



MARIANA DE OLIVEIRA GONÇALVES NOGUEIRA

**AUTOSSUSTENTABILIDADE EM PROJETO DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

LAVRAS-MG

2017

MARIANA DE OLIVEIRA GONÇALVES NOGUEIRA

**AUTOSSUSTENTABILIDADE EM PROJETO DE RESTAURAÇÃO
FLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador

Dr. Renato Luiz Grisi Macedo

Coorientadora

Dra. Soraya Alvarenga Botelho

LAVRAS- MG

2017

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

Nogueira, Mariana de Oliveira Gonçalves.
Autossustentabilidade em projeto de restauração florestal /
Mariana de Oliveira Gonçalves Nogueira. - 2017.
140 p. : il.

Orientador(a): Renato Luiz Grisi Macedo.
Coorientador(a): Soraya Alvarenga Botelho.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.
Bibliografia.

1. Funções ecológicas. 2. Ciclagem de carbono. 3.
Ecossistemas degradados. I. Grisi Macedo, Renato Luiz. II.
Botelho, Soraya Alvarenga. III. Título.

MARIANA DE OLIVEIRA GONÇALVES NOGUEIRA

**AUTOSSUSTENTABILIDADE EM PROJETO DE RESTAURAÇÃO
FLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Doutora.

Aprovada em 15 de setembro de 2017

Dra. Soraya Alvarenga Botelho UFLA

Dra. Michele Aparecida Pereira Silva UFLA

Dra. Gislene Carvalho de Castro UFSJ

Dr. Israel Marinho Pereira UFVJM

Dr. Renato Luiz Grisi Macedo

Orientador

LAVRAS- MG

2017

Dedico a você ALICE, filha amada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus sempre, pelas oportunidades concedidas e aprendizados neste plano. À minha família, em especial aos meus pais, pela ajuda com minha pequena para que pudesse concentrar tempo hábil na elaboração deste trabalho e pelo estímulo de sempre. Às minhas amadas irmãs, Carolina e Marcela, companheiras de vida.

À pequena Alice que, por tantas vezes, teve minha presença substituída pela presença dos avós e tias. Me perdoe pela ansiedade e estresse às vezes transmitidos a você, pequena, principalmente nesse momento de conclusão. Você é luz na minha vida!

À Cemig, pelo acesso às áreas de estudo, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal e à Capes, pela concessão de bolsa.

À querida Soraya, pela orientação prestada, estímulo nos trabalhos, carinho no trato diário, amizade e paciência. Vou guardar sempre um carinho imenso por você. Ao querido Grisi, pela orientação, amizade e disponibilidade quando necessário.

Aos colegas de doutorado, aos funcionários do DCF, a alguns professores em especial. Em especial à amiga Joyce, companheira de perrengues e ao Juninho, pelo auxílio de sempre em Lavras.

A todos os amigos e familiares, que não cabe citar nomes, mas que são peças fundamentais na minha caminhada.

À Mel, pela companhia nos momentos de análise de dados, leitura e escrita, durante todo o doutorado. Amor imenso de mãe por você!

RESUMO GERAL

Objetivou-se, neste estudo, avaliar a autossustentabilidade num ecossistema em restauração. A área foi mantida degradada por três décadas e, posteriormente, foram implantadas práticas de restauração, de caráter silvicultural, implantadas há 25 anos, numa época em que não havia o embasamento da ecologia da restauração. Apesar disso, buscou-se verificar a retomada de processos ecológicos estruturais e funcionais nestes 25 anos decorridos, através de verificadores que pudessem inferir se o ecossistema em restauração pode ser considerado auto-organizado e funcional, com base na ecologia da restauração. Para isso foi tomado como referência um ecossistema sem histórico de degradação, que apresenta bem as características locais. As áreas avaliadas são localizadas no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG, e fazem parte do Projeto Mata Ciliar (UFLA/CEMIG) de restauração de áreas afetadas pela construção da barragem. Hoje, as áreas contam com 25 anos de restauração, mas os dados coletados neste trabalho são de vinte anos. Este trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro, fez-se uma análise da literatura a respeito da evolução da ciência de restaurar ecossistemas florestais degradados. Logo a seguir foi adicionada uma caracterização das áreas de estudo que são similares para os capítulos subsequentes. No segundo capítulo, fez-se uma avaliação da restauração da alocação de biomassa e carbono no ecossistema em restauração, tendo como base o ecossistema referência. Verificou-se que a vegetação estabelecida acumulou biomassa e carbono em quantidade similar ao ecossistema referência. Entretanto, o carbono acumulado no solo restaurado foi equivalente a 77,8% do acumulado no solo referência, evidenciando um processo mais lento de restauração. No terceiro capítulo, foi aplicada metodologia de monitoramento da restauração ecológica proposta pela Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (SER Internacional). Foram selecionados 24 estimadores propostos para um ecossistema autossustentável, em que se atribuiu uma pontuação, de 1 a 5, tendo como comparação os mesmos estimadores do ecossistema referência. Verificou-se que 75% dos estimadores obtiveram nota 5, mostrando uma evolução para um estado auto-organizado e funcional do ecossistema em restauração. A análise também permitiu inferir sobre os verificadores que apresentaram uma trajetória mais lenta de restauração, bem como os que não conseguiram nota máxima, em função de condições da área. Indicam-se medidas que podem minimizar fragilidades. O método utilizado permitiu inferir sobre o progresso da restauração na área, devendo ser empregado de forma periódica, a fim de revelar a evolução da trajetória de estimadores.

