu anexo descreve o Termo de Compromisso Ambiental, mediante o qual o órgão fundiário e assentado se comprometem a promover a regularização ambiental. Em razão da maior simplificação, desoneram-se exigências e procedimentos no licenciamento e recuperação ambiental de projetos de assentamentos de reforma agrária.

Fonte: Elaboração Própria (2014) a partir de diversas fontes.

Dentre os onze atos normativos brasileiros e flumineses listados na **Tabela 2** anterior, três deles merecem destaque por tratar especificamente da Recuperação de Áreas Degradadas. Em primeiro lugar a **Resolução CONAMA nº 429 de 2011**, que, ao tratar de recuperação de Área de Preservação Permanente (APP), estabelece quais técnicas, requisitos e procedimentos técnicos necessários à recuperação de áreas degradadas. Em segundo lugar, a **Instrução Normativa nº 4 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), de 13 de abril de 2011**, que se constitui num marco na consolidação de procedimentos e requisitos para a elaboração e a implantação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). E finalmente, em terceiro lugar, a **Resolução INEA 36/2011 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do Rio de Janeiro**, que emitiu uma Resolução complementando, em âmbito estadual, a regulamentação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas. Uma análise mais detalhada sobre IN IBAMA 04/2011 e a Resolução INEA 36/2011 encontra-se desenvolvida na **Seção 2.2.3.** (Diretrizes Normativas em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas).

2.2. Recuperação de Áreas Degradadas

2.2.1. Conceitos e Definições

Assim como o termo *áreas degradadas* apresenta diferentes enfoques e definições, a *recuperação de áreas degradadas* encontra diferentes conceitos em razão dos distintos objetivos que se espera alcançar na recuperação, bem como em razão das diversas definições legais e técnicas empregadas. Dentre os esforços de Recuperação de Áreas Degradadas, três conceitos se destacam e costumam atuar de forma conjunta e associada na orientação de procedimentos: *recuperação*, *reabilitação* e *restauração*. Estes conceitos se distinguem pelos seus diferentes objetivos e irão orientar práticas e ações distintas (TAVARES, 2008).

A *recuperação* é uma iniciativa que tem por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente. A recuperação procura, portanto, a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (BRASIL, 2000; IBAMA, 2011).

Entretanto, alguns autores definem recuperação na busca de uma reparação dos recursos ao ponto de restabelecer as condições de equilíbrio e sustentabilidade anteriormente existentes em um ecossistema natural de forma a recompor a frequência das espécies encontradas originalmente no local exigindo uma abordagem sistemática de planejamento e visão a longo prazo (DIAS e GRIFFITH, 1998 *apud* MANDETTA, 2006; GRIFFITH, 1986 *apud* TAVARES, 2008).

Por outro lado, Herrmann (2010) destaca que o emprego do termo “recuperação de áreas degradadas” (que significa “reaver, reentrar na posse, restaurar, reintegrar), especialmente em atividades de mineração, seria impróprio uma vez que uma parcela do solo ou do ambiente tenha sido

subtraída, não haveria como retornar ao estado inicial. Nesse sentido, a *reabilitação* de áreas degradadas seria um termo mais apropriado para o restabelecimento do ambiente em condições de uso futuro.

A *reabilitação* é o retorno de uma área degradada a um estado biológico apropriado. Assim uma área degradada poderá ter uma redestinação. Na reabilitação, pode-se atribuir a uma área degradada um uso distinto do original, restabelecendo suas principais características e conduzindo a uma situação alternativa e estável. Como exemplos de reabilitação de áreas degradadas citam-se o Centro Educacional e Recreativo do Butantã, instalado em área de antiga pedreira, e o Lago do Parque do Ibirapuera, instalado em cava de antiga extração de areia (IBAMA, 1990 *apud* BARBOSA, 2006; MAJER, 1989 *apud* TAVARES, 2008).

Um conceito próximo à *reabilitação* é o termo “*reclamation*”, sem equivalente em português. Usado no contexto das atividades de mineração na América do Norte e regulamentado pelo *Surface Mining Control and Reclamation Act* de 1977 (EUA, 2008) engloba ações de recuperação e reabilitação de áreas degradadas. Os objetivos principais da “*reclamation*” incluem a estabilização do terreno, a garantia de segurança ao público, a melhoria estética, e, em geral, o retorno das terras a um estado considerado útil no contexto regional.

Por sua vez, *restauração* de um ecossistema refere-se à obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação tomando-se ecossistemas íntegros como referência. Atualmente admite-se porém, que se trata de uma tarefa imprópria ou de execução praticamente inviável. Retornar ao estado original todos os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc., de forma a apresentar as mesmas características de antes da degradação constitui um objetivo inatingível. A inviabilidade de tal tarefa se apresenta por um lado pela dificuldade em encontrar um ecossistema integralmente preservado que sirva de referência, por outro pela compreensão de que as múltiplas trajetórias dos ecossistemas conduzem a distintos estados alternativos estáveis (RUIZ-JAEN e AIDE, 2005; TAVARES, 2008; DURIGAN e ENGEL, 2012).

No entanto, o conceito de *restauração* apresenta um novo enfoque com o surgimento da *Ecologia da Restauração* como uma Ciência recente e multidisciplinar. Sua aplicação prática é a *Restauração Ecológica*, definida como um processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Como atividade deliberada, ela inicia ou acelera a recuperação de um ecossistema com respeito à sua saúde, integridade e sustentabilidade especialmente quando a trajetória de desenvolvimento de um ecossistema degradado fica bloqueada e sua recuperação por meio de processos naturais parece demorar indefinidamente. Dessa forma, ao tentar retornar o ecossistema à sua trajetória histórica, sua compreensão do passado (por exemplo, históricos de variabilidade do ecossistema), não se confunde com o objetivo de reproduzir um ecossistema estático, mas desenvolver a área dentro dos limites da trajetória histórica. Assim, o objetivo da restauração ecológica é iniciar, reiniciar ou acelerar os processos que levam à evolução de um ecossistema, que é característica da região natural de uma área protegida (SER, 2004; CANADIAN PARKS COUNCIL, 2008; BRANCALION *et al.*, 2012; DURIGAN e ENGEL, 2012).

Em síntese, os conceitos de recuperação, reabilitação e restauração costumam ser considerados de modo integrado ou complementar. Neste contexto, Tavares (2008) considera a degradação dos ecossistemas como a perda da vegetação e do solo a ponto de torná-los insustentáveis. Portanto, somente com ações de recuperação, reabilitação ou restauração ecológica seria possível retornar à condição de sustentáveis, sem a necessidade de manutenção para sua estabilidade e permanência. Considerando ainda os fatores que afetam a dinâmica fitossociológica dos biomas florestais, o autor conclui que negligenciar ou abandonar uma área degradada, poderá levar tanto à recuperação espontânea quanto à continuidade ou à intensificação do processo de degradação.

Diante de diferentes objetivos e conceitos definidores, cabe então definir quais aspectos técnicos, normativos e organizacionais serão necessários para a condução e sucesso dos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas.

2.2.2. Diretrizes Técnicas Empregadas em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas

A elaboração e execução de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas envolve diferentes parâmetros para atender às diretrizes que refletem os objetivos e metas almejados. Nesse sentido, surge a questão sobre quais aspectos técnicos devem então ser considerados para elaborar um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas. Para Sánchez (2010), um dos requisitos essenciais para a condução, elaboração e implantação de um PRAD é o *conhecimento*, que envolve o conjunto de referenciais teóricos e técnicas empregados no projeto.

De fato o conhecimento acerca da recuperação de áreas degradadas desenvolveu-se como uma Ciência em razão das atividades humanas geradoras de degradação ambiental. Sob esse aspecto, diferentes autores reconhecem que o processo de construção do conhecimento acerca da Recuperação de Áreas Degradadas, surgiu e se desenvolveu de forma mais intensa a partir das últimas três décadas do século XX (MARTINS, 2010; SÁNCHEZ, 2010; DURIGAN e ENGEL, 2012). Desde então, estudos foram desencadeados por demandas, especialmente a partir da década de 1980, em duas grandes linhas de pesquisa:

1) A recuperação de áreas mineradas

A primeira linha buscou essencialmente remediar a condição de solos descaracterizados pela mineração, resultando em normas, manuais técnicos e estudos científicos. Segundo Silva *et al.* (2008), no Brasil, as ações de recuperação de áreas mineradas iniciaram-se na década de 1970. No início dos anos 1980, a partir do surgimento dos primeiros resultados concretos em recuperação de áreas degradadas, a atividade começou a ser propagada pelo setor mineral.

A recuperação de áreas degradadas por mineração considera antes de tudo a regularização de **aspectos físicos** e complementarmente a busca pela **restauração** do meio **biótico**. Nesse sentido, a recuperação de áreas degradadas em atividades de mineração, segundo Sánchez (2010), demanda atenção e cuidados sobre quatro aspectos da paisagem:

- a) **Práticas de caráter topográfico:** compreendem o reafeiçoamento do relevo, regularizando seu perfil movimentado pela exploração mineral. Essas práticas devem levar em consideração a posição futura do lençol freático, haja vista que muitas escavações são preenchidas com água formando lagos artificiais;
- b) **Práticas de caráter edáfico:** este aspecto procura focar o manejo do solo que representa a recomposição da camada superficial, removida separadamente dos horizontes inferiores do solo. Incluem-se também nas práticas edáficas, o aproveitamento de fontes de matéria orgânica para sua incorporação ao solo, e as técnicas de preparação do solo (como subsolagem, adubação e calagem, conforme necessidades específicas);
- c) **Práticas de caráter hídrico:** em mineração, especial atenção se deve às práticas de regularização de corpos hídricos. Atividades como a mineração de carvão tradicionalmente causam drenagem ácida atingindo lençóis freáticos. Assim, um aspecto fundamental é a estabilidade físico-química das águas pluviais;
- d) **Práticas de caráter vegetativo:** promovem o restabelecimento de uma comunidade vegetal nas áreas recuperadas. A destinação da área irá orientar a condução da vegetação e das espécies a serem plantadas. Áreas com fins conservacionistas demandam o plantio de vegetação nativa que devem obedecer às condições fitogeográficas locais; florestas plantadas para uso comercial demandarão espécies normalmente exóticas; culturas agrícolas ou ainda associações florísticas de cunho paisagístico.

2) A recuperação de matas ciliares

Da segunda linha foram gerados, além de diversos manuais técnicos, muitos estudos e artigos científicos, geralmente enfatizando o emprego de plantios de restauração com alta diversidade. Na última década, as pesquisas em restauração de ecossistemas vêm avançando para além da zona ripária⁸, sobre outros biomas além da Mata Atlântica, envolvendo outras técnicas de restauração além do reflorestamento ou abordando outros aspectos da restauração que não somente a biodiversidade (MARTINS, 2010; SÁNCHEZ, 2010; DURIGAN e ENGEL, 2012).

Entretanto, a construção do conhecimento de práticas de restauração desenvolveu-se, a partir do final do século XX, muito mais através de tentativas e erros do que com base em um conhecimento teórico mais sólido. As primeiras experiências de restauração florestal de áreas degradadas foram realizadas ainda de forma empírica buscando reproduzir ecossistemas maduros de referência através do plantio de mudas de espécies finais de sucessão e aplicando-se técnicas agronômicas e silviculturais. Muitos projetos de recuperação não obtiveram sucesso uma vez que as espécies finais de sucessão, plantadas em áreas abertas e degradadas, não conseguiram sobreviver (DURIGAN e ENGEL, 2012). Segundo Martins (2010), naquela época, a contribuição da *ecologia florestal* aos projetos resumia-se aos levantamentos florísticos-fitosociológicos de ecossistemas florestais em estágio sucessional avançado que serviam como referencial para a definição de espécies a serem plantadas em áreas degradadas.

Dessa forma, os projetos de restauração se fundamentavam, até

⁸ A *zona ripária* é definida como um espaço tridimensional que contém vegetação, solo e rio. Sua extensão é delimitada horizontalmente até o limite da inundação e verticalmente do regolito (horizonte de solo) até o topo da copa da floresta. Na região do leito ativo (molhado) do canal, a zona ripária se estende verticalmente da superfície livre de água até o fundo. No caso de se precisar tratar o sistema, processos, mecanismo etc. na zona ripária, é melhor usar o termo *ecossistema ripário* (KOBAYAMA, 2003).

recentemente, nos “Paradigmas Clássicos da Ecologia”, também chamados de “Paradigmas do Equilíbrio” que pautavam os objetivos da restauração com base em uma única comunidade clímax, escolhida pelo executor, que se apresentava como modelo a ser reproduzido pelo processo local de restauração. Para atender aos objetivos propostos, a restauração se restringia ao “plantio de mudas” uma vez que era a principal ou única atividade que permitia propor a recomposição das espécies arbustivo-arbóreas na recuperação de áreas degradadas (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Atualmente, o avanço nas pesquisas levou ao surgimento de um novo paradigma na ecologia, o “Paradigma Contemporâneo” ou “Paradigma do não equilíbrio” e novos referenciais teóricos passaram a embasar a ecologia da restauração (SUDING *et al.*, 2004; RODRIGUES *et al.*, 2010). Segundo Martins (2010), desenvolveu-se uma nova abordagem na restauração de ecossistemas degradados, atentando-se para aspectos ecológicos sucessionais até então pouco valorizados. A partir de uma mudança dos paradigmas da ecologia, os ecossistemas passaram a ser entendidos como sistemas abertos sujeitos a variados tipos de distúrbios e cuja sucessão é influenciada por uma série de fatores ambientais, históricos e antrópicos podendo seguir variados caminhos, envolvendo muitas possibilidades de combinação de espécies e diferentes formas de vida.

A evolução da pesquisa e o acúmulo de conhecimento sobre a dinâmica de formações naturais trouxeram uma mudança na orientação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas que deixaram de se pautar apenas pela aplicação de práticas agronômicas e silviculturais para reconstruir processos ecológicos. O caráter multidisciplinar dos PRADs tem avançado no sentido de se tornar mais amplo e mais sistêmico, incorporando conceitos oriundos da

ecologia, tais como a '*fitogeografia, fitossociologia e sucessão secundária*'⁹ no desenvolvimento de modelos de recuperação de áreas degradadas especialmente na recomposição vegetal (KAGEYAMA, 1986 *apud* BARBOSA, 2006; RODRIGUES e GANDOLFI, 2009).

A partir do conhecimento acumulado sobre a fitossociologia e os mecanismos de sucessão florestal, o avanço da pesquisa produziu diferentes técnicas baseadas em modelos de restauração florestal e no comportamento dos diversos fatores bióticos e abióticos que contribuem para promover e catalisar os processos de recuperação das áreas degradadas. De acordo com Martins (2010), dentre as técnicas passíveis de serem adotadas em recomposição florestal, quatro delas são as mais utilizadas como modelos em projetos de recuperação de áreas degradadas:

a) **Regeneração Natural**

A *regeneração natural* é um modelo de renovação dos contingentes de população vegetal, considerando que os estoques de propágulos e a capacidade de regeneração das espécies estão em níveis suficientes que dispensam a intervenção humana. Dessa forma, a técnica é recomendada para áreas onde a degradação não foi muito intensa, de forma a viabilizar uma base para a restauração florestal. Segundo Martins, (2010), em determinados âmbitos de perturbação do ecossistema, quando, por exemplo uma floresta sofre distúrbio como desmatamento ou incêndio, a sucessão secundária se encarrega de promover a colonização da área aberta e conduzir a vegetação através de uma série de estados sucessionais caracterizados por grupos de plantas que vão se substituindo ao longo do tempo.

⁹ A *fitogeografia* versa sobre a distribuição geográfica dos vegetais e de comunidades nas diversas regiões do globo conforme as zonas climáticas que possibilitam a sua adaptação, principalmente em fatores do meio físico. A *fitossociologia* diz respeito ao estudo das comunidades vegetais, ao padrão ou ordem que possa ser encontrada na ocorrência das várias espécies e a sua variação na paisagem. E a *sucessão secundária* é o processo onde ocorrem mudanças nos ecossistemas após a destruição de parte da comunidade (CAPELO, 2004; KAGEYAMA e GANDARA, 2009).

Esses mecanismos de regeneração natural são regulados pelos ingressos vegetativos nas áreas degradadas através de fontes de propágulos, dos agentes de dispersão, das condições microclimáticas e do substrato (KAGEYAMA e CASTRO, 1989 *apud* BALIERO e TAVARES, 2008). Assim, ao permitir o surgimento de espécies arbóreas na área alvo, o modelo apresenta a vantagem de economizar recursos na aquisição de mudas para a restauração. No entanto, outras espécies vegetais, como arbustos e ervas nativas, são importantes no processo de cobertura e sombreamento do solo e exclusão de espécies exóticas indesejadas (NBL e TNC, 2013).

Para a expressão da regeneração natural é imprescindível eliminar o fator de degradação através do isolamento da área abdicando de qualquer atividade de cultivo (MARTINS, 2010; RODRIGUES e GANDOLFI, 2009). Em alguns casos, áreas com elevada infestação de gramíneas invasoras especialmente o capim gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) e a braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) podem inibir o processo natural de regeneração num processo conhecido como alelopatia. Outra característica é o sombreamento excessivo que impede a germinação de sementes ou o desenvolvimento de espécies nativas menos tolerantes à sombra. Nesses casos é recomendada uma intervenção para controle dessas populações, estimulando o surgimento de espécies arbustivo-arbóreas. Assim, para a condução da regeneração natural, é possível a aplicação de métodos mecânicos ou químicos que eliminem ou controlem o desenvolvimento de espécies vegetais indesejadas ao mesmo tempo que favorecem o desenvolvimento de espécies nativas de interesse na restauração florestal. Mesmo diante desses cuidados, a regeneração natural tende a ser a forma de recuperação de mais baixo custo embora seja um processo normalmente lento (MARTINS, 2010; KAGEYAMA e GANDARA, 2009; NBL e TNC, 2013).

b) Nucleação

A *nucleação* é um modelo de facilitação da sucessão. Quando a área degradada a ser recuperada é muito extensa ou se dispõe de pouco recurso financeiro para restauração, pode-se optar pela nucleação. O modelo de nucleação consiste no aproveitamento dos fragmentos ou mesmo de árvores isoladas presentes no local, os quais podem atuar na dinâmica da restauração como núcleo de expansão da vegetação e atrativos aos dispersores de sementes (REIS *et al.*, 1999 *apud* MAGNANO *et al.*, 2012). Nesse processo, a partir das ilhas de vegetação ou núcleos, a vegetação secundária se expande e acelera o processo de sucessão nas áreas degradadas. O processo de sucessão pode ser mais rápido quanto maior a proximidade entre as ilhas de vegetação (MARTINS, 2007, 2009 *apud* MAGNANO *et al.*, 2012; MARTINS; 2010).

A nucleação (ou a restauração em ilhas) surgiu a partir de pesquisas que mostraram que pequenos fragmentos florestais ou árvores isoladas podem exercer um papel na atração de fauna dispersora de sementes, contribuindo para acelerar a sucessão ao seu redor (KAGEYAMA e GANDARA, 2009). Nesses casos, a presença de fragmentos e fontes de propágulos na paisagem é um dos principais fatores responsáveis pela colonização e enriquecimento de áreas degradadas (RODRIGUES *et al.*, 2004 *apud* MAGNANO *et al.*, 2012).