Palavras-chave: Funções ecológicas. Ciclagem de carbono. Reflorestamentos mistos de restauração.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate self-sustainability in a restoration ecosystem. The area was kept degraded for three decades and later silvicultural restoration practices were implemented, since they were implanted 25 years ago, at a time when there was no basis for restoration ecology in Brazil. Nevertheless, this analysis sought to verify the resumption of structural and functional ecological processes in the 25 years that have elapsed, even if the practices have been silvicultural. It was verified attributes that could infer if the ecosystem in restoration could be considered self-organized and functional, based on the ecology of the restoration, for that was taken as reference an adjacent ecosystem, with no history of degradation, that presents well the local characteristics of the region, prior to degradation. The evaluated areas are located around the Camargos Hydroelectric Power Plant, and are part of the Mata Ciliar Project (UFLA / CEMIG), for restoration of areas affected by the construction of the dam, in the 1990s. Today, the areas have 25 restoration, but the data collected in this work are twenty years. This work was divided into three chapters. In the first chapter, an analysis of the literature on the evolution of science of restoring degraded forest ecosystems was carried out. Next, a characterization of the study areas was added, which are similar for subsequent chapters. In the second chapter, an evaluation of the restoration of biomass allocation and carbon stock in the restoration ecosystem was carried out, based on the allocation in the reference ecosystem. It was verified that the established vegetation accumulated biomass and carbon in quantity similar to the reference ecosystem. However, the soil carbon accumulated in the restoration area was equivalent to 77.8% of the reference soil carbon accumulated, evidencing a slower restoration process. In the third chapter, a methodology of analysis and monitoring of ecological restoration proposed by International Society for Ecological Restoration (SER International) was applied. Were selected 24 estimators for a self-sustaining ecosystem, in which a score was assigned on a scale of 1 to 5, comparing the values found in the reference ecosystem. The analysis showed that 75% of the estimators scored five, showing an evolution to a self-organized and functional state. The analysis also allowed to infer on the verifiers that have a slower trajectory of restoration, as well as those that will not get maximum score, depending on the conditions of the area. For this purpose, measures are indicated that can minimize fragility. The method employed allowed to infer about the progress of the restoration in the area and should be used periodically, in order to reveal the evolution of the trajectory of estimators.

Key words: Ecological functions. Carbon cycling. Mixed restoration reforestation.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1-1. Mudanças no entendimento da dinâmica em florestas tropicais, em que a visão unidirecional de uma comunidade clímax é substituída pela possibilidade de inúmeras trajetórias distintas (Fonte: Rodrigues; Brancalion; Isernhagen, 2009)..... 35
- Figura 1-2. Exemplo dos “polígonos da sustentabilidade”, diagrama em forma de teia de aranha proposto por Herweg, Steiner e Slaats (1998), na avaliação da sustentabilidade de áreas florestais (RITCHIE et al., 2001) 43
- Figura 1-3. A “roda da restauração”, modelo gráfico proposto por McDonald et al. (2016) para avaliação de atributos e subatributos (notas de 1 a 5, sendo este considerado autossustentável) em ecossistemas em restauração. 46