Segundo Martins (2010), existem quatro diferentes modalidades de nucleação:

b.1) **Nucleação através do plantio de mudas.** Nesta modalidade, recomenda-se a utilização de espécies atrativas à fauna. Pássaros e morcegos que se deslocam em grandes distâncias espalham sementes ao longo da área degradada ao mesmo tempo que trazem sementes de outros fragmentos de mata auxiliando o processo de sucessão secundária. Um modelo de nucleação prático sugere que as espécies não pioneiras sejam plantadas em ilhas enquanto espécies pioneiras no restante da área a ser recuperada. Neste

modelo, as espécies não pioneiras irão colonizar o restante da área ocupada com as pioneiras no processo de sucessão natural. Segundo os autores esse modelo apresenta a vantagem de um custo mais baixo de implantação uma vez que as espécies pioneiras apresentam custo de produção menor (KAGEYAMA e GANDARA, 2004 *apud* MARTINS, 2010).

- b.2) Na modalidade de **nucleação através do plantio de arbustos do sub-bosque**, as espécies que se desenvolvem nesses ambientes são normalmente adaptadas à sombra. Para implantação dessas espécies, é necessário um determinado nível de sombreamento e cobertura do solo. Dessa forma, o plantio dessas espécies é recomendado após o segundo ou terceiro ano pós-plantio quando é possível um nível de cobertura para o desenvolvimento de espécies não-pioneiras. Como dificilmente se encontram mudas de espécies de sub-bosque em viveiros comerciais, essas podem ser obtidas em áreas que o licenciamento ambiental tenha autorizado supressão de vegetação nativa para atividades de mineração, etc. (MARTINS, 2010).
- b.3) A **transposição de galhadas** é outra forma de implantação de núcleos ou ilhas de vegetação utilizando restos vegetais de florestas (galhos, folhas e material reprodutivo). Esta técnica de nucleação tem como pressuposto que a transposição desse material em áreas degradadas contribui como fonte de sementes de espécies arbustivo-arbóreas bem como de plantas epífitas, fonte de matéria orgânica e nutrientes. Além disso, a deposição desse material composto por restos de vegetais numa área sem vegetação ou com solo degradado facilita ativação de cadeias alimentares que promovem o funcionamento do ecossistema em restauração (MARTINS, 2010).
- b.4) A **transposição do banco de sementes do solo** e a **transposição de chuva de sementes** como técnicas de nucleação indicadas

como medidas mitigadoras ou compensatórias de um impacto ambiental. A técnica consiste na retirada do banco de sementes do solo de um determinado trecho florestal para restauração de uma área degradada. Diversos estudos exemplificam o papel do banco de sementes após perturbação em áreas de pastagem e de agricultura, terras que sofrem chuvas freqüentes ou incêndios, beira de rios e lagos que sofrem variação sazonal do nível de água, pântanos, comunidades árticas e alpinas, floresta temperada e floresta tropical. Em geral, a função do banco de sementes na dinâmica da vegetação é bem definida e está intimamente conectada com as perturbações (THOMPSON, 1992 *apud* VIEIRA e REIS, 2003; MARTINS, 2010).

A vantagem da técnica de transposição do banco de sementes, reside no fato de promover uma elevada densidade de sementes de espécies nativas, podendo resultar já na fase de implantação do projeto em alta diversidade de espécies. Entretanto a regeneração artificial em áreas perturbadas pode ser melhor planejada se, efetivamente, forem levantadas informações analisando o estado do banco de sementes das mesmas que deverá ser coletado, uma vez que o fragmento florestal onde será coletado pode apresentar grande densidade de espécies de ervas daninhas, trepadeiras e gramíneas agressivas que podem inibir a sucessão que se pretende estimular (TEKLE & BEKELE, 2000 *apud* VIEIRA e REIS, 2003; MARTINS, 2010).

c) **Modelos Sucessionais**

Os *Modelos sucessionais* partem do princípio fitossociológico de que espécies de início de sucessão, intolerantes à sombra e de crescimento rápido devem fornecer condições ecológicas, principalmente sombreamento, favoráveis ao desenvolvimento de espécies finais da sucessão, ou seja, aquelas que necessitam de sombra, pelo menos na fase inicial do crescimento (MARTINS, 2010). A sucessão ecológica na

restauração florestal é a tentativa de dar à regeneração artificial um modelo seguindo as condições com que ela ocorre naturalmente na floresta. Sua aplicação normalmente gera os melhores resultados em termos de sobrevivência e de crescimento das mudas e, conseqüentemente, na proteção dos fatores edáficos e hídricos da área em recuperação (KAGEYAMA e GANDARA, 2009; MARTINS, 2010).

O modelo sucessional procura reunir espécies em grupos ecológicos de forma que as espécies iniciais de sucessão dêem sombreamento adequado às espécies de estágios finais de sucessão. Essas condições de sombreamento são fornecidas pelas espécies dos grupos iniciais (pioneiras e secundárias iniciais) e que são efêmeras na estrutura florestal. Para fins práticos, a condução do plantio poderá ser conduzida em módulos, em linhas ou mesmo de forma adensada (KAGEYAMA *et al.*, 1994 *apud* KAGEYAMA e GANDARA, 2009).

O plantio de pioneiras e de não-pioneiras pode ser realizado simultaneamente ou em diferentes épocas. No segundo caso, o plantio de não-pioneiras é recomendado após dois anos de plantio das pioneiras, período em que as espécies plantadas conseguirão se desenvolver a ponto de fornecer sombra às não-pioneiras. O plantio escalonado entretanto pode apresentar maior custo de implantação em relação ao plantio simultâneo mas, como se espera maior sobrevivência de mudas não-pioneiras empregando-se esta técnica, há uma tendência de equilíbrio nos custos dos dois sistemas de plantio. O plantio simultâneo das linhas de pioneiras e das linhas de não-pioneiras é mais indicado, quando é necessária uma cobertura mais rápida do solo, evitando a competição com ervas agressivas, principalmente gramíneas exóticas (MARTINS, 2010).

O sucesso desses modelos pode ser avaliado em dois aspectos: o primeiro diz respeito à efetiva proteção do solo contra processos erosivos. Essa proteção pode ser avaliada em termos da simples sobrevivência e do crescimento das mudas plantadas, bem como da cobertura de copas que estas proporcionam ao longo do tempo. O segundo aspecto engloba a

recuperação de fatores essenciais para a sustentabilidade do sistema, ou seja, a diversidade de espécies, a atração e conservação da fauna, a ciclagem de nutrientes, etc. A avaliação desses fatores é mais difícil e demanda um tempo maior (MARTINS, 2010).

A utilização das várias espécies, formando grupos de pioneiras e de não-pioneiras, como um modelo complexo, apresenta como maior vantagem, a formação de uma floresta com maior diversidade mais próximo à composição de uma mata nativa. A floresta resultante tende a fornecer maior proteção ao solo, apresentar custo mais baixo ao longo do tempo, por exigir pouca manutenção, e ser menos suscetível a pragas e doenças e estresse por fatores ambientais como geadas e estiagens prolongadas (MARTINS, 2010).

Por utilizar a combinação de várias espécies esse modelo é bastante flexível, permitindo uma série de adaptações na proporção de espécies de diferentes grupos ecológicos. A utilização de maior número de espécies pioneiras apresenta vantagens ecológicas e econômicas. Em solos degradados, as pioneiras apresentam melhores resultados em termos de sobrevivência e crescimento inicial das mudas diminuindo os custos iniciais. Além disso, proporcionam maior proteção ao solo e melhoram as condições ecológicas para as espécies dependentes de sombra (MARTINS, 2010).

Em projetos de restauração florestal, a composição florística das espécies arbóreas se assemelha às áreas de bordas de florestas e grandes clareiras onde predominam as espécies pioneiras que aproveitam abundância de luz das áreas abertas. Estudos fitossociológicos têm mostrado que poucas espécies são responsáveis pela maior parte do número total de plantas enquanto a maioria das espécies apresentam baixa densidade, o que reforça a indicação para se plantar maior número de espécies comuns e menor de espécies raras, compondo o Modelo com espécies raras e comuns (KAGEYAMA, NAMKOONG e ROBERDS, 1991 *apud* KAGEYAMA e GANDARA, 2009; MARTINS, 2010).

Para microbacias hidrográficas com presença de remanescentes de florestas nativas sugere-se a utilização de 60% de mudas pioneiras e 40% de não-pioneiras. Dentre as não pioneiras, 70% de mudas de espécies comuns (abundantes) e 30% de raras (que ocorrem em baixa densidade). Em microbacias ocupadas por culturas agrícolas ou pastagens desprovidas de fragmentos florestais próximos à área recuperada, o autor propõe uma proporção de 50% entre pioneiras e não-pioneiras, mas mantendo a proporção de 70% de espécies abundantes e 30% de espécies raras (MARTINS, 2010).

Outra técnica que adota o modelo de sucessão, é o Plantio em Linha. Esta baseia-se no princípio de que as espécies pioneiras fornecerão sombra para as não-pioneiras que as substituirão ao longo do tempo. Além disso, é esperada a entrada natural de sementes no sistema contribuindo para aumentar a diversidade de espécies. Este modelo em linhas é mais indicado para plantio em grande escala (dezenas a centenas de hectares) quando permite-se a operação automatizada, como nos plantios de nativas da CESP. Ainda tratando do plantio em linhas, os autores indicam uma alternância em linhas de espécies pioneiras e não pioneiras. Assim, alternar-se-iam linhas de espécies pioneiras (pioneiras e secundárias iniciais) e de não pioneiras (secundárias tardias e climácicas) na área de plantio. Já a técnica da condução em módulos pressupõe um núcleo composto por espécies dos grupos finais de sucessão rodeada por 4 ou mais plantas sombreadoras dos grupos iniciais (KAGEYAMA e GANDARA, 2009).

O modelo adensado também é uma técnica indicada para a recuperação de áreas degradadas que apresentam infestação de gramíneas agressivas. O plantio é realizado de forma adensada com espaçamento de 1,0 x 1,0m, com linhas de espécies pioneiras intercaladas por linhas de espécies pioneiras e não-pioneiras. Esta técnica apresenta vantagem de promover rápida cobertura do solo inibindo o crescimento de gramíneas. Como o número de mudas é mais alto o custo de implantação nesse

modelo é maior que em comparação com aqueles adotados por espaçamentos mais amplos (3,0 x 2,0m ou 3,0 x 3,0m), mas tende a ser compensado com menor manutenção, uma vez que o sombreamento inibe a infestação de ervas invasoras (PINÃ-RODRIGUES *et al.* 1997 *apud* MARTINS, 2010).

d) **Sistemas Agroflorestais**

Os *Sistemas Agroflorestais* (SAF) são o conjunto de tecnologias e sistemas de uso da terra onde espécies lenhosas perenes (árvores, arbustos e palmeiras) são usadas na mesma unidade de manejo associadas com cultivos agrícolas e/ou animais de acordo com um arranjo espacial, de maneira simultânea ou em uma sequência temporal. São considerados silviagrícolas quando envolvem apenas o consórcio de espécies arbóreas e culturas agrícolas; silvipastoris, quando o consórcio se dá entre espécies arbóreas e animais; e agrosilvipastoris quando envolvem o consórcio de espécies arbóreas, culturas agrícolas e animais (DUBOC, 2008; MARTINS, 2010).

Os sistemas agroflorestais apresentam-se como técnica promissora na medida em que beneficiam o pequeno produtor rural ao associar a produção agrícola com o cultivo de espécies arbóreas, otimizando o aproveitamento da terra conciliando produção de alimentos, energia e serviços ambientais com a produção florestal, diminuindo a pressão econômica sobre a conservação dos recursos naturais renováveis mediante a manutenção de sistemas agroecológicos estáveis. Dentre as várias tecnologias passíveis de recuperar a capacidade produtiva do solo e promover recuperação de áreas degradadas, os sistemas agroflorestais se apresentam como alternativa sustentável uma vez que rompe com ciclo de agricultura migratória comum na região amazônica (DUBOC, 2008; BRIENZA Jr. *et al.*, 2010).

O Novo Código Florestal considera de interesse social a “exploração agroflorestal sustentável praticada na pequena propriedade ou posse rural

familiar ou por povos e comunidades tradicionais, desde que não descaracterize a cobertura vegetal existente e não prejudique a função ambiental da área” (BRASIL, Lei 12.651 de 25 de maio de 2012). Além disso o Novo Código considera como atividade de baixo impacto ambiental, a exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável. Na mesma linha, o Novo Código Florestal prevê a recomposição de Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal em sistema agroflorestal desde que atenda a requisitos previstos na Lei.

Segundo Martins (2010), dois modelos de sistemas agroflorestais se destacam na restauração florestal no aproveitamento da Reserva Legal:

d.1) **SAF Temporário em Área Total.** Nesse modelo, o sistema agroflorestal é praticado em toda a faixa ciliar definida pela legislação como APP. Os principais objetivos desse modelo são a redução de custos e a redução da competição de gramíneas e outras plantas agressivas com as mudas implantadas. Culturas agrícolas anuais como milho, feijão são indicadas para cultivo temporário nas entrelinhas do reflorestamento, enquanto nas linhas são utilizadas espécies pioneiras e não-pioneiras com alta diversidade de espécies. O tempo que o sistema é utilizado com culturas anuais varia de dois a três anos, dependendo do espaçamento utilizado. Num espaçamento tradicional de 3,0 x 2,0m geralmente são viáveis duas colheitas pois a partir do terceiro ano o sombreamento produzido pelas árvores já inviabiliza as culturas agrícolas anuais. Além do benefício de redução dos custos de implantação da mata ciliar, representados por gastos com mão-de-obra, adubo, combate às formigas cortadeiras, os SAF temporários possibilitam maior cobertura do solo pelas culturas agrícolas nas entrelinhas do reflorestamento, evitando processos de erosão e auxiliando no controle de gramíneas.

d.2) **SAF Permanente em Área Parcial.** Modelo indicado para pequenos produtores rurais. Dois terços da faixa definida como área

de preservação permanente podem ser manejados para a produção de produtos não madeireiros e o outro terço pode ser destinado à restauração e preservação da mata ciliar. Na faixa destinada ao SAF, recomenda-se a implantação de espécies arbóreas e de espécies nativas que possam ser utilizadas como fonte de produtos não-madeireiros (como frutos, castanhas, látex, palmito, etc).

Os diferentes modelos de restauração florestal elencados acima não esgotam o conjunto de técnicas possíveis, que podem, inclusive, se apresentar de forma associada em um mesmo projeto de recuperação. Entretanto, constituem os modelos mais empregados em PRADs, uma vez que fornecem parâmetros e objetivos para avaliação e monitoramento da recuperação de áreas degradadas.

A evolução do conhecimento permitiu o aperfeiçoamento de projetos de recuperação de áreas degradadas aumentando as taxas de sucesso e promovendo eficiência no emprego de recursos. Por sua vez, critérios definindo o que se deseja por sucesso em PRAD, também foram melhor definidos a despeito da multiplicidade de conceitos, objetivos e metas possíveis. Nesse sentido, autores reconhecem que não há um modelo ideal para todos os casos. A grande diversidade de situações (dimensões das áreas e intensidade da degradação) e exigências (prazos, recursos, requisitos técnicos) que incidem sobre projetos de recuperação de áreas degradadas demandam diferentes técnicas e modelos de recuperação. Entretanto, a política ambiental tem avançado procurando normatizar a elaboração de projetos de recuperação de áreas degradadas (MARTINS, 2010; MAGNANO *et al.*, 2012).

2.2.3. Diretrizes Normativas em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas

Além do conhecimento técnico, para intervenção na paisagem, da necessidade de uma estruturação organizacional que administre recursos e capacidade gerencial para alcançar os objetivos propostos no projeto, a execução de um PRAD normalmente depende de aprovação de um agente público, uma vez que os projetos, via de regra, destinam-se a compensação ambiental obrigatória decorrente de exigência de licenciamento ou por reparação de dano ambiental.

Para tanto, cabe aos PRADs atenderem às diretrizes normativas que orientam sua elaboração. Normas infralegais como Instruções Normativas, Resoluções, Decretos, etc são expedidas por órgãos encarregados da política pública ambiental e regulamentam a legislação ambiental.

Neste sentido, cabe destacar duas normas orientadoras na elaboração de projetos de recuperação de áreas degradadas: a **Instrução Normativa IBAMA Nº 04 de 13 de abril 2011 (IN IBAMA Nº 04/2011)**, considerada como a primeira norma de âmbito federal a tratar exclusivamente do tema, constituindo uma importante fonte de diretrizes e procedimentos para guiar a realização e execução dos PRADs; e a **Resolução INEA Nº 36/2011**, que regulamenta o tema, de forma complementar, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.

Para a elaboração de Projetos de Recuperação de Área Degradada o IBAMA estabeleceu, em sua **Instrução Normativa Nº 04 / 2011**, Termos de Referência contendo os elementos mínimos necessários à aprovação de projetos por parte dos órgãos oficiais de execução da Política Ambiental brasileira. O projeto além de fazer referência ao auto de infração ou termo de compromisso, que tenha motivado sua elaboração, deverá conter os seguintes elementos listados na **Tabela 3** a seguir:

Tabela 3. Termo de Referência para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Alterada (TR – PRAD)

FASE	TAREFAS	OBSERVAÇÕES
Identificação do Projeto	Identificação do Interessado e do Responsável Técnico pelo Projeto Caracterização do Imóvel Rural Documentação fundiária, endereço, mapa ou croqui, área total e área total do dano com limites georeferenciados; Identificação do Interessado Identificação do Responsável Técnico pela Elaboração do PRAD Identificação do Responsável Técnico pela Execução do PRAD	Produzir uma identificação completa do imóvel incluindo mapa ou croquis, informações georreferenciadas, dados dos proprietários, além da identificação do responsável técnico pelo projeto.
Caracterização do Local	Origem da Degradação Identificação da Área Degradada, descrição da causa da degradação e seus efeitos ao meio ambiente Caracterização Regional e Local Descrição do Clima, Bioma, Fitofisionomia, Bacia Hidrográfica afetados Caracterização da Área a ser Recuperada Descrição do Relevo, Solo s subsolo, Hidrografia, Cobertura Vegetal	Identificar a origem da degradação, com a descrição da atividade causadora do impacto, identificação da área degradada e seus efeitos ao ambiente. Descrever o relevo, as classes de solos presentes, incluindo informações sobre presença de processos erosivos, indicadores de fertilidade, pedregosidade, estrutura, textura e horizontes diagnósticos; também a hidrografia da área e a cobertura vegetal destacando-se a eventual localização de remanescentes na área. Descrever ainda as medidas a serem tomadas para controle da erosão, preparo e recuperação do solo, da revegetação da área, além de medidas de manutenção e monitoramento.

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa IBAMA Nº 04/2011.