Caracterização das áreas de estudo

- Figura a-2. Mapa representativo das áreas em restauração (R1 a R5) e remanescente florestal (FRN), e distribuição das unidades amostrais no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos. Fonte: Faria (2012) 58
- Figura a-3. Vista aérea da barragem da UHE de Camargos sendo construída. À esquerda pode ser vista a utilização de uma porção da área de empréstimo e uma porção de vegetação mantida intacta, sem antropização direta. Fonte: Arquivo Memória Cemig 59
- Figura a-4. Foto aérea mostrando os limites das áreas referência (em azul) e área em processo de restauração (em verde), localizadas no entorno da UHE de Camargos. Fonte: Da autora (2017)..... 63

LISTA DE GRÁFICOS

Capítulo 2

- Gráfico 2-1. Modelo ajustado para estoque de carbono no solo em fragmento florestal conservado, no entorno da UHE de Camargos..... 84
- Gráfico 2-2. Modelo ajustado para estoque de carbono no solo em fragmento florestal em restauração, no entorno da UHE de Camargos..... 85
- Gráfico 2-3. Distribuição da biomassa radicular média dos fragmentos adjacentes à UHE Camargos, com relação à profundidade de coleta e suas respectivas linhas de tendência potencial e equações..... 87

Capítulo 3

- Gráfico 3-1. Representação gráfica das notas atribuídas a verificadores de autossustentabilidade para um fragmento de Floresta Estacional em restauração, com base num ecossistema de referência, no entorno da UHE de Camargos, MG. 115

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

- Tabela 2-1. Fracionamento da serapilheira coletada e especificações do material fracionado em fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos, MG..... 74
- Tabela 2-2. Biomassa seca e carbono alocado no estrato arbóreo ($DAP \geq 5$ cm), densidade arbórea, número de indivíduos e razão entre biomassa radicular e biomassa da estrato arbóreo para fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos, MG..... 77
- Tabela 2-3. Valores de densidade, biomassa seca e estoque de carbono alocados no estrato arbóreo em florestas semidecíduais no estado de Minas Gerais (Dados de Scolforo et al., 2008)..... 78
- Tabela 2-4. Biomassa seca acumulada, teor de carbono e estoque de carbono acumulado na serapilheira, em fragmentos florestais, no entorno da UHE Camargos. 80
- Tabela 2-5. Estatística descritiva de densidade, teor e estoque de carbono no solo em ecossistemas florestais, adjacentes à UHE Camargos, MG. 82
- Tabela 2-6. Modelo exponencial ajustado e medidas de qualidade para estoque de carbono no solo em fragmentos florestais de Floresta Estacional Semidecidual, no entorno da UHE de Camargos, MG. Em que: Est C= estoque de carbono; p= profundidade de solo..... 85
- Tabela 2-7. Biomassa seca e estoque de carbono alocado no sistema radicular encontrados em cada profundidade analisada e no acumulado, num perfil de solo de 0 a 100 cm, em fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos 86

Tabela 2-8. Biomassa seca acumulada, teor de carbono, estoque de carbono acumulado nos compartimentos sistema radicular, estrato arbóreo, serapilheira e solo, em fragmentos florestais, no entorno da UHE Camargos	90
--	----

Capítulo 3

Tabela 3-1. Definição dos princípios, critérios, indicadores e verificadores avaliados no monitoramento de ecossistema em processo de restauração florestal no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG, e suas respectivas fontes de coleta de dados. Em que SB=soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica	104
Tabela 3-2. Parâmetro de classificação dos verificadores e atribuição de notas de verificadores de autossustentabilidade para um fragmento de floresta em restauração, com base num ecossistema de referência.....	109
Tabela 3-3. Atribuição de notas dos verificadores de autossustentabilidade para fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em restauração. Em que FR = fragmento em restauração; FC = fragmento conservado, referência; LI5 = limite inferior da classe 5 estrelas; LI4 = limite inferior da classe 4 estrelas; LI3 = limite inferior da classe 3 estrelas; LI2 = limite inferior da classe 2 estrelas e LI1 = limite inferior da classe 1 estrela, μ = média, σ = desvio padrão da média, FC = fragmento conservado referência, FR = fragmento em restauração, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica, EAA = estrato arbustivo- arbóreo, RN = regeneração natural, H' = diversidade de Shannon- Wiener.....	112
Tabela 3-4. Notas dos verificadores de autossustentabilidade em ecossistema em restauração, baseado em ecossistema referência.	116

Anexos

Tabela An-0-1. Definição das pontuações dos verificadores, definidos pela SER Internacional. Traduzido de McDonald et al., (2016).....	138
Tabela An-0-2. Esquema da restauração 1-5 estrelas no contexto de atributos-chave da autossustentabilidade de ecossistemas, definidos pela SER Internacional. Traduzido de McDonald et al., (2016).....	139
Tabela An-3. Classificação das espécies com relação aos aspectos funcionais ou categorias de facilitação, segundo Pereira (2006).....	141

SUMÁRIO

Capítulo 1 - AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: EVOLUÇÃO DO TEMA NO BRASIL	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT	18
1. INTRODUÇÃO	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 O que vem a ser degradação?.....	21
2.2 Causas da degradação de ecossistemas	22
2.3 Extensão da degradação no Brasil.....	24
2.4 O que é recuperação: conceito e base legal da recuperação.....	25
2.4.1 Evolução dos conceitos	25
2.4.2 Base legal do conceito de recuperação de áreas degradadas.....	28
2.5 Início da recuperação ambiental no Brasil	30
2.6 Evolução das técnicas de restauração no Brasil	32
2.7 Desafios a serem avançados.....	36
2.8 MONITORAMENTO	39
2.8.1 Atributos de um ecossistema restaurado	39
2.8.2 Protocolos de monitoramento	41
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS.....	48
CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS AVALIADAS	56
Histórico geral.....	56
Classificação das áreas deste estudo	62
Capítulo 2 - ALOCAÇÃO DE CARBONO COMO INDICADOR DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA SEMIDECIDUAL AOS 25 ANOS	67
RESUMO.....	67

ABSTRACT	68
1. INTRODUÇÃO	69
2. MATERIAL E MÉTODOS	71
2.1 Descrição da área de estudo	71
2.2 Características estudadas.....	72
2.3 Procedimento de coleta de materiais e análises	72
2.3.1 Inventário do estrato arbóreo	73
2.3.2 Amostras de serapilheira	74
2.3.3 Amostras de solo	75
2.3.4 Amostras de sistema radicular	76
2.4 Análises estatísticas.....	76
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1 Estrato arbóreo	77
3.2 3 Serapilheira	78
3.3 Solo.....	81
3.4 Sistema radicular.....	85
3.5 Análise dos compartimentos em conjunto	89
4. CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS.....	92
Capítulo 3 - AVALIAÇÃO DA AUTOSSUSTENTABILIDADE COM BASE EM ATRIBUTOS DA SER INTERNACIONAL.....	97
RESUMO.....	97
ABSTRACT	98
1. INTRODUÇÃO	99
2. MATERIAIS E MÉTODOS	102
2.1 Escolha das áreas avaliadas.....	102
2.2 Escolha dos critérios utilizados para avaliação	103
2.3 Levantamento dos dados para análise	107

2.4 Atribuição de notas	108
3. RESULTADOS	111
4. DISCUSSÃO	117
4.1 O ambiente físico do ecossistema apresenta condições ideais para suportar populações reprodutivas?.....	117
4.2 As ameaças potenciais à integridade do ecossistema foram eliminadas ou reduzidas?.....	119
4.3 Existe o reestabelecimento de ligações e conectividade para migração e fluxo entre áreas?	120
4.4 Os processos funcionais da comunidade estão sendo restaurados? ...	122
4.5 A integridade da estrutura da comunidade florestal é restaurada?.....	123
4.6 O processo sucessional e a composição de espécies são restaurados?.....	124
4.7 Aplicabilidade do método	127
5. CONCLUSÕES	128
REFERÊNCIAS.....	130
CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DO TRABALHO	136
ANEXOS	138

Capítulo 1 - AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: EVOLUÇÃO DO TEMA NO BRASIL