Tabela 3. Termo de Referência para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Alterada (TR – PRAD)
(CONTINUAÇÃO)

FASE	TAREFAS	OBSERVAÇÕES
Corpo do Projeto	<p>Objetivo Geral</p> <p>Objetivo Específicos</p> <p>Implantação Descrição de medidas de contenção de erosão; métodos e técnicas de recuperação. As atividades deverão ser mensuradas e mapeadas. As espécies vegetais empregadas deverão ser listadas</p> <p>Manutenção Descrição dos tratos culturais e demais intervenções necessárias</p> <p>Monitoramento Detalhar métodos que serão utilizados para monitoramento e avaliação</p> <p>Cronograma Físico</p> <p>Cronograma Financeiro</p>	<p>Informar o prazo para implantação do projeto; as técnicas empregadas na recuperação e justificar com o diagnóstico local e os objetivos elencados. As atividades deverão ser mensuradas, mapeadas e monitoradas posteriormente. As espécies vegetais utilizadas deverão ser listadas e identificadas por família, nome científico e nome vulgar. Prever atividades de manutenção com tratos culturais. Além dos cronograma físico e financeiro apresentar também uma memória de cálculo do custo do projeto. Apresentar referências bibliográficas.</p>

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa IBAMA Nº 04/2011.

Além dos requisitos necessários à apresentação do Projeto, a IN IBAMA 04/2011 apresenta outros aspectos a serem considerados. Segundo a Instrução Normativa, os projetos a serem elaborados devem considerar não apenas o repovoamento de espécies vegetais típicas dos biomas de referência (art. 2º) mas devem destacar também a atenção à conservação do solo e dos recursos hídricos (§ 2º, art. 2º). O manejo da área a ser recuperada é outro aspecto a ser observado na execução do projeto, com previsão de proteção contra fatores que possam dificultar ou impedir sua recuperação como a adoção de técnicas de controle da erosão do solo. Além disso, os tratamentos culturais previstos deverão ainda ser descritos, incluindo controle de espécies invasoras, pragas e doenças (art. 11, § único), obedecendo técnicas e normas aplicáveis.

As espécies vegetais a serem plantadas deverão ser descritas destacando-se as espécies ameaçadas de extinção (art. 6º), definindo ainda o número de espécies vegetais nativas empregadas e a quantidade de indivíduos por hectare. Para tanto deverão ser considerados trabalhos e pesquisas publicados ressaltando as especificidades e particularidades de cada região buscando maior compatibilidade com a fitofisionomia local (art. 7º).

Entretanto, no esforço de revegetação, Sistemas Agroflorestais poderão ser adotados como forma de recuperação desde que justificado pelo *PRAD Simplificado* em propriedade ou posse de agricultor familiar (art. 9º). Admitindo a possibilidade de um uso consorciado de revegetação e aproveitamento agrícola a norma deixa em aberto o uso futuro e exploração da área recuperada mediante manejo ambientalmente sustentável (art. 10º).

Outra inovação importante observada na IN IBAMA Nº 04/2011 é essa previsão de *PRAD simplificado* destinado à pequena propriedade rural ou à posse rural familiar. O *PRAD simplificado* também é passível de ser utilizado em médios e grandes imóveis rurais desde que a análise técnica assim justifique essa opção (§7º, art. 1º) o que permite concluir que *PRAD simplificado* é destinado a

projetos de recuperação de menor âmbito espacial ou complexidade técnica. O Termo de Referência para apresentação do PRAD Simplificado reduz as exigências de caracterização física e ambiental sobre a região e local do imóvel, bem como a necessidade de apresentação semestral de relatórios de monitoramento e avaliação.

Por sua vez, a publicação da Resolução do INEA Nº 36 de 08 de julho de 2011 (**Resolução INEA Nº 36/2011**), em seu Anexo I, institui o “Termo de Referência para Elaboração de PRAD”, em complementação à Instrução Normativa Federal sobre o tema. Esse Termo de Referência contém diretrizes para recuperação, recomposição, reabilitação ou restauração ecológica de áreas degradadas, alteradas, perturbadas ou desflorestadas, cujo cumprimento será exigido para: 1) projetos que visem à reparação de danos ambientais; 2) projetos de recomposição de florestas em área de reserva legal; 3) projetos de reposição florestal exigidos em condicionantes de processos de licenciamento ambiental; 4) projetos de recomposição florestal previstos em Termos de Ajustamento Ambiental (TAC) ou como condicionantes de Autorizações de Supressão de Vegetação (ASV).

Os principais aspectos para elaboração de um PRAD, conforme o “Termo de Referência” da Resolução INEA Nº 36/2011, encontram-se listados na **Tabela 4** a seguir:

Tabela 4. Termo de Referência para Elaboração de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas

FASE	TAREFAS	OBSERVAÇÕES
Enquadramento do Projeto	Identificação do Proprietário Identificação do Responsável Técnico pela Elaboração e pela Execução do PRAD Dados da Propriedade Endereço, área total em hectares e área total a ser recuperada	Apresenta a destinação do projeto (se licenciamento, TAC, etc); a identificação do empreendedor; do elaborador e executor do projeto e dados da propriedade
Caracterização da Área	Diagnóstico Regional Caracterização climática Formação vegetal predominante Identificação das espécies vegetais predominantes Diagnóstico do Sítio (Área a ser recuperada) Orientação geral das vertentes com coordenadas UTM Vegetação predominante atual da área do projeto Relevo e declividade média Microbacia hidrográfica onde o sítio está inserido Hidrografia: cursos d'água e drenagem natural Caracterização pedológica da área Indicadores ambientais que apontem o grau de degradação da área Inserção da área do PRAD em Unidade de Conservação ou Zona de amortecimento. Planta de Situação da Área Planta da área com curvas de nível, coordenadas UTM apresentando hidrografia, afloramento rochosos, estradas, vias de acesso, setorização do projeto, além dos remanescentes florestais	Etapa de descrição das características físicas, de relevo, pedologia, hidrografia, clima e vegetação presentes na região e na área objeto de recuperação. Inclui ainda a localização geográfica das área com detalhamento físico na Planta de Situação da Área.

Fonte: Adaptado de Resolução INEA nº 36/2011.

Tabela 4. Termo de Referência para Elaboração de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (CONTINUAÇÃO)

FASE	TAREFAS	OBSERVAÇÕES
Método	<p>Medidas físicas (obras) para disciplinamento da rede de drenagem, contenção da erosão, reconformação topográfica do terreno ou outras, em etapa anterior ao plantio, para implantação do projeto</p> <p>Espécies vegetais a serem empregadas</p> <p>Tabela com nome científico e vulgar das espécies</p> <p>Justificativa da escolha de espécies nativas ou exóticas, da diversidade proposta, da proporção do grupo ecológico</p> <p>Procedência e tamanho das mudas</p> <p>Espaçamento, forma de plantio e distribuição espacial das espécies</p> <p>Setorização do reflorestamento</p> <p>Quadro com área de cada setor, declividade média, vegetação predominante atual, indicação das espécies, espaçamento, distribuição do plantio por grupo sucessional.</p> <p>Justificativa da setorização</p>	<p>Etapa de definição das estratégias de recuperação baseadas em modelos de eficácia comprovada;</p> <p>Descrição das medidas físicas de intervenção na área a ser recuperada.</p>
Especificações Técnicas	<p>Implantação, Manutenção, Manejo e Monitoramento</p> <p>Cercamento da área,</p> <p>Aceiros, e limpeza da área com corte de cipós, lianas e trepadeiras.</p> <p>Preparo do solo, adubação e calagem</p> <p>Transporte e controle fitossanitário das mudas</p> <p>Desbastes, podas, capinas, coroamento, semeadura, plantio</p> <p>Manutenção e Manejo</p> <p>Cronograma físico por etapa (implantação, manutenção, manejo e monitoramento)</p>	<p>Para cada atividade definir os equipamentos, implementos e insumos utilizados. Manutenção e monitoramento são planejados até o estabelecimento total do projeto</p> <p>Bibliografia consultada deverá ser apresentada</p>
Equipe Técnica	<p>Definir Responsável Técnico pela elaboração do projeto</p> <p>Definir Responsável Técnico pela execução do projeto</p> <p>Descrever Integrantes da equipe técnica</p>	

Fonte: Adaptado de Resolução INEA nº 36/2011.

Complementando o esforço de normatização sobre PRADs, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do Estado do Rio de Janeiro vem trabalhando numa Minuta de Resolução para regulamentar a avaliação de projetos de revegetação através de Indicadores PRAD. A Resolução, ainda não publicada, pretende levantar aspectos a serem observados tanto aos responsáveis pela elaboração e condução de projetos de revegetação, quanto aos técnicos encarregados da sua fiscalização. Os parâmetros de avaliação sugeridos são aplicáveis às atividades de revegetação desenvolvidas em PRADs, e apresentam similaridade com a proposta de Melo (2010) sobre indicadores de monitoramento de reflorestamentos.

A Resolução do INEA está sendo desenvolvida de forma a: 1) Estabelecer parâmetros de avaliação de forma a padronizar procedimentos de vistoria, acompanhamento, análise e monitoramento de projetos de reflorestamentos heterogêneos; 2) Criar mecanismos para exigir cumprimento de metas e os objetivos de projetos de adequação ambiental de propriedades rurais, de aprovação de Reserva Legal e de projetos de aprisionamento de carbono; além de 3) Promover, no ambiente tratado, as condições básicas para sua autossustentabilidade, favorecendo o desenvolvimento das interações ecossistêmicas e de fluxo de energia.

Para tanto, a minuta de Resolução propõe o monitoramento e avaliação de projetos de reflorestamento heterogêneos com base em indicadores relacionados ao preparo da área, à manutenção e à estrutura do plantio, incluindo a composição e riqueza de espécies arbóreas nativas.

A estrutura de indicadores encontra-se descrita em uma Matriz de Avaliação de Projeto de Reflorestamento Heterogêneo, apresentada na **Tabela 5** a seguir, que irá orientar as ações de fiscalização do INEA sobre as áreas de recomposição florestal supervisionadas pelo órgão, bem como a periodicidade de monitoramento para cada indicador segundo o grau de desenvolvimento do plantio. Essa Matriz foi elaborada de forma a permitir ao avaliador que, uma vez em campo, possa preencher os itens “Valor encontrado” e “Avaliação”. Na coluna “Valor Encontrado” o avaliador deverá informar os valores e estado

encontrado na área reflorestada. Na coluna “Avaliação” serão incluídos os valores dos Níveis de Adequação. Assim, a título de exemplo, no indicador “Cercamento”, caso a área objeto de avaliação se apresente parcialmente cercada, o *Valor Encontrado* será “parcialmente cercado” e a coluna *Avaliação* terá valor 2. Por sua vez, uma taxa de 15% de mortalidade de mudas na área amostrada apresentará *Valor Encontrado* de 15% enquanto uma *Avaliação* atingirá grau 2.

Tabela 5. Matriz de Avaliação de Projeto de Reflorestamento Heterogêneo

Grupo	Indicador	Nível de Adequação			Valor encontrado	Avaliação	Recomendação	Periodicidade
		1	2	3				
Preparo	Cercamento	Área completamente cercada ou cercamento desnecessário	Área parcialmente cercada	Área não cercada			Completar o isolamento nos pontos necessários	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
	Proteção de perturbações	Não se detectam sinais de perturbação OU, quando existem, não comprometem mais que 10% da área	São detectados sinais de perturbação que comprometem entre 11 e 30 % da área	São detectados sinais de perturbação em mais de 31% da área			Completar proteção para os elementos de degradação detectados. Analisar o caso e definir medidas para cessar perturbações em toda área	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
Manutenção	Mortalidade	Até 10%, de forma dispersa pelo plantio.	Entre 10 e 20% OU menor, localizada em reboleiras	Entre 10 e 20% em clareiras OU acima de 20% dispersos na área			Analisar causa da mortalidade e adotar medidas necessárias de controle de doenças, pragas ou adequação de espécies às condições ambientais	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
	Ataque de formigas	Até 15% das árvores parcialmente desfolhadas	Entre 16 e 30% das árvores parcialmente desfolhadas OU até 10% de árvores totalmente desfolhadas	Mais de 30% de árvores parcialmente desfolhadas OU mais de 10% das árvores totalmente desfolhadas			Analisar espécie infestante, condições climáticas e adotar técnica de controle. Analisar se houve mortalidade e, caso necessário, realizar replantio	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
	Matocompetição na coroa das mudas	Ocorrência de competidoras em até 25% da coroa	Observa-se ocorrência de competidoras em área entre 26 e 50% das coroas	Observa-se ocorrência de competidoras em área maior que 50% da área das coroas			Analisar espécie infestante, condições climáticas e priorizar região da coroa das mudas para adoção de medidas manuais, químicas ou mecânicas de controle de infestantes das mudas	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
	Matocompetição na entrelinha	Menor que 30% da área	Observa-se ocorrência de competidoras em área equivalente a 30 – 50% da área	Mais de 50% da matocompetição dispersa nas entrelinhas			Analisar espécie infestante, condições climáticas e adotar medidas manuais, químicas ou mecanizadas de controle de infestantes das mudas	Mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
Estrutura	Cobertura de copas	Acima de 80% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia	Entre 50 e 80% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia	Abaixo de 50% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia.			Verificar se o conjunto de espécies plantadas contempla aquelas de maior crescimento na região e proceder ao adensamento associado com outras medidas de adequação dos indicadores do grupo Manutenção	Trimestral no 1º ano e semestral a partir do 2º ano

Fonte: Adaptado de Melo (2010).

Cabe destacar que a Minuta de Resolução do INEA apresenta critérios aplicáveis a reflorestamentos heterogêneos da Mata Atlântica bem como a diversas técnicas de reflorestamento como regeneração natural, modelos sucessionais e sistemas agroflorestais. Entretanto, os indicadores não são recomendados para projetos de recuperação de áreas degradadas que empreguem as técnicas de adensamento, enriquecimento e nucleação.

O conjunto de requisitos técnicos e normativos disponíveis, proporciona uma base de atributos e diretrizes aplicáveis à avaliação e ao monitoramento de projetos de recuperação de áreas degradadas. Para melhor eficácia no monitoramento e avaliação, apresenta-se a questão de aprofundar o conhecimento acerca dos indicadores como ferramentas de monitoramento que devem ser desenvolvidos e aplicados para contribuir no avanço do conhecimento de PRADs.

2.3. Análise da Recuperação de Áreas Degradadas

2.3.1. Monitoramento e Avaliação em PRADs

O **monitoramento** e a **avaliação** são recursos gerenciais de levantamento e análise da situação de projetos constituindo-se numa das melhores formas de avançar no conhecimento sobre restauração, lançando uma luz na compreensão sobre os sucessos e falhas dos projetos. Como ferramentas gerenciais, são fundamentais no acompanhamento da trajetória de restauração das áreas degradadas fornecendo evidências de declínio ou revelando o potencial de sustentabilidade da área em recuperação (BRANCALION *et al.*, 2012; HOWELL *et al.*, 2012). No entanto, Vallauri *et al.* (2005) recomendam que as ações de monitoramento e avaliação não sejam tarefas realizadas apenas ao final de um projeto, pelo contrário devem ser uma parte crítica e essencial ao longo do projeto de recuperação. Além disso, Howell *et al.* (2012) consideram que um conjunto de dados de monitoramento em vários locais ou coletados por vários anos podem apresentar padrões e formular hipóteses a serem testadas em experimentos posteriores.

O **monitoramento** da recuperação de áreas degradadas é um processo sistemático pelo qual periodicamente se checa, descreve e avalia o estado (*status*) de um projeto (HOWELL *et al.*, 2012). Outros autores destacam ainda a importância da coleta sistemática de informações mediante a mensuração contínua proporcionada por *indicadores*, ou seja, variáveis ambientais ou populacionais levantadas por meio de várias coletas de dados ao longo do tempo, que permitem subsidiar a tomada de decisões gerenciais (O'CONNOR *et al.*, 2005; BRANCALION *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o **monitoramento** é importante em projetos de restauração florestal, pois permite demonstrar o impacto e ajuda a melhorar a efetividade do projeto. Torna-se uma etapa vital especialmente em projetos complexos que incluem diferentes metas e partes interessadas, como é comum nos projetos de restauração.

A **avaliação** consiste em ações destinadas a determinar se os *objetivos* propostos para a recuperação ou restauração de uma área foram ou estão sendo alcançados. A *avaliação* trata de inventariar e analisar o local com a dimensão adicional do tempo. A proposta é assistir as mudanças e desenvolvimentos no local e em sua volta, e comparar o local, no momento do monitoramento, com a visão que se pretende da restauração. Nesse sentido, a falta de *objetivos* claramente definidos no planejamento dificulta a cobrança por resultados, pois uma vez que não se define o que se quer, qualquer resultado passa a ser aceitável. Portanto, cada *avaliação* está atrelada a um objetivo ou questionamento específico (BRANCALION *et al.*, 2012; HOWELL *et al.*, 2012).

Segundo Brancalion *et al.* (2012), os **objetivos** são ideias e abstrações que delimitam um grupo de resultados aceitáveis para determinado projeto, ao passo que as **metas** representam medidas concretas que devem ser tomadas para que os objetivos sejam atingidos. A avaliação do cumprimento das metas é dada pelos **indicadores**, que refletem a atual situação da área cujos valores devem ser comparados com aqueles estabelecidos pelas metas para se saber se estas foram cumpridas ou não. No entanto, a *Society for Ecological Restoration International Science* (SER) adota referencial divergente assumindo como *meta* uma visão mais generalizada e idealizada enquanto o *objetivo* é mais específico e muitas vezes quantificado (SER, 2004). Para fins do presente trabalho, serão consideradas as definições de *objetivos* e *metas* mais aceitas no Brasil, conforme descritas por Brancalion *et al.* (2012).

Portanto, para avaliar a recuperação de áreas degradadas é necessário primeiro definir *objetivos* e *metas*. Nesse sentido, os autores concordam ser inviável adotar modelos e metas universais de avaliação e monitoramento. Diferentes modelos de avaliação e monitoramento podem ser necessários para um mesmo tipo de ecossistema em função do público que se espera atender, não havendo clareza sobre a melhor maneira de especificar *metas*, considerando que elas refletem os diversos modelos ecológicos adotados nos processos de restauração (EHRENFELD, 2009; BRANCALION *et al.*, 2012).

Além da definição de objetivos e metas, outro fator relevante para o êxito no monitoramento e avaliação de projetos de recuperação é a escolha de *indicadores* e a capacidade destes em representar adequadamente a complexidade do ecossistema ou da área em recuperação. De forma simplificada, os indicadores são recursos metodológicos que buscam expressar algum aspecto da realidade de forma que possamos observá-la ou mensurá-la (DALE e BEYELER, 2009).