RESUMO

A recuperação de ecossistemas degradados é prática bastante antiga. As primeiras práticas, no Brasil, foram realizadas em reflorestamentos na Floresta Nacional de Tijuca, no Rio de Janeiro (século XIX); no Parque Nacional do Itatiaia, em Minas Gerais (1954) e em Cosmópolis, São Paulo (1955), sem muitos objetivos ecológicos e científicos pré-estabelecidos. Entretanto, somente a partir da década de 1980 a prática passou a adquirir caráter de ciência, incorporando, de forma incipiente, conhecimentos sobre os processos ecológicos envolvidos na dinâmica de formações naturais remanescentes. Estes conhecimentos evoluíram desde então, de forma significativa, e, atualmente, abrangem seleção de espécies com base em grupos ecológicos e grupos funcionais, buscando compreender a complexidade ecológica e a restauração de aspectos estruturais e funcionais de ecossistemas florestais, por exemplo. Este caráter científico foi possível com o desenvolvimento da chamada ciência da “ecologia da restauração” que busca a prática da “restauração ecológica”. O desenvolvimento da ecologia da restauração proporcionou avanços consideráveis na área, entretanto, a comunidade técnico-científica apresenta muitos desafios que devem ser superados, como, por exemplo, inserção de maior diversidade genética e outras formas de vida além da arbustiva-arbórea, maior conhecimento dos grupos funcionais e seus papéis nos ecossistemas e desenvolvimento de protocolos de monitoramento de projetos de restauração. Além disso, dispositivos legais devem caminhar junto com a atualização do conhecimento científico a respeito da prática, bem como a sociedade deve ter conhecimento da importância de restaurar ecossistemas. O país necessita de subsídios legais ao reflorestador, visto que o custo é individual, mas o benefício da restauração é coletivo, como já acontece em outros países. É preciso, ainda, integrar a teoria, ou seja, o conhecimento científico adquirido, com a prática da restauração em si. Existe, assim, um longo caminho, mas este tem sido percorrido.

Palavras-chave: Restauração ecológica. Ecologia florestal. Funcionalidade de ecossistemas.

ABSTRACT

The recovery of degraded ecosystems is a very old practice. The first practices in Brazil were carried out in reforestation in the National Forest of Tijuca, RJ (19th century); in the National Park of Itatiaia, in MG (1954), and Cosmopolis, SP (1955), without many pre-established ecological and scientific objectives. However, only after the 1980s did the practice become a science, incorporating, in an incipient way, knowledge about the ecological processes involved in the dynamics of the remaining natural formations. This knowledge has evolved significantly since then, and currently covers species selection based on ecological groups and functional groups, seeking to understand the ecological complexity and restoration of structural and functional aspects of forest ecosystems, for example. This scientific character was possible with the development of the so-called "restoration ecology" science that seeks the practice of "ecological restoration". The development of restoration ecology has provided considerable advances in the area, however, the technical-scientific community presents many challenges that must be overcome, such as the insertion of greater genetic diversity and other forms of life besides tree shrub, greater knowledge of the groups and roles in ecosystems, development of monitoring protocols for restoration projects. In addition, legal devices must walk along with updating scientific knowledge regarding practice, and society must be aware of the importance of restoring ecosystems. The country needs legal subsidies to the reformer, since the cost is individual, but the benefit of the restoration is collective, as already happens in other countries. It is also necessary to integrate the theory, that is, the acquired scientific knowledge, with the practice of the restoration itself. There is a long way to go, but this has been done.

Keywords: Ecological restoration. Forest ecology. Ecosystem functionality.

1. INTRODUÇÃO

A recuperação de ecossistemas degradados é prática bastante antiga, havendo exemplos de sua existência na história de diferentes povos, regiões e épocas. Porém, somente recentemente adquiriu caráter de ciência, incorporando conhecimentos sobre os processos ecológicos envolvidos na dinâmica de formações naturais remanescentes, além de práticas essencialmente agrônômicas ou silviculturais (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Muitas tentativas de recuperação de áreas degradadas não encontravam respaldo técnico-científico sobre como proceder (DURIGAN; ENGEL, 2012), incluindo recuperação de matas ciliares, nascentes, áreas de mineração. Muitas práticas consistiam, basicamente, no plantio de espécies arbóreas, a fim de dar um aspecto “verde vegetado” ao ambiente, de forma a tornar a área mais agradável, do ponto de vista visual. Entretanto, ainda assim, cumpriam funções como proteção de recursos hídricos, recobrimento do solo e provisão de habitats.

No Brasil, a prática de recuperação de áreas degradadas parece ter tido início com a recuperação da floresta da Tijuca, no Rio de Janeiro, em 1886 (ALMEIDA, 2016). Entretanto, ela ocorreu sem objetivos ecológicos e científicos pré-estabelecidos (DURIGAN; ENGEL, 2012). Em 1955, em Cosmópolis, SP, há registros de recomposição de um trecho de mata ciliar também desenvolvido na área de floresta atlântica (NOGUEIRA, 1977).

Muitos projetos foram implementados desde então, por exemplo, pela obrigatoriedade estabelecida de reparação de danos pelas atividades de mineração e margens dos corpos d'água em áreas de influência dos reservatórios de usinas hidrelétricas (DURIGAN; ENGEL, 2012). Cita-se como exemplo a recuperação da Usina Hidrelétrica de Itaipu, cujos responsáveis afirmam ter plantado, desde 1979, mais de 44 milhões de mudas (REPOSIÇÃO..., 2016).

Outros exemplos de projetos implementados em áreas de influência dos reservatórios de usinas são os reflorestamentos de restauração implantados pelo convênio UFLA/Cemig a partir de 1990, sendo os primeiros implantados na Usina Hidrelétrica de Camargos, em Nazareno, MG (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 2017; DAVIDE; FARIA, 1997).

O estudo da restauração de florestas no Brasil teve evolução considerável nos últimos anos, desde o final do século XX, com expansão biogeográfica para além de matas ciliares, áreas de mineração, com novos biomas sendo estudados (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009). Este avanço também ocorreu internacionalmente, com aumento de literatura científica a respeito, marcando o início do desenvolvimento das bases científicas da restauração ecológica ou “ecologia da restauração” (DURIGAN; ENGEL, 2012).

O desenvolvimento da prática da restauração de áreas realizada por meio de uma atividade embasada cientificamente agrega uma abordagem mais ecológica com relação à restauração de aspectos estruturais e processos ou aspectos funcionais de um ecossistema florestal, como descreve Society For Ecological Restoration - SER (2004).

A ciência e outras formas de conhecimento são essenciais para a concepção, a execução e o acompanhamento de projetos e de programas de restauração. Ao mesmo tempo, as lições aprendidas a partir de experiências práticas são essenciais para determinar e priorizar as necessidades científicas do campo.

Buscou-se avaliar a evolução da prática da restauração de áreas degradadas no Brasil, seu histórico, embasamento científico e conceitos acerca da ecologia da restauração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura, ou levantamento do estado da arte de determinado assunto, é item relevante no desenvolvimento de todo trabalho científico. Foi realizada revisão de literatura a respeito dos assuntos mais importantes relacionados ao foco deste trabalho, como recuperação e restauração de ecossistemas florestais, monitoramento da restauração e restauração ecológica.

2.1 O que vem a ser degradação?

Os termos degradação, perturbação, destruição e transformação significam desvios do estado normal desejado de um ecossistema intacto. Os significados precisos se sobrepõem e sua aplicação não é sempre clara (SER, 2004).

Um ecossistema é considerado perturbado quando sofreu distúrbios mas mantém resiliência, ou seja, capacidade de autorregeneração com velocidade adequada. Nestes ecossistemas, a simples mitigação dos impactos ambientais causadores da alteração seria suficiente para que processos de regeneração natural recuperem o ecossistema terrestre (CARPANEZZI, 2005; CORRÊA, 2009).

Por outro lado, ocorre a degradação de um ecossistema quando há dano intenso, que leva à perda dessa capacidade de resiliência (CARPANEZZI, 2005) aceitável após distúrbios. Um ecossistema sofre degradação com remoção de toda a vida macroscópica e, geralmente, arruína o ambiente físico (SER, 2004). Portanto, o ecossistema torna-se mais dependente do favorecimento ou intervenção humana para a sua recuperação (CORRÊA, 2009). Estes são os chamados ecossistemas degradados.

Existe, ainda, o termo transformação, que é a conversão de um ecossistema em um tipo diferente de ecossistema ou de uso do solo (SER, 2004).

De forma geral, são utilizados, em maior escala, os termos perturbado e degradado para distinguir uma área danificada com e sem resiliência, respectivamente.

Uma das características referentes à estrutura da comunidade é a estabilidade (LOUZADA; SCHNDWEIN 1997). A estabilidade de um ecossistema é a sua habilidade em manter sua trajetória apesar do estresse, o que denota um equilíbrio dinâmico, mais do que estabilidade. A estabilidade é atingida parcialmente com base na capacidade do ecossistema para ter resistência e resiliência (SER, 2004).

O termo resistência descreve a habilidade de um ecossistema de manter seus atributos estruturais e funcionais em face de estresse e perturbação (SER, 2004). Em outras palavras, é a capacidade de uma comunidade de resistir a modificações ambientais e/ou introduções de espécies, sem alterar suas características ao longo do tempo (LOUZADA; SCHNDWEIN 1997).