A despeito da importância do tema, diversos autores apontam a pouca atenção dada à avaliação e ao monitoramento de áreas restauradas no Brasil e no mundo, havendo hoje grande lacuna a ser preenchida pela pesquisa e pelos trabalhos técnicos. Parte desse problema está relacionada à forma como a restauração é interpretada, sendo realizada muitas vezes apenas para o cumprimento de demandas específicas de certificação e de licenciamento ambiental, sem que haja efetivo comprometimento com o resultado ou a sustentabilidade ecológica dessas áreas. Outro motivo destaca uma limitação intrínseca à forma como a Ciência é produzida. Embora seja rica em dados, muitas vezes é pobre em informação devido à comunicação ineficaz de dados complexos. Portanto, desenvolver ferramentas para comunicar o estado da restauração a um público diversificado, composto de diferentes partes interessadas, é uma tarefa tão essencial como complexa (BELLOTTO *et al.*, 2009; DOREN *et al.*, 2009; BRANCALION *et al.*, 2012). Nesse sentido, é necessário embasar, teórica e metodologicamente, o processo de desenvolvimento e seleção de indicadores de recuperação de áreas degradadas, de forma a adotar um conjunto coerente com os propósitos do monitoramento e da avaliação.

2.3.2. Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas

Os **indicadores** são recursos metodológicos, empiricamente referidos, que informam sobre um aspecto da realidade ou sobre mudanças que estão se processando sobre a mesma, de forma que possamos observar ou mensurar o fenômeno estudado (VALARELLI, 2004). Segundo a OCDE (1993 *apud* SÁNCHEZ-FERNANDEZ, 2009) um indicador é um parâmetro que identifica e proporciona informação (“*um instrumento que indica algo*”) acerca de um processo, meio ambiente ou área, com um significado que se estende além do valor diretamente associado ao parâmetro. Em síntese, um indicador quantifica e simplifica um fenômeno, facilita o entendimento de realidades complexas e informa sobre mudanças em um sistema.

Os indicadores podem ser quantitativos ou qualitativos. Para Brancalion *et al.* (2012) indicadores quantitativos se valem da mensuração de determinados parâmetros descritores da área em processo de restauração, tais como a altura média dos indivíduos, a densidade de indivíduos regenerantes, a riqueza e diversidade de espécies, a mortalidade etc. Sánchez-Fernandez (2009) descreve indicadores quantitativos (ou objetivos) como mensuráveis, podendo ser medidos de forma direta ou indireta (*proxy*) enquanto indicadores qualitativos (ou subjetivos) fazem referência à informação baseada em percepções subjetivas da realidade tornando-se dificilmente quantificáveis. Para Brancalion *et al.* (2012), indicadores qualitativos são obtidos de forma não mensurável, com base na observação e julgamento do observador. Tais indicadores são utilizados normalmente de forma abstrata e subjetiva sem que haja um conjunto de dados para que determinado indicador seja incluído em cada categoria de qualidade. Por exemplo, ocorrência de processos erosivos pode ser categorizada como alta, média ou baixa intensidade a partir da observação visual.

No contexto da recuperação de áreas degradadas são empregados **indicadores ecológicos** como instrumentos de monitoramento da integridade ecológica e das características ambientais das áreas em restauração. Os **Indicadores ecológicos** (ou **Indicadores RAD**) são, portanto, elementos empregados para monitorar ecossistemas naturais ou para avaliar ecossistemas em restauração,

bem como sinalizar as mudanças nas condições do meio ambiente (DALE e BEYELER, 2001 *apud* DURIGAN, 2011).

Dale e Beyeler (2001) destacam a importância e utilidade dos *Indicadores RAD* na avaliação ambiental, monitorando tendências ao longo do tempo ou sinalizando precocemente mudanças ambientais, proporcionando ainda informações para diagnósticos de problemas ambientais. Para tanto, segundo alguns autores (VALLAURI *et al.*, 2005; DALE e BEYELER, 2009; DOREN *et al.*, 2009; DURIGAN, 2011) os indicadores ecológicos deveriam atender às seguintes características desejáveis:

- 1) Ser facilmente **mensurável**: conseguir expressar algo através de valores (quantitativos ou qualitativos), como por exemplo percentagem de áreas degradadas numa paisagem ou bacia hidrográfica;
- 2) Ser **sensível ao estresse** do sistema: ter uma resposta conhecida a distúrbios, estresses antropogênicos e mudanças ao longo do tempo, revelando os diferentes estágios de mudança em resposta à implantação do projeto de recuperação em uma escala aplicável a todo o sistema ou a parte significativa dele;
- 3) Ser **previsível**: indicar mudanças iminentes nas características principais do sistema ecológico, de forma que possam ser evitadas por ações de gestão;
- 4) Ser **integrativo**: reunir um conjunto de parâmetros de forma a fornecer uma medida de cobertura dos gradientes-chave nos sistemas ecológicos (por exemplo, através de gradientes de solos, tipos de vegetação, temperatura, espaço, tempo, etc);
- 5) Ser **confiável**: demonstrar de forma segura as características que estão sendo monitoradas (como as funções ecológicas, a estrutura e a composição florestal); bem como apresentar baixa variação na resposta e ser cientificamente defensável.

Dale e Beyler (2001) consideram ainda que, um grande desafio ao desenvolvimento e a utilização de indicadores ecológicos consiste em determinar quais das inúmeras medidas que caracterizam todo o sistema ainda conseguem ser o suficientemente simples para serem eficientemente monitoradas e modeladas. Os indicadores ecológicos devem quantificar a dimensão do grau de exposição ao estresse ou o grau de resposta à exposição ambiental, e destinam-se a fornecer um método simples e eficaz para analisar a composição ecológica, a estrutura e a função dos sistemas ecológicos complexos.

A despeito da diversidade de requisitos, há consenso na literatura em que o ponto de partida para a adoção de indicadores RAD nas etapas de monitoramento e avaliação, recaia na definição prévia dos objetivos a serem assumidos pelo projeto de recuperação. Dessa forma, os objetivos orientarão a escolha dos indicadores, que por sua vez vão refletir se os condicionantes para a restauração da área estão, ou não, sendo cumpridos (DALE, BEYELER, 2001; SER, 2004; BRANCALION *et al.*, 2012).

Nesse aspecto, diversos autores concordam em que não há modelos de avaliação e monitoramento universais que se apliquem a uma ampla gama de ecossistemas ou mesmo formações florestais (BELLOTTO *et al.*, 2009; DOREN *et al.*, 2009; EHRENFELD, 2009; RODRIGUES, GANDOLFI, 2009; BRANCALION *et al.*, 2012). Cabe salientar que diferentes Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas apresentarão diferentes objetivos em razão da ampla quantidade de variáveis oriundas da polissemia de conceitos definidores e também das diferentes diretrizes técnicas, organizacionais e normativas existentes. Assim, invariavelmente, a produção de indicadores acompanhará por igual as diferentes concepções e diretrizes técnicas de recuperação de áreas degradadas adotadas.

Nesse sentido, a linha de pesquisa que se ocupa da recuperação de áreas degradadas a partir do **enfoque da recuperação dos solos**, considera que o monitoramento da qualidade do solo como substrato assume grande importância nos programas de recuperação, tendo em vista a necessidade de verificação da eficiência das intervenções propostas em propiciar a melhoria das funções produtivas e ambientais dos solos (CHAER, 2008). Tais estudos primam por

realizar avaliações conduzidas por conjuntos de indicadores que enfocam as características físicas, químicas ou biológicas do solo. Assim, a escolha de um método adequado para a análise dos dados resultantes da análise dos indicadores resulta fundamental para identificar as mudanças qualitativas no solo, resultantes dos processos de intervenção.

Por outro lado, os estudos que enfocam a recuperação de áreas degradadas pelo **contexto da restauração ecológica** apresentam objetivos bem distintos. Ehrenfeld (2009) mostra que, nessa linha, os três principais temas usados no desenvolvimento de metas são: (a) Restauração de espécies, (b) Restauração de ecossistemas, e (c) Restauração de serviços ecossistêmicos. Para tanto, a especificação de metas para projetos de restauração é frequentemente descrita como o componente mais importante de um projeto porque cria expectativas, orienta planos detalhados de ação e determina o tipo e a extensão do monitoramento pós-projeto. Embora o conjunto de metas para a restauração possa tomar muitas formas, não há clareza se há uma maneira ótima de especificá-las, e ainda que houvesse, persistiria a incerteza sobre a forma que este conjunto deveria tomar.

Ruiz-Jaen e Aide (2005) também destacam que a maioria das pesquisas realizadas, sob o enfoque da restauração ecológica, apresentam ao menos três atributos ou objetivos comuns às áreas em restauração: 1) Diversidade, medida pela riqueza e abundância de organismos; 2) Estrutura vegetacional, expressa pela diversidade de estrutura vegetais (ervas, arbustos e árvores), densidade de plantas, e biomassa, etc. que são úteis para prever a sucessão vegetal; e 3) Processos ecológicos, como ciclagem de nutrientes, interações biológicas, etc.

Percebe-se portanto, que as tarefas de *monitoramento* e *avaliação* apresentam-se diretamente vinculadas à capacidade de seus respectivos indicadores em representar a realidade das áreas em recuperação. Entretanto o desenvolvimento de indicadores não é uma tarefa trivial dada a profusão de requisitos, objetivos e metas que os variados projetos de recuperação apresentam. Neste sentido, apresenta-se uma demanda de ferramental teórico que fundamente o processo de

análise dos requisitos, organizando os indicadores em torno de critérios mais claros e definidos.

2.3.3. Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores RAD

A seleção de **indicadores ecológicos** constitui uma etapa fundamental do processo de avaliação e monitoramento da recuperação de áreas degradadas. Diante da diversidade de indicadores e de critérios existentes, Sánchez-Fernandez (2009) argumenta que o equilíbrio no número de indicadores selecionados é um aspecto que merece especial atenção para assim representar adequadamente os principais aspectos do sistema aferido. Ademais, a análise conjunta de uma extensa lista de indicadores simples, apresenta um certo grau de dificuldade que não deve ser subestimado. Portanto, sem o emprego de um **marco metodológico** que oriente e guie todo o processo de análise da recuperação de áreas degradadas através de indicadores, qualquer seleção de indicadores derivaria em um processo de análise *ad hoc*, incompleto, baseado exclusivamente na experiência ou no interesse de pesquisa dos autores, podendo assim resultar denso em algumas áreas do conhecimento e difuso ou simplesmente ignorante em outras (SÁNCHEZ-FERNANDEZ, 2009). Assim, aumentar-se-ia o risco de tomar decisões erradas, uma vez que não se disporia de histórico que respaldasse a racionalidade por trás da decisão de recuperar as áreas degradadas.

Para organizar o processo de compilação dos indicadores, Sanchez e Matos (2012) sugerem o emprego de **marcos metodológicos** como forma de fundamentar o processo de análise, incluindo as etapas de seleção, desenho e interpretação de indicadores, bem como a organização dos dados e a comunicação dos resultados finais. Neste sentido, os *marcos metodológicos* constituem-se em desenvolvimentos teóricos que propõem estruturas flexíveis que permitem sustentar todo o processo de análise da recuperação mediante indicadores e apresentam uma dupla contribuição. Por um lado constituem a base lógica que permite guiar todo o processo de análise da recuperação e por outro, propiciam a geração de resultados que permitem orientar o desenvolvimento de projetos e programas de recuperação (SÁNCHEZ-FERNANDEZ, 2009).

A adoção de um marco metodológico parte de um determinado tipo de modelo conceitual que procura analisar a realidade observada. Como define Kammerbauer (2001, *apud* SANCHEZ e MATOS, 2012), em função do modelo conceitual de partida, os marcos metodológicos de avaliação mediante indicadores podem ser classificados em três tipos:

- a) **Marcos analíticos:** marcos baseados em modelos causais, ou seja, em um processo analítico que procura identificar as relações de causa e efeito do sistema analisado. Assim, o paradigma que deve reger esta interação é o uso racional dos recursos naturais. A análise no contexto desses marcos analíticos consiste na aplicação de um modelo de estímulo-estado-resposta, ou seja, um modelo causal. Sob este enfoque, desenha-se um menu de cadeias de causa-efeito-resposta do sistema, a partir das quais originam-se os indicadores. Estes indicadores permitem um seguimento e avaliação do processo, ou seja, capturam as mudanças das estruturas e das funções dos ecossistemas. Entretanto, estes marcos apresentam algumas limitações como por exemplo: a impossibilidade de estabelecer os valores limites dos indicadores mediante critérios científico-ecológicos, a existência de fatores exógenos físicos e biológicos inesperados, de difícil previsão, e que exerçam influência sobre o sistema, ou a identificação das complexas relações ecológicas entre as espécies (Kammerbauer, 2001; Mangel *et al.*, 1993 *apud* Sánchez-Fernandez, 2009).
- b) **Marcos sistêmicos:** marcos baseados em modelos sistêmicos que propiciam uma interpretação sistêmica do ecossistema ou do sistema considerado. Neste enfoque, o sistema econômico-social é interpretado como parte integrante do ecossistema, pelo que as regras ecológicas determinam as regras econômicas e sociais. O pressuposto de base é que a complexidade ambiental não permite que o ser humano entenda o funcionamento dos ecossistemas em sua totalidade. Reconhece-se a existência de insuficiente conhecimento científico sobre estes sistemas abertos, cujos processos de evolução, por serem incertos, dinâmicos e em parte irreversíveis, encontram-se fora do alcance da compreensão humana.

Esta ignorância e incerteza levam à priorização das “regras de dedo” (O’CONNOR, 1994 *apud* SÁNCHEZ-FERNANDEZ, 2009). Diferentemente dos marcos analíticos que empregam modelos causais, os marcos sistêmicos empregam modelos de relações sistêmicas, ou seja, ao invés de realizarem medições exatas, buscam identificar os princípios gerais (ou atributos de caráter fundamental) dos ecossistemas e os respectivos impactos humanos mediante mapas sistêmicos (Conway, 1994 *apud* Sánchez-Fernandez, 2009).

- c) **Marcos normativos:** marcos baseados em modelos hierárquicos, aonde os objetivos para alcançar um conteúdo disciplinar específico apresentam-se listados de forma hierárquica. Sob este enfoque, a análise requer uma abordagem multidimensional, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais. A opção de analisar a recuperação ambiental em dimensões consiste em uma aproximação normativa que permite definir objetivos ou metas de recuperação para ecossistemas ou unidades produtivas degradadas. Os marcos normativos seguem os passos de um planejamento voltado para objetivos, nos quais estes aparecem frequentemente listados de forma hierárquica (modelos hierárquicos). As estratégias de mudanças propostas por estes marcos costumam ser plasmadas sob a forma de recomendações políticas para o manejo e distribuição dos recursos. Os indicadores são derivados tanto das relações causa-efeito (típicas dos marcos analíticos) como do estabelecimento de princípios gerais de recuperação (identificados a partir de análise sistêmica). Os marcos metodológicos do tipo normativo vêm sendo os mais empregados na literatura de indicadores RAD.

Como exemplos de marcos metodológicos desenvolvidos sob o enfoque normativo para a análise da recuperação de áreas degradadas mediante indicadores ecológicos, destacam-se: a Proposta SER (SER, 2004), a Proposta de Melo *et al.* (2010), a Proposta de Durigan (2011), a Proposta de Brancalion *et al.* (2012), e o Marco PC&I proposto por de Lammerts van Bueren e Blom (1997) a partir do qual se originou o Marco CIFOR (CIFOR,

1999) empregado no manejo florestal sustentável.

A seguir, apresentam-se de forma mais detalhada, os principais marcos ordenadores de avaliação e monitoramento da recuperação de áreas degradadas através de indicadores RAD, oriundos de trabalhos que desenvolveram, ou que permitem o desenvolvimento de tais indicadores, a partir de atributos e diretrizes de manejo florestal ou de recuperação de ecossistemas degradados, mediante o enfoque normativo.

2.3.3.1. Proposta SER

Criada pela Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica – SER (*Society for Ecological Restoration International*) a Proposta SER (SER, 2004), doravante designada por **Marco SER**, desenvolveu conceitos, definições e terminologias em *restauração ecológica* oriundas da reunião de diversas técnicas e conhecimentos acerca do tema. O Marco SER define 9 **atributos de ecossistemas restaurados**, conforme descrição a seguir:

- 1) O ecossistema restaurado contém um conjunto característico de espécies que ocorrem no ecossistema de referência, fornecendo uma estrutura apropriada de comunidade;
- 2) O ecossistema restaurado consiste de espécies indígenas até o máximo grau possível. Nos ecossistemas culturais restaurados, permite-se a ocorrência de espécies exóticas domesticadas e de espécies ruderais não invasoras, além das arvenses, que presumidamente coevoluíram com elas. As espécies ruderais são representadas por plantas que colonizam sítios perturbados, enquanto as arvenses crescem entre plantas de cultivo;
- 3) Todos os grupos funcionais necessários para o desenvolvimento contínuo e/ou estabilidade do ecossistema restaurado encontram-se representados

- ou, caso não estejam presentes, os grupos ausentes possuem potencial para colonizar o ambiente por meios naturais;
- 4) O ambiente físico do ecossistema restaurado possui a capacidade de suportar as populações reprodutivas das espécies necessárias para sua estabilidade contínua ou desenvolvimento ao longo da trajetória desejada;
 - 5) O ecossistema restaurado aparentemente funciona de modo normal, de acordo com seu estado ecológico de desenvolvimento, não existindo sinais de disfunção;
 - 6) O ecossistema restaurado foi integrado adequadamente com a matriz ecológica ou a paisagem, com a qual interage através de fluxos e intercâmbios abióticos e bióticos;
 - 7) As ameaças potenciais à saúde e à integridade do ecossistema restaurado foram eliminadas ou reduzidas ao máximo possível;
 - 8) O ecossistema restaurado é suficientemente resiliente para suportar os eventos periódicos normais de estresse que ocorrem no ambiente local e que servem para manter a integridade do ecossistema;
 - 9) O ecossistema restaurado é auto-sustentável, ao mesmo grau que seu ecossistema de referência, e possui o potencial para persistir indefinidamente sob as condições ambientais existentes.

Embora não especifique indicadores RAD, o Marco SER apresenta diretrizes para o monitoramento e a avaliação. Para tanto, o trabalho orienta que um projeto de restauração deve ser planejado a atingir **objetivos** estabelecidos que se reflitam em **metas** mensuráveis. O sucesso pode ser mensurado pelo alcance destas metas, que podem ser avaliadas em termos de padrões de desempenho, também conhecidos como '*critérios do projeto*' ou '*critérios de êxito*'.

Entretanto, o Marco SER reconhece que estabelecer o sucesso de um projeto de restauração não é tão simples, uma vez que atestar que os objetivos e metas estabelecidos previamente tenham sido alcançados depende do desempenho de

uma ampla variedade de aspectos e indicadores ambientais.

Dessa forma, o Marco SER descreve três estratégias para avaliar um projeto de restauração:

- a) **Comparação direta:** é realizada medindo-se parâmetros selecionados na área de referência e nos locais de restauração. É necessário uma descrição minuciosa dos parâmetros em comparação, que incluem aspectos bióticos e abióticos. Há ainda a questão a definir quantos parâmetros devem apresentar valores similares à área de referência para que sejam satisfeitos os objetivos da restauração e assim considerar o processo concluído.
- b) **Análise de atributos:** Nesta estratégia são avaliados os 9 atributos descritos anteriormente, embora sem descrever os indicadores deles derivados. Esta técnica reconhece ainda, que os dados quantitativos do monitoramento programado e de outros inventários serão mais viáveis para avaliar o alcance dos objetivos do projeto;
- c) **Análise da trajetória:** trata-se de uma técnica ainda em fase de desenvolvimento voltada a interpretar grandes conjuntos comparativos. Nessa estratégia, os dados coletados periodicamente das áreas em recuperação, estabelecem tendências. Espera-se que as tendências traçadas conduzam às condições de referência confirmando que a restauração está seguindo a trajetória desejada.

2.3.3.2. Proposta de Melo et al. (2010)

O *Guia para Monitoramento de Reflorestamentos para Restauração* elaborado por Melo et al. (2010) produziu uma Matriz de Avaliação para projetos de restauração de matas ciliares com detalhada descrição de indicadores RAD. O trabalho serviu ainda de base para a minuta de Resolução INEA que estabelece parâmetros e procedimentos para vistoria e monitoramento de projetos de reflorestamentos heterogêneos com espécies nativas, supervisionada pelo órgão ambiental, que

estejam vinculados a processos de licenciamento ambiental, infrações ambientais, adequação ambiental de propriedade rurais ou aprisionamento de carbono.

Os autores propõem sete indicadores RAD, agrupados em três grupos, conforme as etapas da recomposição vegetal à que se relacionam:

- a) **Preparo:** envolvendo as tarefas de preparo da área para plantio, inclui os indicadores “Cercamento” e “Proteção de Perturbações”;
- b) **Manutenção:** engloba as tarefas de manutenção do plantio sobre a área a ser recuperada. Inclui os indicadores “Mortalidade de mudas”, “Ataque de formigas”, “Matocompetição na coroa das mudas” e “Matocompetição na entrelinha”;
- c) **Estrutura:** engloba o aspecto da estrutura da comunidade vegetal formada a partir do plantio. Inclui o indicador “Cobertura de copas (%)”.

Em razão da especificidade da Proposta de Melo *et al.* (2010), voltada exclusivamente à recomposição vegetal, cabe destacar algumas considerações:

- a) Os indicadores analisados limitam-se a monitorar e avaliar, direta ou indiretamente, o grau de desenvolvimento e a possibilidade de sucesso no plantio de mudas em projetos de restauração. Para tanto, os indicadores desenvolvidos são levantados em campo de acordo com o grau de desenvolvimento do plantio, tendo a periodicidade de medição especificada;
- b) Não há quaisquer considerações sobre o monitoramento da estrutura física da área em recuperação, tais como a avaliação das condições de solo ou da hidrografia;
- c) Os indicadores propostos foram desenvolvidos para auxiliar a avaliação de PRADS que empreguem a técnica de plantio em área total, não podendo assim ser recomendados para projetos que apliquem outras técnicas de restauração diferentes (como adensamento, enriquecimento, nucleação, etc);
- d) A aplicação desses indicadores é recomendada para formações florestais

específicas da Mata Atlântica, compreendendo as Florestas Ombrófilas (Densa e Mista) e Estacionais (Semidecidual e Decidual), não podendo assim ser replicada em outros biomas.

2.3.3.3. Proposta de Durigan (2011)

A proposta desenvolvida por Durigan (2011) pretende responder à questão sobre como e o que pode ser avaliado em projetos de restauração ecológica ou de recuperação de áreas degradadas. Foi desenvolvida durante *workshop* sobre o monitoramento em áreas de restauração, coordenado pela Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, reunindo cerca de 70 especialistas que procuraram responder às seguintes questões-chave:

- 1) Quais indicadores devem ser utilizados para monitorar áreas em restauração?
- 2) Quais são os indicadores mais pertinentes para um monitoramento simples e objetivo?
- 3) O protocolo permite a um técnico da Secretaria do Meio Ambiente realizar vistorias eficientes e eficazes?
- 4) Em quais situações a técnica de restauração é eficaz, apresenta ressalvas ou é ineficaz?

Os resultados dos debates foram consolidados em uma matriz de indicadores contendo: a categoria de análise (incluindo a estrutura, a função ecológica ou socioeconômica), o indicador, o período para sua aferição e as categorias de conformidade. Neste sentido, considerando as categorias de análise, os itens monitorados devem levar em conta as transformações temporais considerando a composição, estrutura ou funcionamento do ecossistema conforme demonstrado abaixo:

- a) **Composição:** refere-se à composição da vegetação após o plantio. Inclui os indicadores: “Número e proporção entre espécies vegetais nativas”; “Presença e abundância de espécies invasoras”; “Presença e proporção de grupos funcionais (síndromes de dispersão, classes sucessionais, tolerância à sombra, etc.)”;
- b) **Estrutura:** reflete a estrutura da formação vegetal. Inclui os indicadores: “Cobertura”; “Biomassa”; “Densidade”; “Estratificação (distribuição vertical das plantas)”;
- c) **Funcionamento:** diz respeito ao funcionamento do ecossistema e seus serviços. Inclui indicadores: “Taxa de fixação de carbono”; “Taxa de recrutamento e mortalidade”; “Taxa de imigração e extinção”; “Capacidade de infiltração da água no solo”.

Além dos aspectos de avaliação de um ecossistema, o trabalho desenvolveu protocolos de monitoramento de áreas em restauração para diferentes Modelos de Recuperação:

- i) Sistemas de Nucleação;
- ii) Plantio Total;
- iii) Sistemas Agroflorestais;
- iv) Indicadores Universais.

O protocolo destaca ainda uma questão importante ao definir parâmetros de encerramento de projetos de restauração. Caso as metas de restauração da fisionomia vegetal e dos processos ecológicos tenham sido alcançadas, é possível emitir documento de encerramento do projeto três anos após sua implantação permitindo finalizar antecipadamente o cumprimento de obrigações assumidas com o projeto. Entretanto, o protocolo ressalta ainda a necessidade de reavaliação e adoção de recomendações de correção, podendo até ser reformulado, caso o projeto não esteja adequado.

2.3.3.4. Proposta de Brancalion *et al.* (2012)

Desenvolvida por Brancalion *et al.* (2012), a proposta apresenta conceitos, definições e atributos da restauração para desenvolver indicadores e protocolos de monitoramento e avaliação. O protocolo apresenta um *Método de Avaliação Rápida de Áreas Restauradas por Plantio de Mudas em Área Total*, tomando por base o método desenvolvido pelo Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (Lerf) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). O Método elenca 10 indicadores com seus respectivos critérios e pontuação, reunidos em duas categorias, conforme apresentado a seguir:

- a) **Diversidade e florística:** esta categoria engloba os indicadores: “Riqueza de espécies”; “Diversidade média (H')¹⁰”; “Presença de espécies exóticas invasoras”; “Presença de espécies exóticas não invasoras”; “Presença de espécies ameaçadas de extinção”;
- b) **Estrutura:** esta categoria engloba os indicadores “Mortalidade das mudas plantadas”; “Altura média das mudas plantadas”; “Cobertura de copa”; “Cobertura de gramíneas”; “Distribuição orientada dos grupos de plantio”.

Além das categorias apresentadas, foi desenvolvido um critério de pontuação para os indicadores. Assim, cada indicador tem seu grau de importância atribuído a partir dos seguintes critérios: (a) Indicadores com alto grau de importância

¹⁰ **H'** representa o índice de diversidade de Shannon, calculado pela expressão:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \cdot \ln \frac{n_i}{N}$$

onde **S** é o número total de espécies nativas regionais amostradas; **N**, o número total de indivíduos amostrados; **n_i**, número de indivíduos amostrados para a i-ésima espécie; e **ln**, logaritmo neperiano (BRANCALION *et al.*, 2012).

podem comprometer todo o plantio da área restaurada a curto prazo e são de difícil correção; (b) Indicadores com médio grau de importância podem comprometer o plantio da área restaurada a médio prazo e podem ser corrigidos; (c) Indicadores de baixo grau de importância não comprometem o plantio, mas são indicadores positivos e por isso devem ser valorizados. Os indicadores propostos pelos autores, acompanhados de seus respectivos pesos, encontram-se recopilados na **Tabela 6** a seguir:

Tabela 6. Grau de importância dos parâmetros avaliados

Grau de Importância	Indicador	Peso
Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Riqueza de espécies; • Diversidade (H'); • Cobertura de Copa; • Mortalidade de Mudas plantadas; • Presença de espécies exóticas invasoras; • Distribuição ordenada das mudas no campo. 	3
Médio	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de espécies exóticas invasoras; • Altura das mudas plantadas. 	2
Baixo	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de espécies incluídas em algum nível de ameaça de extinção. 	1

Fonte: Adaptado de Brancalion *et al.* (2012).

Considerando o desempenho dos aspectos monitorados em campo, os indicadores alcançam pontuações conforme critérios estabelecidos na **Tabela 7** a seguir:

Tabela 7. Critério de pontuação para indicadores de restauração

Indicador	Critério	Pontuação
Riqueza de espécies arbustivas e arbóreas	< 30 sp	0
	De 30 a 59 sp	1
	De 60 a 79 sp	2

	> 80 sp	3
Diversidade (H')	Abaixo de 1,0	0
	Entre 1,1 e 2,0	1
	Entre 2,1 e 3,0	2
	> 3,0	3
Presença de espécies arbustivas e arbóreas exóticas invasoras	Presença	0
	Ausência	3
Presença de espécies arbustivas e arbóreas exóticas	Presença	0
	Ausência	3
Presença de espécies arbustivas e arbóreas ameaçadas de extinção	Presença	0
	Ausência	3
Altura media das mudas plantadas	< 0,5 m	0
	Entre 0,6 e 1,0 m	1
	Entre 1,1 e 1,5 m	2
	> 1,5 m	3
Mortalidade após replantio	> 10%	0
	Entre 5,1 e 10%	1
	Entre 3,1 e 5,0 %	2
	< 3%	3
Cobertura de copa	< 20%	0
	Entre 20 e 50%	1
	Entre 50 e 80%	2
	> 80%	3
Cobertura de gramíneas invasoras	> 30%	0
	Entre 20 e 30 %	1
	Entre 10 e 19%	2
	< 10%	3
Distribuição ordenada das mudas no campo a partir de grupos de plantio (ex: preenchimento e diversidade)	Houve	3
	Não houve	0

Fonte: Adaptado de Brancalion *et al.* (2012).

A pontuação alcançada por cada indicador é ponderada com seus respectivos pesos. O cruzamento dessas informações fornecerá uma *Nota Final* de cada indicador. O somatório das notas ponderadas desses indicadores pontuará a *Área em Recuperação*. As notas poderão servir como critério de ranqueamento ou classificação entre diferentes áreas ou amostras. O critério de pontuação é um parâmetro objetivo e mensurável que auxiliará na certificação da conclusão de um projeto de recuperação de áreas degradadas.

Além disso, foram definidos critérios de amostragem, destacando 3 etapas do desenvolvimento vegetal:

- a) Fase de Implantação, de 1 a 12 meses. Nos três primeiros meses pós-plantio, as avaliações devem ser realizadas mensalmente, por se tratar de uma fase crítica, enquanto na fase seguinte as avaliações podem ser mais espaçadas a cada três meses;
- b) Fase pós-implantação, de 1 a 3 anos. Nessa fase, em que o plantio encontra-se no estágio médio de desenvolvimento, as avaliações devem ser semestrais;
- c) Fase de vegetação formada, a partir de 4 anos. Nessa fase priorizam-se indicadores que apontem o sucesso ou não da restauração e que sustentem uma tomada de decisão sobre o abandono definitivo das áreas restauradas ou a recomendação de ações adicionais.

2.3.3.5. Marco PC&I

Desenvolvido para a *Tropenbos International* (TBI)¹¹ por Lammerts van Bueren e Blom (1997), o Marco PC&I foi criado para orientar a formulação de Princípios, Critérios e Indicadores (PC&I) para o manejo florestal sustentável. O trabalho tem por mérito apresentar um conceito hierárquico que auxilia no desenvolvimento de indicadores de monitoramento, de avaliação e na geração de relatórios sobre Manejo Florestal Sustentável (MFS). A estrutura hierárquica descreve a função de cada nível, bem como ajuda a decompor, em cada nível, o objetivo do projeto em parâmetros que podem ser gerenciados ou avaliados. No primeiro nível, os

¹¹ A *Tropenbos International* (TBI) é uma organização não governamental holandesa que apoia a conservação de florestas tropicais e o desenvolvimento sustentável. Seu objetivo é promover o conhecimento usando-o de forma eficaz na formulação de políticas e na gestão das florestas para a conservação e o desenvolvimento sustentável.

princípios, dividem *objetivos* e *metas* em componentes mais específicos. A seguir, no segundo nível, os **critérios** traduzem os *princípios* em *estados* ou *dinâmica do ecossistema* e do *sistema social*. No terceiro nível, os **indicadores**, adicionam elementos mensuráveis aos *critérios*. Finalmente, no quarto e último nível, os **verificadores** constituem os elementos necessários para esclarecer a fonte de informação para o valor ligado a um indicador.

Segundo Lammerts van Bueren e Blom (1997), a importância da adoção de uma estrutura hierárquica para o monitoramento e a avaliação pode ser explicada por:

- Aumenta a chance de uma cobertura completa de todos os aspectos importantes a serem monitorados ou avaliados;
- Evita redundância, que limita o conjunto de PC&I a um mínimo sem a existência de parâmetros supérfluos;
- Resulta em uma relação transparente entre o parâmetro que é medido e o cumprimento do princípio referente a ele.

A implementação do Marco PC&I, segundo os autores, obedece ainda a alguns parâmetros:

- a) **Entrada:** um objeto, capacidade ou intenção passível de ser tomado, assimilado ou operado por um processo humano (como plano de manejo);
- b) **Processo:** o processo de manejo ou um componente do processo de manejo ou outra ação humana, atividade e não resultado de atividade (planejamento, processo, campo de operação);
- c) **Resultado:** (*performance/output*) o resultado real ou desejado de um processo de manejo que descreve o estado ou capacidade do ecossistema, o estado de um componente físico ou estado de um sistema social ou seu componente.

Além disso, o Marco PC&I prescreve uma consistência horizontal e vertical entre seus componentes, designados por *parâmetros*. Neste sentido, um parâmetro será **horizontalmente consistente** se os parâmetros do mesmo nível hierárquico

não tiverem nenhuma sobreposição explícita ou implícita, ao mesmo tempo em que todos os aspectos estiverem cobertos. Por outro lado, a **consistência vertical** refere-se à relação entre parâmetros que aparecem em níveis adjacentes. Assim, um padrão será verticalmente consistente se todos os parâmetros abaixo estiverem corretamente enquadrados em seu nível hierárquico, expressos em termos precisos e ligados a parâmetros apropriados ao nível mais alto. O requisito para ligar um indicador a um critério específico é particularmente relevante para indicadores formulados como parâmetros de resultados, e em menor grau para indicadores formulados como parâmetros de processos e entradas.

Dessa forma, o Marco PC&I permite formular diretrizes que traduzem *critérios* e *indicadores* em orientações práticas de ações para atender às exigências dos mesmos. Assim, as diretrizes podem ser formuladas em termos de prescrições que mostram como os requisitos devem ser cumpridos.

Portanto, a partir do ferramental metodológico proporcionado pelos cinco **Marcos Ordenadores** supradescritos, caso suas propostas de indicadores de monitoramento e avaliação RAD possam ser comparadas em uma base conceitual comum, isto permitiria viabilizar grande parte do desafio de produzir indicadores que permitam mensurar o grau de conclusão de projetos de recuperação de áreas degradadas.

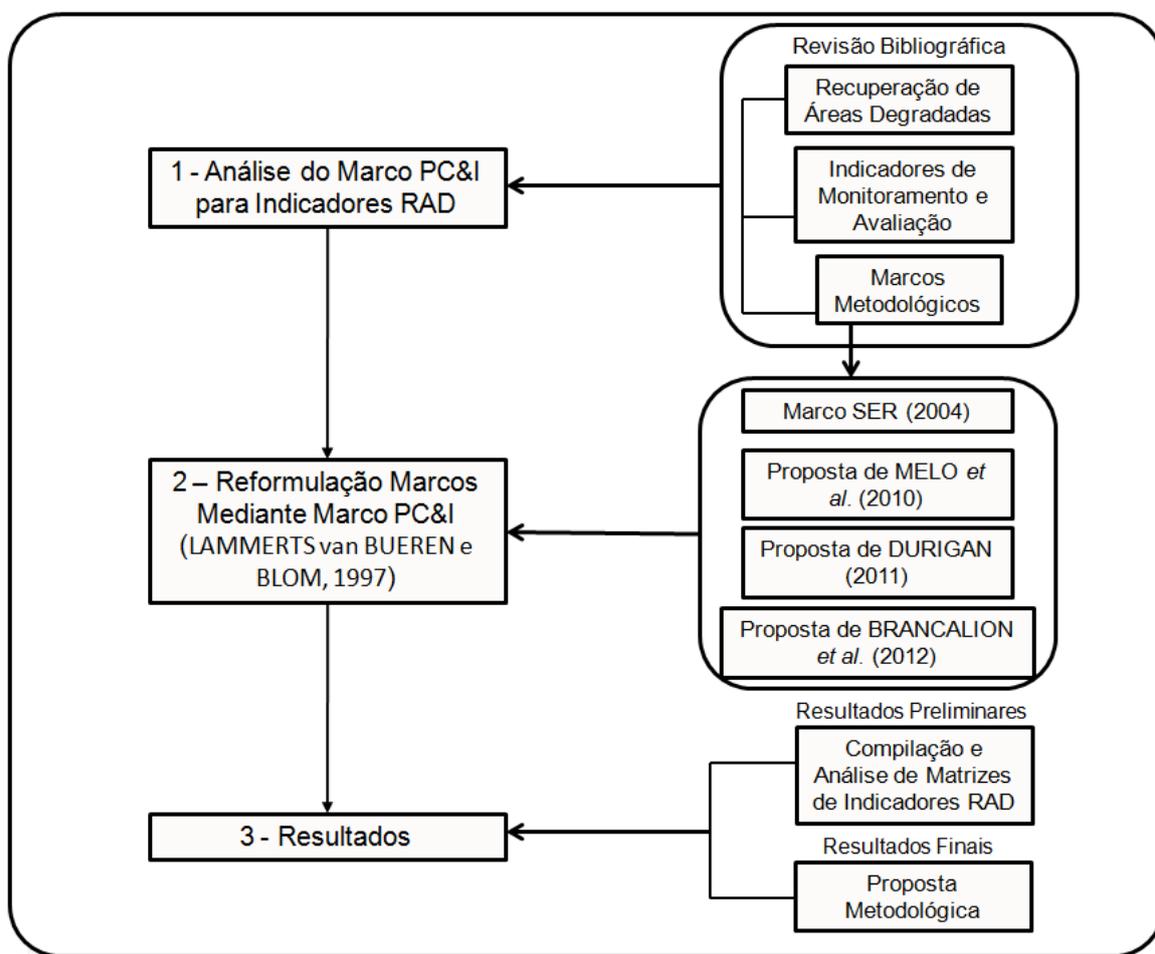
3. Metodologia

O presente trabalho pretende apresentar uma '**Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD**'. Com este propósito, este capítulo apresenta-se organizado em duas seções. Na primeira seção, encontra-se o **Esquema Metodológico** empregado para o desenvolvimento da citada proposta, com a descrição detalhada de cada uma de suas três etapas. A seguir, na segunda seção, procede-se à sistematização de Indicadores RAD mediante o emprego de marco ordenador com enfoque hierárquico (o Marco PC&I), que permite adotar uma base comum de comparação de parâmetros entre os demais quatro marcos ordenadores analisados.

3.1. Esquema Metodológico

O *esquema metodológico* empregado para o desenvolvimento da presente 'Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD' encontra-se representado na *Figura 2* a seguir.

Figura 2. Emprego do Marco Metodológico PC&I para a Sistematização de Indicadores RAD



Fonte: Elaboração Própria (2014).

O desenvolvimento do **esquema metodológico** realizou-se a partir de três etapas:

- Etapa 1. Análise do Marco PC&I para Indicadores RAD;
- Etapa 2. Reformulação de Marcos Mediante Marco PC&I;
- Etapa 3. Resultados (Preliminares e Finais);

Na **Etapa 1 (Análise do Marco PC&I para Indicadores RAD)** realizou-se uma extensa revisão bibliográfica acerca de três eixos temáticos:

- (a) **Recuperação de Áreas Degradadas.** Abordou-se os múltiplos conceitos envolvidos, a importância do tema e os referenciais jurídicos e técnicos que orientam a condução de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs);
- (b) **Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas.** Aprofundamento acerca dos indicadores RAD, considerados elementos fundamentais nos processos de monitoramento e avaliação de PRADs;
- (c) **Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas.** Procedeu-se a uma sistematização da literatura seguida de análise exploratória e correlacional de Marcos Metodológicos, desenvolvidos para orientar a elaboração e organização de indicadores ecológicos, adaptando seus conceitos e diretrizes à seleção e compilação de Indicadores RAD.

Todo o levantamento bibliográfico pautou-se em fontes confiáveis (revistas indexadas e obras de referência), e os autores foram selecionados pelos critérios de relevância e referência (obras e pesquisa sobre o tema).

Procurou-se ainda, aprofundar a atualização sobre o tema através da participação em Fóruns Técnicos, como o *IX Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*, que contribuiu para despertar o desafio de produzir protocolos e

instrumentos que permitam aferir a conclusão de projetos de recuperação de áreas degradadas, conferindo maior objetividade e segurança às avaliações dos projetos por técnicos responsáveis.

A seguir, na **Etapa 2 (Reformulação de Marcos Mediante Marco PC&I)** procedeu-se a reformulação as propostas de quatro marcos ordenadores através da estrutura hierárquica do quinto e último marco analisado. Ou seja, aplicou-se a estrutura conceitual do Marco PC&I a cada um dos seguintes marcos: (a) Proposta SER; (b) Proposta de Mello *et al.* (2010); (c) Proposta Durigan (2011); e (d) Proposta de Brancalion *et al.* (2012). Cabe destacar que todas as quatro propostas analisadas foram selecionadas tomando por base: (a) a abrangência de avaliação e monitoramento proporcionada pelos indicadores desenvolvidos; (b) a clareza da metodologia produzida; e (c) a relevância dos autores no tema Recuperação de Áreas Degradadas (expressos em citações, obras publicadas, e referências em trabalhos correlatos).

Finalmente, na terceira e última etapa (**Etapa 3 - Resultados Preliminares e Finais**) foram gerados os *resultados preliminares* e os *resultados finais* do presente trabalho. Como *resultados preliminares* obtiveram-se quatro **Matrizes de Indicadores RAD**, desenvolvidas a partir da compilação e homogeneização, à luz da terminologia do Marco PC&I, das matrizes de indicadores RAD das quatro propostas analisadas na **Etapa 2**. A seguir, a partir da sintetização dessas matrizes, obteve-se como *resultado final*, uma única Matriz de Indicadores RAD. Além dessa Matriz de Indicadores, foram produzidas outras 2 Matrizes: uma atribuindo diferentes pesos aos Indicadores RAD e outra Matriz com as Notas alcançadas pelo desempenho dos Indicadores monitorados, ponderadas pelos seus respectivos pesos. Estas duas Matrizes foram adaptadas de Brancalion *et al.* (2012). O conjunto das três matrizes constitui a '**Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD**' do presente trabalho.

3.2. A sistematização de Indicadores RAD mediante o Marco PC&I

A respeito de *marcos normativos* para a sistematização de indicadores, destaca-se como referência o estudo pioneiro do **Marco PC&I** proposto por Lammerts van Bueren e Blom (1997), no desenvolvimento de *Princípios, Critérios e Indicadores* (PC&I) para o manejo sustentável das florestas. O Marco PC&I é reconhecido pela capacidade de embasar o monitoramento de relatórios de Manejo Florestal Sustentável (MFS), servindo como referência na avaliação da qualidade do manejo florestal. A estrutura de análise hierárquica, inerente ao Marco PC&I, apresenta-se voltada para o alcance de objetivos, permitindo assim analisar e agregar, facilmente e em base comum, os indicadores dele derivados. Essa fácil operabilidade do Marco PC&I na sistematização de indicadores, permite replicar o citado modelo de análise hierárquica para outros contextos, como é o caso da análise da Recuperação de Áreas Degradadas através de Indicadores RAD.

De acordo com Lammerts van Bueren e Blom (1997), a **Estrutura Hierárquica PC&I** está composta pelos seguintes atributos:

Princípio. Localizado no nível superior da hierarquia PC&I, um *Princípio* é uma lei fundamental ou regra, que serve como base para o raciocínio e a ação. Em conjunto, os *princípios* constituem os elementos explícitos de um objetivo maior (por exemplo: o manejo florestal sustentável ou florestas bem manejadas). Assim, cada *princípio* deve se referir a uma função do ecossistema da floresta ou a um aspecto relevante do sistema social, que interage com o ecossistema. Os *princípios* devem ter o caráter de um *objetivo* ou uma *atitude*, expressando ideias ou propostas assumidas por instituições ou pela sociedade na realização de políticas ou projetos. Portanto, devem ser formulados de tal forma que o *objetivo* ou a *atitude social* em relação à função do ecossistema analisado sejam claros e socialmente aceitos. Ademais, podem ser descritos em diferentes níveis de abstração, o que significa que os *princípios* diferem na medida em que se tratam os problemas concretos. Um *princípio* pode também referir-se a uma combinação de aspectos, tais como as funções ambientais, ou podem se concentrar em apenas um aspecto, como o sequestro de CO₂. Quanto mais explícita e específica for a formulação de um *princípio*, menor será a discussão para sua interpretação.

Critério. É um estado ou aspecto da dinâmica do ecossistema florestal, ou um estado do sistema social que interage, que deve ser posto em prática como resultado da adesão a um princípio. A forma como os *critérios* são formulados deve dar origem a um veredicto sobre o grau de seu cumprimento em uma situação real. Os *critérios* são os parâmetros que aparecem no segundo nível da hierarquia, logo abaixo do nível dos princípios. A função dos *critérios* é mostrar o cumprimento de um princípio, traduzido em descrições de estados ou resultantes da dinâmica do ecossistema florestal. Estas descrições vão mostrar os resultados práticos do cumprimento de cada princípio, que são mais fáceis de avaliar, ou pelo menos mais fáceis de vincular a indicadores, que princípios abstratos não mensuráveis. Assim, como a função dos *critérios* é mostrar a implicação no cumprimento de um princípio para o ecossistema da floresta ou os sistemas sociais relacionados, estes devem ser formulados em termos de resultados. Além disso, os *critérios* devem ser a consequência lógica e inequívoca de um ou mais princípios, ou seja, devem ser formulados de forma a dar o veredito sobre o cumprimento de um princípio. Assim, sua formulação deverá permitir que uma decisão seja dada. Isto implica em sempre utilizar um verbo, ou um substantivo derivado de um verbo, na formulação de um *critério*.

Indicadores. São parâmetros quantitativos ou qualitativos que podem ser avaliados em relação a um critério. Os *indicadores* descrevem de forma objetiva e inequívoca: as características ou aspectos do ecossistema, ou do sistema social relacionado, os elementos de gestão e os processos humanos conduzidos, refletindo o estado do sistema ecológico e social prevalente. Os *indicadores* compõem o nível hierárquico inferior ao dos critérios, sua função é estabelecer parâmetros avaliativos dos critérios que, por si, são raramente possíveis de serem medidos diretamente. Assim, o uso de *indicadores* reduz o número de medições para descrever o estado do ecossistema ou do sistema social, simplificando o processo de comunicação pelo qual a informação acerca dos resultados das medições é fornecida para as partes envolvidas.

Normas. Atribuem ao indicador um parâmetro de mensuração, estabelecido como uma regra, fornecendo uma base de comparação. Quando se compara uma

norma com o valor auferido do indicador, o resultado demonstrará o grau de cumprimento de um critério ou de conformidade com um princípio.

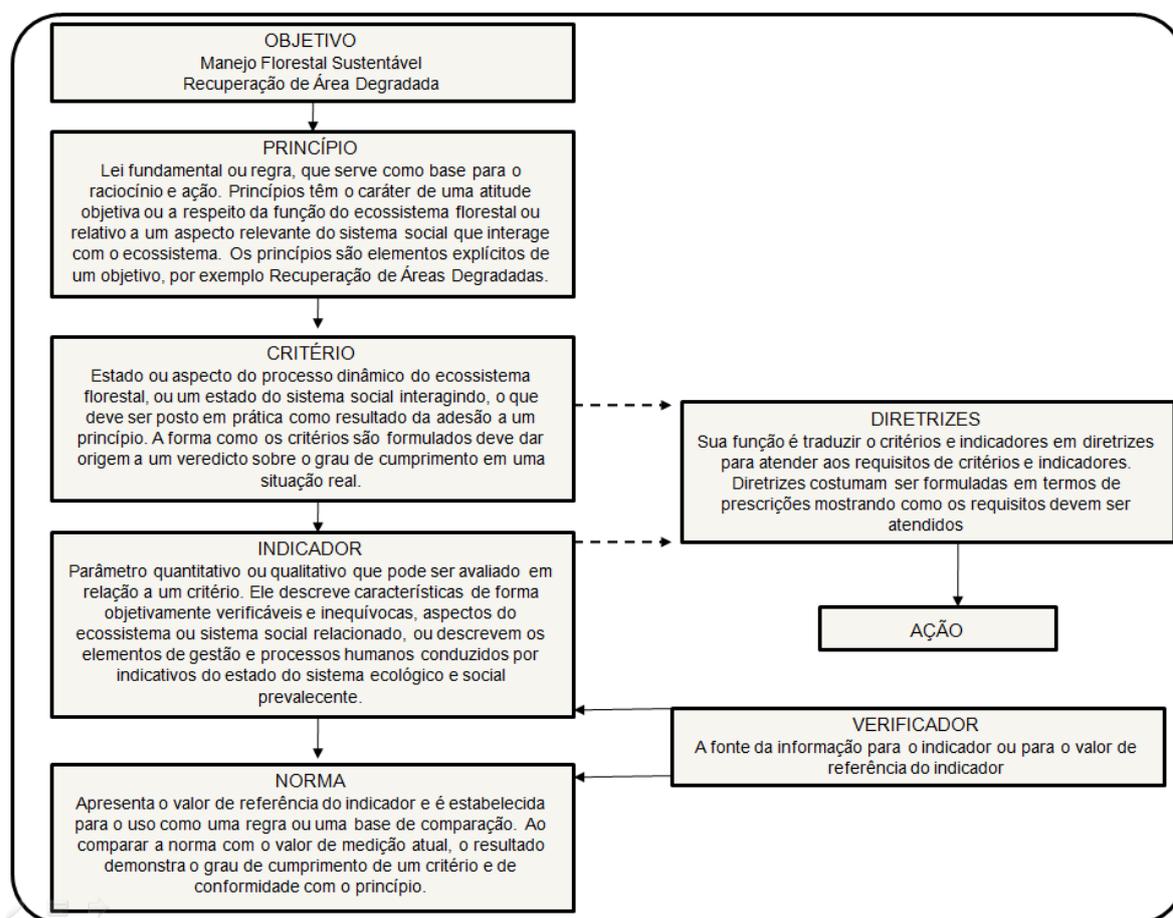
Verificadores. Representam o quarto e último nível hierárquico, logo abaixo do nível dos indicadores, e podem ser necessários para descrever o modo como os indicadores são medidos no campo. Os *verificadores* referem-se à fonte de informação para o cálculo do indicador e relacionam-se com o elemento mensurável do indicador. O procedimento de verificação especifica o modo como o indicador é medido no campo e a forma com que os valores de referência são estabelecidos. A escolha de um valor de referência é sempre difícil ao formular valores-alvo (ou limites) porque muitas vezes é um procedimento arbitrário. No entanto, a existência de um valor de referência cuidadosamente examinado é essencial para apoiar a função do indicador. Na prática, os verificadores de índole qualitativa podem variar entre muito preciso (ou confiável, objetivo) a vago (ou incerto, subjetivo). Os requisitos do verificador de qualidade dependem da importância ou do impacto do valor que é medido. Por sua vez, isto depende da escala em que é exercida, por exemplo, o cálculo de corte permitido por uma grande área. Outros fatores relevantes são a coerência do verificador e o custo-efetividade. Nos casos reais de avaliação, podem haver diferentes requisitos de qualidade em relação aos verificadores, dependendo da finalidade do exercício e da natureza do objeto analisado.

De forma resumida, a estrutura hierárquica inerente ao Marco PC&I permite construir, passo a passo (nível por nível), o **Objetivo** almejado (por exemplo: a Recuperação de Áreas Degradadas), através do emprego de parâmetros que podem ser facilmente gerenciados ou avaliados. Primeiro, os **Princípios** dividem o objetivo em componentes mais específicos. Depois, os **Critérios** traduzem os princípios em estados do ecossistema e do sistema social. A seguir, os **Indicadores** apresentam elementos mensuráveis cujas **Normas** irão fornecer os parâmetros de mensuração. Por sua vez, os **Verificadores** esclarecem a fonte de informação ligada à mensuração de cada indicador. Finalmente, a função das **Diretrizes** é traduzir os Critérios e os Indicadores em orientações práticas de ações que atendam exigências e realizem as correções necessárias. De um ponto de vista sistemático, as *Diretrizes* estariam fora do quadro hierárquico PC&I, mas

apresentariam uma forte ligação com os Critérios e os Indicadores. Como próximo passo da análise, as ações concretas devem ser planejadas para implementar as *diretrizes*. As ações devem ser formuladas através de planos de gestão e planos de trabalho complementares.

A seguir, a **Figura 3** apresenta o Marco PC&I de forma esquemática, permitindo um melhor entendimento das relações entre suas partes integrantes, e facilitando a compreensão do funcionamento de sua Estrutura Hierárquica.

Figura 3. Estrutura Hierárquica do Marco PC&I



Fonte: Adaptado de Lammerts van Bueren e Blom (1997).

Fundamentalmente, a solidez da concepção e a simplicidade da operabilidade e articulação, encontradas nas partes integrantes da estrutura hierárquica proposta pelo Marco PC&I, serviram de base para homogeneizar e unificar, em uma única linguagem PC&I comum, todas as terminologias próprias dos demais marcos hierárquicos analisados. Em suma, a homogeneização das quatro diferentes propostas hierárquicas, consideradas referência na sistematização de indicadores RAD, à uma mesma linguagem PC&I comum, constituiu a base de partida para o desenvolvimento da presente **‘Proposta Metodológica de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) através de Indicadores RAD’**.

4. Resultados

O presente capítulo apresenta-se dividido em duas seções. Na primeira seção são apresentados os **resultados preliminares** do trabalho, contendo as quatro *Matrizes de indicadores RAD*, desenvolvidas a partir da homogeneização à linguagem PC&I, pelos quatro marcos metodológicos analisados, considerados como referência em matéria de Indicadores RAD. Por último, a segunda seção apresenta os **resultados finais**, derivados da sintetização das quatro matrizes anteriores em uma única Matriz Sintética de Indicadores RAD e outras duas Matrizes que, em conjunto, constituem o Protocolo de Monitoramento e Avaliação de Áreas Degradadas proposto neste trabalho.

4.1. Resultados Preliminares

A partir da homogenização das propostas dos quatro marcos analisados, mediante o emprego da estrutura hierárquica do Marco PC&I (LAMMERTS van BUEREN e BLOM, 1997), apresentam-se a continuação, como resultados preliminares, um total de quatro Matrizes de Indicadores RAD descritas nas **Tabelas 8** (Adaptação do Marco SER ao Marco PC&I), **9** (Adaptação da Proposta Melo *et al.* (2010) ao Marco PC&I), **10** (Adaptação da Proposta Durigan (2010) ao Marco PC&I) e **11** (Adaptação da Proposta Brancalion *et al.*(2012) ao Marco PC&I) a seguir.

A **Tabela 8** foi produzida a partir da seleção dos atributos enumerados pelo marco SER (2004) que orientaram tanto a descrição dos Critérios como os Princípios orientadores. A expressão dos Critérios propostos por SER (2004) na forma de Indicadores foram adaptados e cotejados com outros Marcos que expressavam critérios semelhantes. Dessa forma, foi possível estabelecer 3 Princípios distintos que se expressam em 7 Critérios diferentes e 6 Indicadores distintos, havendo ainda um Indicador que defina de forma prática e viável, o Critério de resiliência, ou seja, a capacidade de suportar estresse sobre a área em recuperação.

A adaptação da Proposta Melo *et al.* (2010) ao Marco PC&I consistiu em assumir os indicadores originalmente desenvolvidos transformando os Grupos de Indicadores, organizados na proposta original, em Critérios válidos pelo Marco PC&I. Estes foram reunidos em um princípio unificado que expressa o objetivo central do trabalho que consiste em promover a Condução da Revegetação Florestal. As colunas originalmente destinadas a verificar o nível de adequação foram traduzidas em Normas, que definem os valores de referência dos indicadores. Por sua vez, os indicadores têm periodicidade e cronograma específicos para sua amostragem, que foram traduzidos na coluna Verificador, conforme **Tabela 9** adiante, apresentando 7 Indicadores, 3 Critérios e um Princípio.

A adaptação da Matriz de Indicadores Universais para o Monitoramento de Áreas em Recuperação (DURIGAN, 2011) assumiu os Indicadores originalmente

propostos. Estes encontram-se sob a égide de 2 Critérios que foram originalmente transformados da categoria de análise proposta pelo trabalho de Durigan (2011). A proposta apresenta ainda um Princípio que expressa o objetivo da Matriz de Indicadores selecionada. A norma de validação dos Indicadores foi produzida de acordo com as características de conformidade de Matriz original, bem como o Verificador, que especifica o período de amostragem dos indicadores propostos. O resultado, apresentado na **Tabela 10** adiante, apresenta 8 Indicadores, 3 Critérios e um Princípio.

A adaptação da proposta Brancalion *et al.*(2012) compreendeu a organização de Indicadores organizados sob 2 Critérios para descrever a estrutura e composição da comunidade vegetal a ser restaurada. Os Critérios foram descritos para atender a um Princípio voltado à recomposição da área em restauração. A Norma aplicada aos Indicadores procurou estabelecer o nível de adequação do indicador segundo parâmetros de avaliação. Além disso desenvolveu-se uma coluna de Verificador com as épocas projetadas para coleta das informações. A **Tabela 11** adiante apresenta 1 Princípio descrito por 2 Critérios e 10 Indicadores.

Tabela 8. Adaptação da Proposta SER ao Marco PC&I - Matriz de Indicadores para Projetos de Restauração Ecológica

Princípio	Critério	Indicador	
Preservação da Biodiversidade do Ecossistema	Existência de espécies do ecossistema de referência	Riqueza de Regenerantes	
	Existência de espécies indígenas até o máximo grau possível.	Diversidade de Regenerantes	
	Presença de grupos funcionais para a estabilidade do ecossistema	Presença de espécies ameaçadas de extinção	Estratificação (Nº de estratos)
			Fitofisionomia
Recuperação dos Aspectos Físicos do Ecossistema	Restauração do ambiente físico do ecossistema.	Taxa (%) de erosão dos solos	
Funcionamento Normal do Ecossistema Restaurado não existindo mais Disfunção.	Integração com a matriz ecológica ou a paisagem através de fluxos e intercâmbios abióticos e bióticos.	Taxa (%) de mortalidade de mudas plantadas	
		Chuva de sementes	
	Eliminação ou redução das ameaças potenciais à saúde e à integridade do ecossistema restaurado.	Cercamento da área	
		Proteção de Perturbações	
Resiliência: capacidade de suportar os eventos periódicos normais de estresse que ocorrem no ambiente local e que servem para manter a integridade do ecossistema.	Ocorrência de Fatores de Degradação		
		A definir	

Fonte: Elaboração própria a partir de SER (2004).

Tabela 9. Adaptação da Proposta Melo *et al.* (2010) ao Marco PC&I – Matriz de Avaliação para Projetos de Restauração de Matas Ciliares

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)			Verificador
			1	2	3	
Condução da Revegetação Florestal	Preparo da Área em Recuperação	Cercamento	Área completamente cercada ou cercamento desnecessário	Área parcialmente cercada	Área não cercada	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		Proteção de perturbações	Não se detectam sinais de perturbação ou quando existem não comprometem mais de 5% da área	São detectados sinais de perturbações que comprometem entre 5 e 30% da área	São detectados sinais de perturbações que comprometem mais de 30% da área	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano

Fonte: Adaptado de Melo *et al.* (2010).

Tabela 9. Adaptação da Proposta Melo *et al.* (2010) ao Marco PC&I – Matriz de avaliação para Projetos de Restauração de Matas Ciliares (CONTINUAÇÃO)

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)			Verificador
			1	2	3	
Condução da Revegetação Florestal	Manutenção da Área em Recuperação	Mortalidade	Até 10%	Entre 10% e 20% ou menor localizada em reboleiras	Entre 10% e 20% localizada em clareiras ou acima de 20% dispersos na área	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		Ataques de formigas	Até 10% das árvores parcialmente desfolhadas	Entre 10% e 20% das árvores parcialmente desfolhadas ou 10% de árvores totalmente desfolhadas	Mais de 20% das árvores parcialmente desfolhadas ou mais de 10% das árvores totalmente desfolhadas	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		Matocompetição na coroa das mudas	Ocorrência em até 10% da coroa	Ocorrência de competidoras em área entre 10% e 30% das coroas	Ocorrência de competidores em área maior que 30% da área das coroas	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		Matocompetição na entrelinha	Menor que 30% da área	Ocorrência de competidoras em área equivalente a 30% e 50% da área	Mais de 50% de matocompetição dispersa nas entrelinhas	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
	Restabelecimento da Estrutura Vegetal da Área em Recuperação	Cobertura de copas %	Acima de 80% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia	Entre 50 e 80% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia	Abaixo de 50% do valor na melhor área de mesma idade na mesma microbacia	Amostragem trimestral no 1º ano e semestral a partir do 2º ano

Fonte: Adaptado de Melo *et al.* (2010).

Tabela 10. Adaptação da Proposta Durigan (2011) ao Marco PC&I – Matriz de Indicadores Universais para o Monitoramento de Áreas em Recuperação

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)			Verificador
			Adequada	Parcialmente Adequada	Crítica	
Recomposição da Estrutura Vegetal da Área em Recuperação	Restabelecimento da Estrutura Vegetal da Área em Recuperação	Cobertura de solo	Maior que 50 %	Entre 30% e 50%	Menor que 30%	3 anos
			Maior que 80 %	Entre 50% e 80%	Menor que 50%	5 anos
			Maior que 80 %	Entre 50% e 80%	Menor que 50%	10 anos
		Estratificação	2 Estratos (pioneiras e tardias)		Somente 1 estrato	3 anos
			--	--	--	5 anos
			2 Estratos (pioneiras e tardias) com maior porte		Somente 1 estrato	10 anos
		Fitofisionomia	Carrascal / capoeirinha		Sem domínio de plantas lenhosas	3 anos
			Carrascal / capoeira		Carrascal	5 anos
			Capoeira		Capoeirinha	10 anos
	Estabelecimento da Função Ecológica da Área em Recuperação	Espécies lenhosas invasoras	Ausência		Presença	3 anos
			Ausência		Presença	5 anos
			Ausência		Presença	10 anos

Fonte: Adaptado de Durigan (2011).

Tabela 11. Adaptação da Proposta Brancalion *et al.*(2012) ao Marco PC&I – Matriz de Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)				Verificador
			0	1	2	3	
Recomposição da Área em Restauração	Recuperação da Estrutura da Comunidade Vegetal	Altura média das mudas plantadas	< 0,5 m	Entre 0,6 e 1,0m	Entre 1,1 e 1,5 m	> 1,5 m	12 meses
		Mortalidade após replantio	> 10%	Entre 5,0 e 10%	Entre 3,1 e 5,0%	< 3,0%	12 meses
			> 10%	Entre 5,0 e 10%	Entre 3,1 e 5,0%	< 3,0%	1 - 3 anos
		Cobertura de copa	< 20%	Entre 20 e 50%	Entre 50 e 80%	> 80%	1 - 3 anos
			< 20%	Entre 20 e 50%	Entre 50 e 80%	> 80%	4 ou mais anos
		Cobertura de gramíneas invasoras	> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	12 meses
			> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	1 - 3 anos
			> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	4 ou mais anos

Fonte: Adaptado de Brancalion *et al.* (2012).

Tabela 11. Matriz de Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração – Proposta de Brancalion *et al.* (CONTINUAÇÃO)

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)				Verificador
			0	1	2	3	
Recomposição da Área em Restauração	Recuperação da Composição da Comunidade Vegetal	Riqueza média de espécies arbustivas e arbóreas	< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	12 meses
			< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	1 - 3 anos
			< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	4 ou mais anos
		Diversidade (H')	< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	12 meses
			< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	1 - 3 anos
			< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	4 ou mais anos
		Presença de espécies arbustivas e arbóreas exóticas invasoras	Presença	--	--	Ausência	12 meses
			Presença	--	--	Ausência	1 - 3 anos
			Presença	--	--	Ausência	4 ou mais anos
		Presença de espécies arbustivas e arbóreas exóticas (não regionais ou de outros países)	Presença	--	--	Ausência	12 meses
			Presença	--	--	Ausência	1 - 3 anos
			Presença	--	--	Ausência	4 ou mais anos
		Presença de espécies arbustivas e arbóreas ameaçadas de extinção	Ausência	--	--	Presença	12 meses
			Ausência	--	--	Presença	1 - 3 anos
			Ausência	--	--	Presença	4 ou mais anos
		Distribuição ordenada de mudas a partir de grupos de plantio	Não houve	--	--	Houve	12 meses

Fonte: Adaptado de Brancalion *et al.* (2012).

4.2. Resultados Finais

A partir da sintetização das seis matrizes descritas na epígrafe anterior (*resultados preliminares*), obtiveram-se as três matrizes descritas nas **Tabelas 12 à 14** a seguir.

Primeiramente, a **Tabela 12** apresenta a **Matriz Sintetizada de Indicadores RAD**, que descreve 12 Indicadores derivados de 2 Princípios e 4 Critérios, além de 4 níveis de adequação fornecendo parâmetros de mensuração ('Normas') e as épocas previstas para a coleta de dado do atributo ('Verificador').

A seguir, a **Tabela 13** apresenta uma **Proposta de Pesos** para atribuir diferentes graus de importância aos Indicadores RAD, conforme proposto por Brancalion *et al.* (2012), tendo por parâmetro a importância dos Indicadores no comprometimento do plantio e o grau de dificuldade à sua correção.

Finalmente, a **Tabela 14** apresenta uma proposta de **Tabela Diagnóstica** para atribuir notas aos Indicadores RAD verificados no campo, cujas notas serão ponderadas pelo grau de importância (pesos) dos indicadores. A nota final alcançada permite mensurar o desempenho global da área objeto de recuperação.

Tabela 12. Matriz de Monitoramento e Avaliação de Indicadores RAD

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)				Verificador
			0	1	2	3	
O PRAD apresenta planejamento e implantação eficaz	Preparo da Área em Recuperação	I.1.1.Cercamento	Área não cercada	Área parcialmente cercada	--	Área completamente cercada ou cercamento desnecessário	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		I.1.2.Proteção de Perturbações	São detectados sinais de perturbações que comprometem mais de 30% da área	São detectados sinais de perturbações que comprometem entre 15 e 30% da área	São detectados sinais de perturbações que comprometem entre 5 e 15% da área	Não se detectam sinais de perturbação ou quando existem não comprometem mais de 5% da área	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		I.1.3.Altura média das mudas plantadas	< 0,5 m	Entre 0,6 e 1,0m	Entre 1,1 e 1,5 m	> 1,5 m	12 meses
		I.1.4.Distribuição ordenada de mudas	Não houve	--	--	Houve	12 meses
	Manutenção da Área em Recuperação	I.2.1.Mortalidade de mudas no campo	> 20%	Entre 10% e 20% em clareiras	Entre 10% e 20% ou menor em reboleiras	Até 10%	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		I.2.2.Ataque de formigas	Mais de 20% das árvores parcialmente desfolhadas ou mais de 10% das árvores totalmente desfolhadas	Até 10% de árvores totalmente desfolhadas	Entre 10% e 20% das árvores parcialmente desfolhadas	Até 10% das árvores parcialmente desfolhadas	Amostragem mensal no 1º ano e trimestral a partir do 2º ano
		I.2.3.Cobertura de Gramíneas Invasoras	> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	12 meses
			> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	1 - 3 anos
			> 30%	Entre 20 e 30%	Entre 10 e 19%	< 10,0%	4 ou mais anos

Fonte: Elaboração Própria (2014).

Tabela 12. Matriz de Monitoramento e Avaliação de Indicadores RAD (CONTINUAÇÃO)

Princípio	Critério	Indicador	Norma (Nível de Adequação)				Verificador
			0	1	2	3	
A Área Recuperada apresenta estrutura ecológica estável	Recuperação da Estrutura da Comunidade Vegetal	I.3.1.Cobertura do Solo	< 20%	Entre 20 e 50%	Entre 50 e 80%	> 80%	1 - 3 anos
			< 20%	Entre 20 e 50%	Entre 50 e 80%	> 80%	4 ou mais anos
	Recuperação da Composição da Comunidade Vegetal	I.4.1.Riqueza média de espécies arbustivas e arbóreas	< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	12 meses
			< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	1 - 3 anos
			< 30 sp.	Entre 30 e 59 sp.	Entre 60 e 79 sp	>=80 sp	4 ou mais anos
		I.4.2.Diversidade (H')	< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	12 meses
			< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	1 - 3 anos
			< 1,0	Entre 1,1 e 2,0	Entre 2,1 e 3,0	> 3,0	4 ou mais anos
		I.4.3.Presença de espécies arbustivas e arbóreas invasoras	Presença	--	--	Ausência	12 meses
			Presença	--	--	Ausência	1 - 3 anos
			Presença	--	--	Ausência	4 ou mais anos
		I.4.4.Presença de espécies arbustivas e arbóreas ameaçadas de extinção	Ausência	--	--	Presença	12 meses
	Ausência		--	--	Presença	1 - 3 anos	
	Ausência		--	--	Presença	4 ou mais anos	

Fonte: Elaboração Própria (2014).

Tabela 13. Grau de importância dos indicadores PRAD

Grau de Importância	Indicador	Critério	Peso
Alto	I.4.1.Riqueza média de espécies arbustivas e arbóreas	Podem comprometer todo o plantio a curto prazo e são de difícil correção	3
	I.4.2.Diversidade (H')		
	I.4.3.Presença de espécies arbustivas e arbóreas invasoras		
	I.1.4.Distribuição ordenada de mudas		
	I.2.1.Mortalidade de mudas		
	I.2.2.Ataque de formigas		
	I.2.3.Cobertura de Gramíneas Invasoras		
Médio	I.3.1.Cobertura de Solo	Podem comprometer o plantio a médio prazo e podem ser corrigidos	2
	I.1.3.Altura média das mudas plantadas		
	I.1.1.Cercamento		
Baixo	I.1.2.Proteção de Perturbações	Não compromete o plantio, mas são indicadores positivos e devem ser valorizados	1
	I.4.4.Presença de espécies arbustivas e arbóreas ameaçadas de extinção		

Fonte: Elaborado a partir de Brancalion *et al.* (2012).

Tabela 14. Tabela Diagnóstica de Avaliação de PRAD

COD	Parâmetro avaliado	Peso	Nota obtida pelo Indicador	Nota final máxima	Nota final alcançada
C.1.	Preparo da Área em Recuperação				
	I.1.1. Cercamento				
	I.1.2. Proteção de Perturbações				
	I.1.3. Altura média das Mudanças Plantadas				
	I.1.4. Distribuição Ordenada das Mudanças				
C.2.	Manutenção da Área em Recuperação				
	I.2.1. Mortalidade de Mudanças no Campo				
	I.2.2. Ataque de Formigas				
	I.2.3. Cobertura de Gramíneas Invasoras				
C.3.	Recuperação da Estrutura da Comunidade Vegetal				
	I.3.1. Cobertura do Solo				
C.4.	Recuperação da Composição da Comunidade Vegetal				
	I.4.1. Riqueza Média das Espécies Arbustivas e Arbóreas				
	I.4.2. Diversidade (H')				
	I.4.3. Presença de espécies arbustivas e arbóreas invasoras				
	I.4.4. Presença de espécies arbustivas e arbóreas ameaçadas de extinção				
Pontuação encontrada					

Fonte: Elaborado própria baseado em Brancalion *et al.* (2012).

5. Conclusões e Futuras Linhas de Pesquisa

Ao longo deste último capítulo apresenta-se, em um primeiro momento, as principais conclusões derivadas do presente trabalho e, posteriormente, levantam-se possíveis linhas de pesquisa a serem desenvolvidas futuramente.

5.1. Conclusões

O trabalho apresenta como resultados preliminares quatro Matrizes de Indicadores RAD homogêneas pelo Marco PC&I (PRABHU *et al.*, 1999). Os resultados finais são representados por uma Matriz de Indicadores RAD sintetizada pela contribuição das quatro matrizes anteriores e duas outras Matrizes atribuindo pesos aos Indicadores RAD e atribuindo nota ao desempenho global da área em avaliação.

A realização do presente trabalho proporcionou dois tipos de conclusão: conclusões de índole metodológica e empírica. As conclusões de caráter metodológico apontam para as inferências surgidas com a aplicação da metodologia. As conclusões de natureza empírica encontram-se relacionadas à aplicabilidade material do trabalho realizado.

Nesse sentido, cabe apresentar as seguintes conclusões de **caráter metodológico**:

- 1) Os Marcos Hierárquicos ajustam-se melhor às especificidades demandadas por Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). A existência de fases sucessionais em Recuperação de Áreas Degradadas é a razão pela qual os Marcos Hierárquicos melhor se ajustam.

Ao analisar fenômenos ecológicos, a adoção de um Marco Causal se aplica melhor a avaliar fenômenos pontuais baseados em estímulo-

estado-resposta, que avaliar um processo de recuperação ambiental.

Por outro lado a adoção de um Marco Sistêmico encontraria dificuldades de implementação, uma vez que considera um leque muito amplo de fatores que se alteram com a configuração de cada fase sucessional. Neste sentido, o desenvolvimento de indicadores considerando tantos fatores interrelacionados, tornaria o trabalho de monitoramento e avaliação de difícil execução, demandando excessivos recursos materiais e técnicos especializados.

Não em vão, nota-se que os quatro Marcos de Propostas de Indicadores RAD analisados neste trabalho apresentam uma estruturação hierárquica ao verificar que o processo de recuperação se assemelha a uma Programação Orientada a Objetivos.

- 2) Verificou-se, em linha com a conclusão anterior, que o processo de sintetização das Matrizes de Indicadores RAD foi facilitado pela semelhança entre os **Princípios** adotados pelos diferentes Marcos. O alinhamento encontrado encontra respaldo em razão de que três dos quatro marcos empregados surgiram à luz das diretrizes propostas pelo quarto Marco (o Marco SER), o que explica a coerência e semelhança observada entre os atributos avaliados.
- 3) Independente da estrutura hierárquica em torno da qual os Marcos Ordenadores de Indicadores RAD foram construídos, os aspectos por eles mensurados apresentam especificidade sobre os ecossistemas avaliados. Na medida em que foram desenvolvidos para fitofisionomia da Mata Atlântica, encontram dificuldade em replicabilidade a outros ecossistemas.

Entende-se que, quanto maior a especificidade do marco, melhor será sua análise e avaliação acerca do ecossistema analisado, entretanto mais restrita e difícil se tornará sua replicabilidade para outros biomas diferentes. Tomando-se por exemplo a realidade do Estado do Rio de Janeiro, as formações de restinga, sobre as quais vêm se

desenvolvendo PRADs, ainda carecem de Indicadores RAD.

Em se tratando de Conclusões Empíricas ainda que o presente trabalho não tenha sido implantado em uma experiência concreta, pode-se considerar essa ferramenta como potencialmente útil, considerando a validade do instrumento, na medida em que poderá contribuir com outros órgãos estaduais do meio ambiente, ante a inexistência de ferramentas de acompanhamento e avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas.

Portanto, a presente proposta de protocolo poderá apresentar aplicação prática, na medida em que contribuir para aprimorar o monitoramento e avaliação de projetos de recuperação de áreas degradadas. Um exemplo concreto é o caso da minuta de Resolução do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) voltada a estabelecer parâmetros de vistoria e monitoramento de Projetos de Reflorestamento Heterogêneo com espécies nativas, atendendo a exigências de licenciamento e adequação ambiental, que motivou a presente pesquisa.

5.2. Futuras Linhas de Pesquisa

Considerando desdobramentos do presente trabalho, apresentam-se possíveis linhas de pesquisa, que poderiam contribuir para o avanço no conhecimento do tema, abordando os seguintes aspectos:

- a) **Amostragem em Áreas Extensas:** Outro desafio que se apresenta no monitoramento e avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas consiste na dificuldade de se amostrar áreas de grandes extensões. O desafio da amostragem em grandes superfícies incide tanto sobre a definição das parcelas amostrais (tamanho, forma e quantidade) quanto sobre a delimitação da intensidade das coletas de amostras nas parcelas, de forma a assim representar toda a extensão da área objeto de

recuperação. Nesse sentido, cabe portanto, definir critérios objetivos e factíveis de amostragem que considerem grandes extensões de áreas.

Considerando os critérios acima, amostragem de PRADs em dimensões reduzidas não se configura propriamente uma dificuldade, entretanto, em áreas muito extensas, a tarefa apresenta um desafio operacional. Se, por exemplo, for aplicado o critério de obter amostras a cada 0,1 ha de área recuperada; em um projeto de 500 ha, seriam necessárias 5.000 amostras. O tratamento dos dados obtidos dificultaria em muito a viabilidade do monitoramento e avaliação.

A resposta a esta questão tem uma implicação prática de amplo alcance. Como a fiscalização e aprovação de PRADs estão a cargo de órgãos ambientais, a definição dos critérios de amostragem irá impactar nos custos e capacidade de fiscalização, especialmente considerando que estes órgãos normalmente dispõem de recursos humanos e operacionais limitados e se deparam com quantidade excessiva de processos de recuperação, alguns com áreas muito extensas ultrapassando 1.000 ha em medidas compensatórias de recuperação ambiental.

- b) **Conclusão de um PRAD.** Apesar da elaboração de ferramentas de avaliação e monitoramento permanece ainda a questão de definir como atestar a conclusão de um Projeto de Recuperação.

Trata-se de estabelecer em que momento do processo induzido de recuperação de áreas degradadas é possível afirmar que não haverá mais necessidade de intervenção humana, entendendo que os processos sucessionais em curso serão suficientes para promover uma regeneração que apresente sustentabilidade ao longo do tempo.

Embora a *Tabela Diagnóstica de Avaliação* apresentada em Resultados Finais do presente trabalho permita mensurar objetivamente o desempenho de um PRAD, futuras linhas de pesquisas deveriam definir se

haveria uma pontuação, ou mesmo uma faixa de pontuação, que reflita um processo sucessional consolidado, a partir da qual a Área Recuperada pudesse se desenvolver sozinha sem a necessidade de intervenção humana.

Dessa forma, a aplicação da *Tabela Diagnóstica de Avaliação* em diferentes iniciativas de recuperação, e os relatos coletados ao longo do tempo sobre a evolução dos projetos poderão fornecer parâmetros de predição da probabilidade de sucesso face ao nível atual de manejo verificado nas diferentes áreas a serem recuperadas.

6. Referências Bibliográficas

ADEEL, Z., SAFRIEL, U., NIEMEIJER, D., WHITE, R., **Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis**. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington: World Resources Institute, 2005. 36p.

ALVARENGA, M.I.N., SILVEIRA, D.A., PASSOS, R.R., BAHIA, V.G. Manejo Visando a Conservação e Recuperação de Solos Altamente Suscetíveis à Erosão sob os Aspectos Físicos, Químicos e Biológicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n.191, p. 49-58, 1998.

ANDERSSON, E., BROGAARD, S. OLSSON, L. The Political Ecology of Land Degradation. **Annual Review of Environment and Resources**. V. 36, p. 295-319, 2011.

ARAÚJO, G. H. S., ALMEIDA, J. R., GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 322p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Degradação do Solo: Terminologia **NBR 10703**. Rio de Janeiro, 1989. 45p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração **NBR 13030**. Rio de Janeiro, 1999. 5p.

BAI, Z.G.; DENT, D.L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M.E. **Global assessment of land degradation and improvement: Identification by remote sensing**. Wageningen: ISRIC, 2008. 69 p. (Report 2008/1).

BALIEIRO, F.C., TAVARES, S. R. de L. Revegetação de Áreas Degradadas. In: TAVARES, S. R. de L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Série Documentos / Embrapa Solos, 103. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Capítulo 7, p. 174-206.

BALLAYAN, D. Soil Degradation. **Manual on Environment Statistics**. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific - UNESCAP: 2002. Cap. 3, 25p. Disponível em: <http://www.unescap.org/stat/envstat/stwes-04.pdf> . Acesso em 9 Mar 2012.

BARBOSA, L. M. coord. **Manual para Recuperação de Áreas Degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista.** São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

BELLOTTO, A.; VIANI, R.A.G.; NAVE, A.G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. 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. **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: Referencial dos Conceitos e Ações de Restauração Florestal.** São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto Bioatlântica, 2009. Cap. 3, p. 128 – 146.

BONETES, L. **Tamanho de Parcelas e Intensidade Amostral para Estimar o Estoque e Índices Fitossociológicos em uma Floresta Ombrófila Mista.** 2009. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, PR, 2009.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G. ; RODRIGUES, R. R. ; GANDOLFI, S. Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração. In: MARTINS, S.V. (Org.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados.** Viçosa: Editora UFV, 2012, Cap. 9, p. 262-293.7

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado, 1998.

BRASIL. Lei N. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 set. 1981. Seção 1, p. 16509.

BRASIL. Lei nº 12.661, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Seção 1, p.1.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 out. 2012. Seção 1, p.1.

BRIENZA JÚNIOR, S.; MANESCHY, R.Q.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GAZEL Filho, A.B.; YARED, J.A.G.; GONÇALVES, D.; GAMA, M.B. Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira: Análise de 25 Anos de Pesquisas. **Pesquisa Florestal Brasileira: Colombo**, n. 60, p. 67, fev. 2010. 10p.

CANADIAN PARKS COUNCIL (Canadá). **Principles and Guidelines for Ecological Restoration in Canada's Protected Natural Areas**, Quebec, 2008, 108 p.

CÁNEPA, E.M., Economia da poluição. In: MAY, P.H. (Org.) **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Cap. 4, p. 79-98.

CAPECHE, C.L., MACEDO, J.R., MELO, A.S. Estratégias de Recuperação de Áreas Degradadas. In: TAVARES, S. R. de L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Série Documentos / Embrapa Solos, 103. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Capítulo 6, p. 134-173.

CAPELO, J. **Conceitos e Métodos da Fitossociologia: Formulação Contemporânea e Métodos Numéricos de Análise da Vegetação**. Estação Florestal Nacional, 2004. 108 p.

CHAER, G.M. Monitoramento de Áreas Recuperadas ou em Recuperação. In: TAVARES, S. R. de L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Série Documentos / Embrapa Solos, 103. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Capítulo 8, p. 211 – 228.

CIFOR C&I Team. **The CIFOR Criteria and Indicators Generic Template**. Jakarta: CIFOR, V. 2, 1999. 55p. (The Criteria & Indicator Tollbox Series).

CLEWELL, A., RIEGER, J., MUNRO, J. **Diretrizes para Desenvolver e Gerenciar Projetos de Restauração Ecológica**. 2ª Edição. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2005. 19p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 01/86, de 23 de janeiro de 1986. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 922 - 925.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 09/87, de 03 de dezembro de 1987. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 929.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 237/97, de 19 de dezembro de 1997. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 930 – 934.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 249/99, de 29 de janeiro de 1999. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 124 - 142.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 284/01, de 30 de agosto de 2001. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 996-999.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA Nº 369/06, de 28 de março de 2006. In: **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. p. 78-85.

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F.C.; NOVAES, T.H. Sobre o marco analítico conceitual da tecnologia social. In: DE PAULO, A.; MELLO, C.J.; NASCIMENTO Fº; L.P.; KORACAKIS, T. **Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004. Cap. 1, p. 15 – 64.

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

DIAMANTINO, E. O Estado Democrático de Direito Ambiental e o Direito de Propriedade. **Revista Internacional de Direito e Cidadania**, n. 1, p. 31-41, junho/2008.

DOREN, R.F., TREXLER, J.C., GOTTLIEB, A.D., HARWELL, M. C. Ecological indicators for system-wide assessment of the greater everglades ecosystem restoration program. **Ecological Indicators**, V. 9, I 6, Suplemento, p. S2-S16, Nov./ 2009.

DUARTE, R.M.R., BUENO, M.S.G., Fundamentos Ecológicos Aplicados à RAD para Matas Ciliares do Interior Paulista. In: BARBOSA, L.M. coord. **Manual para Recuperação de Áreas Degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p. 30 – 41.

DUBOC, E. . Sistemas agroflorestais e o Cerrado. In: FALEIRO, G.F. FARIAS Neto, A.L.. (Org.). **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. 1ª ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008, v. 1, p. 965-985.

DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. **Cadernos da Mata Ciliar**, São Paulo, n. 4, p. 11 – 39, 2011.

DURIGAN, G., ENGEL, V.L. Restauração de Ecossistemas no Brasil: Onde Estamos e Para Onde Podemos Ir? In: Sebastião Venâncio Martins. (Org.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. 1ªed.Viçosa: UFV, 2012, v. 1, p. 41-68.

EHRENFELD, J.G., Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals. **Restoration Ecology**, V.8, Nº 1, p. 2 – 9, mar / 2009.

ESWARAN, H., LAL, R. e REICH, P.F. Land degradation: an overview. In: Responses to Land Degradation. Proc. 2nd. **International Conference on Land Degradation and Desertification**, New Delhi: Oxford Press, 2001.

EUA, Surface Mining Control and Reclamation Act, Public Law: 95-87, 3 de agosto de 1977. **U.S. Code of Federal Regulations**, AE 2.106/3:30, Title 30 - Mineral Resources, Jul., 2008.

GISLADOTTIR, G., STOCKING, M. Land degradation control and its global environmental benefits. **Land Degradation & Development**, V.16, p. 99–112, 2005.

HASSAN, R., SCHOLE, R, ASH, N. **Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends**, V. 1. Washington: Island Press, 2005. 901p. (The millennium ecosystem assessment series).

HERRMANN, H. Recuperação socioambiental de áreas mineradas. In: ALBA, J.M.F. Ed. **Recuperação de áreas mineradas**. Brasília: Embrapa, 2010. Parte 2, Capítulo 3, p. 124 – 145.

HOLLING, C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4. p. 1 -23 , 1973.

HOWELL, E.A., HARRINGTON, J.A., GLASS, S.B. **Introduction to Restoration Ecology**: Instructor's Manual. Washington: Island Press, 2013. 183p.

HOWELL, E.A., HARRINGTON, J.A., GLASS, S.B. **Introduction to Restoration Ecology**. Washington: Island Press, 2012. 418p..

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE – IBAMA (Brasil). Instrução Normativa Nº 4, de 13 de abril de 2011. Estabelece procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada – PRAD. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 14 abr. 2011. Seção 1, p. 100 – 101.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA (Brasil). Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos. **Relatório de Pesquisa**. Brasília: IPEA, Dirur. 2010. 66p.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. Resolução Nº 36, de 08 de julho de 2011. Aprova o Termo de Referência para Elaboração de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 1º jul. 2011. Parte I, p. 13.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F.B. Recuperação de Áreas Ciliares. In: Rodrigues R. R. & Leitão Filho H. de F. (eds) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2009. Cap. 15.1, p. 249-269.

KAMMERBAUER, J. Las dimensiones de la sostenibilidad: Fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos. Caracas: **Interciencia**, v. 26, n. 8, agosto 2001. p. 353 – 359.

KNIIVILA, M. **Land Degradation and Land Use/Cover Data Sources**. United Nations Secretariat, Department of Economic and Social Affairs: New York, 2004. 36p. (Working Document).

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: **I Seminário de Hidrologia Florestal**, 2003, Alfredo Wagner. Zonas ripárias. Florianópolis: PPGEA/UFSC, 2003. v. 1. p. 1-13.

KOBIYAMA, M., MINELLA, J.P.G., FABRIS, R. Áreas Degradadas e sua Recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n.210, p. 10-17, mai/jun 2001.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, v. 12, p. 519–539, 2001.

LAMMERTS van BUEREN, F.; BLOM, F. **Hierarchical Framework for the Formulation for Sustainable Forest Management Standards: Principles, Criteria and Indicators**. Tropenbos Foundation, Wageningen, 1997. 95p.

MACHADO, P.A.L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 21^a. ed. São Paulo, Malheiros, 2013. 1.311 p.

MAGNANO, L.F.S., MARTINS, S.V., VENZKE, T.S., IVANAUSKAS, N.M. Os processos e Estágios Sucessionais da Mata Atlântica como Referência para a Restauração Florestal. In: MARTINS, S.V. (Editor). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. Cap. 3, p. 69 – 100.

MANDETTA, E.C.N. Alternativas de RAD e Importância da Avaliação e Monitoramento dos Projetos de Reflorestamento. In: BARBOSA, L.M. coord. **Manual para Recuperação de Áreas Degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p. 105 – 117.

MARTINS, S.V. **Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em áreas de Preservação Permanente, Voçorocas, Taludes Rodoviários e de Mineração**. 2^a ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 268p.

MELO, A.C.G.; REIS, C.M.; RESENDE, R.U. Guia para Monitoramento de Reflorestamentos para Restauração. **Circular Técnica 1 Projetos Mata Ciliar**, São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, n. 1, 2010. 10 p.

MENDOZA, G.A.; MACOUN, P.; PRABU, R.; SUKADRI, D.; PURMONO, H.; HARTANTO, H. **Guidelines for Applying Multi-Criteria analysis to the Assessment of Criteria and Indicators**. Jacarta: CIFOR, V. 9, 1999. 86p. (The Criteria & Indicator Tollbox Series).

NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. Belém, PA: The Nature Conservancy, 2013. 128 p.

NKONYA, E.; GERBER, N.; BAUMGARTNER, P.; von BRAUN, J.; PINTO, A.; GRAW, V.; KATO, E.; KLOOS, J.; WALTER, R. **The Economics of Desertification, Land Degradation, and Drought: Toward an Integrated Global Assessment**. Bonn: Center for Development Research, mai. 2011. 184 p. (Discussion Papers on Development Policy N^o. 150).

O'CONNOR,S.; SALAFSKY,N.; SALZER, D.W. Monitoring Forest Restoration Projects in the Context of an Adaptive Management Cycle. In: MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D.; DUDLEY, N. (eds.) **Forest Restoration in Landscapes:Beyond Planting Trees**. New York: Springer, 2005. p. 140 – 149.

OLDEMAN, L.R. **Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation**. Wageningen : ISRIC, 1988. 18p. (Working Paper and Preprint 88/4)

OLDEMAN, L.R.; HAKKELING, R.T.A.; SOMBROEK, W.G. **World map of the status of human-induced soil degradation**: an explanatory note. Global Assessment of Soil Degradation – GLASOD. 2ª Ed. Wageningen: ISRIC; Nairobi: United Nations Environment Programme, 1991. 41 p.

ONU, Assembléia Geral das Nações Unidas. **United Nations Convention to Combat Desertification**. 1994.

PRABHU, R., COLFER, C.J.P., DUDLEY, R.G. **Guidelines for Developing, Testing and Selecting Criteria and Indicators for Sustainable Forest..** Jakarta: CIFOR, V. 1, 1999. 186p. (The Criteria & Indicator Tollbox Series).

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L.C. **Aptidão Agrícola das Terras do Brasil**: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 36p.

RODRIGUES, G.S. e CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do novo rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 38, v.4, 2003. p. 445-451.

RODRIGUES, R.R. GANDOLFI, S. NAVE, A.G., ATTANASIO, C.M. Atividades de adequação ambiental e restauração florestal do LERF/ESALQ/USP. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 7, jun. 2010.

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. 15.1, p. 235-247.

ROMEIRO, A.R., Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, P.H. (org.) **Economia do Meio Ambiente**: Teoria e Prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Cap. 1, p. 3-30.

RUIZ-JAEN, M.C.; AIDE, T.M. Restoration Success: How Is It Being Measured? **Restoration Ecology**, V.13, Nº 3, p. 569 – 576, set / 2005.

SANCHEZ- FERNANDEZ, G. **Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos**: aplicación empírica para sistemas agrários de Castilla y León. 2009. 251 p. Tese (Doutorado), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009.

SANCHEZ, G.; AGUIAR, T.C.; JOELS, L.M. Análise da sustentabilidade da agricultura: proposta metodológica de indicadores para a agricultura fluminense. In: **49º Congresso SOBER**, Julho, 2011, Belo Horizonte, 2011, 20p.

SANCHEZ, G.; MATOS, M.M.. Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores da Agricultura. **Synthesis**: Cadernos do Centro de Ciências Sociais da UERJ, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, dez. 2012. p. 255 – 267.

SÁNCHEZ, L.E. Planejamento e gestão do processo de recuperação de áreas degradadas. In: ALBA, J.M.F. Ed. **Recuperação de áreas mineradas**. Brasília: Embrapa, 2010. Parte 2, Capítulo 2, p. 104 – 121.

SANTOS, P.; BRITO, B.; MASCHIETTO, F.; OSÓRIO, G. (Org.) **Marco regulatório sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil**. Belém, PA: IMAZON; FGV. CVces, 2012. 78p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. Resolução SMA Nº. 08 de 31 de janeiro de 2008. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo: 1º fev. 2008. Seção I, p. 31.

SILVA, M.D.; CARVALHO Jr.; J.A., BUGIN, A.; RODRIGUEZ F.A.M. Recuperação de áreas degradadas. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA M.V. (Editores) **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT, 2008. p. 93 – 106.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE (SER) Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. **Princípios da SER Internacional sobre Restauração Ecológica**. Tradução de Griffith, J.J. *et al.* Tucson, 2004. 15p.

SUDING, K.N. GROSS, K.L., HOUSEMAN, G.R., Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. **Trends in Ecology Evolution**, v.19, n.1, p. 46-53, jan. 2004.

TAVARES, S.R.L. Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema. In: TAVARES, S. R. de L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Série Documentos / Embrapa Solos, 103. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Capítulo 1, p. 1-8.

VALARELLI, L.L. **Construção e Uso de Indicadores de Resultados e Impacto em Projetos Sociais**. Rio de Janeiro [s/e], 2004. 40p.

VALLAURI, D.; ARONSON, J.; DUDLEY, N.; VALLEJO, R. 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.

VIEIRA, N. K. ; REIS, A. . O Papel do Banco de Sementes na Restauração de Áreas Degradadas. In: Seminário Nacional Degradação e Recuperação Ambiental - Perpesctiva Social, 2003, Foz do Iguaçu - PR. **Anais do Seminário Nacional Degradação e Recuperação Ambiental - Perspectiva Social, 2003**. Foz do Iguaçu: Seminário Nacional. 2003. s.p.

VOGT, J. V., SAFRIEL, U., Von MALTITZ, G., SOKONA, Y., ZOUGMORE, R., BASTIN, G. and HILL, J., Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches. **Land Degradation & Development**, V. 22. p. 150–165, 2011.