Resiliência é considerada a habilidade que tem um ecossistema de recuperar os atributos estruturais e funcionais que sofreram danos por estresse ou perturbação (SER, 2004; LOUZADA; SCHNDWEIN 1997).

O cerrado, por exemplo, é mais resiliente e pouco resistente a distúrbios, quando comparado ao domínio atlântico, que é mais resistente e menos resiliente (LOUZADA; SCHNDWEIN 1997). Um exemplo disso é a ocorrência de fogo em áreas de cerrado, e sua intensa capacidade de rebrotas, permitindo a entrada de novas espécies, mostrando alto grau de resiliência (MEDEIROS; FIEDLER, 2011).

2.2 Causas da degradação de ecossistemas

Na década de 1990, com base no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foram destacados como principais fatores de

degradação ambiental (OLDEMAN, 1994 citado por DIAS; GRIFFITH, 1998) os seguintes:

(a) excesso de pastejo da vegetação (34,5% das áreas mundiais degradadas);

(b) desmatamento ou remoção da vegetação nativa para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas, mineração e urbanização (29,4% das áreas mundiais degradadas);

(c) atividades agrícolas com uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso impróprio de água para irrigação, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo – (28,1%);

(d) exploração intensa da vegetação para fins domésticos, como combustível, cercas etc., expondo o solo à ação dos agentes de erosão (6,8%);

(e) atividades industriais, bioindustriais ou de mineração que causam a poluição do solo (1,2%).

Em 2015, o mesmo órgão (PNUMA) listou como principais causas da destruição ambiental as seguintes:

a) queimadas, que ainda geram gases tóxicos que contribuem para o efeito estufa;

b) desmatamentos, causadores da destruição da biodiversidade, extinção de comunidades indígenas e animais, processos de erosão e empobrecimento do solo, assoreamento dos rios, desertificação e desequilíbrio da cadeia alimentar;

c) poluição (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2015).

Em relação às matas ciliares, as principais causas de degradação citadas são desmatamento para expansão da área cultivada nas propriedades rurais, para expansão de áreas urbanas e para a obtenção de madeira; os incêndios; a extração de areia nos rios e os empreendimentos turísticos mal planejados (MARTINS, 2007).

Em muitas áreas ciliares o processo de degradação é antigo, tendo sido iniciado com o desmatamento para a transformação da área em pastagem. Com o passar do tempo, e em função do grau de uso, a degradação é agravada pela redução da fertilidade do solo devido à exportação de nutrientes pelas culturas ou pela queima de restos vegetais e de pastagens, da compactação e da erosão do solo pelo pisoteio do gado e o trânsito de máquinas agrícolas (MARTINS, 2007).

Outro problema ecológico muito comum são as chamadas invasões biológicas, constituídas pelo estabelecimento de espécies animais ou vegetais originárias de outras regiões - exóticas - em ecossistemas naturais e seu posterior alastramento, de forma que passam a dominar o ambiente, causando danos às espécies originais e ao próprio funcionamento dos ecossistemas, podendo, inclusive, causar a extinção de espécies nativas (PIVELLO, 2011).

Essas espécies invasoras apresentam alta capacidade de crescimento, proliferação e dispersão, sendo capazes de modificar a composição, a estrutura ou a função do ecossistema que se instalam (CRONK; FULLER, 1995). Como exemplo de invasão biológica têm-se as gramíneas africanas em áreas de Cerrado (PIVELLO, 2011).

2.3 Extensão da degradação no Brasil

A degradação de solos e ecossistemas é uma questão mundial, uma vez que 33% dos solos do mundo estão degradados (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2015). No Brasil, a degradação está presente em todos os biomas, sendo mais intensa na Mata Atlântica, devido à maior ocupação humana. Segundo o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, existem, em todo o país, 131.133.694 ha de áreas no Domínio Atlântico em potencial para restauração florestal (MAPA..., 2011).

São áreas consideradas prioritárias para restauração áreas próximas a unidades de conservação; áreas com ocorrência de espécies endêmicas e/ou ameaçadas; áreas que promovam a conectividade entre remanescentes significativos de floresta nativa; áreas de preservação permanente (matas ciliares, topo de morro, com declividade maior que 45°); áreas degradadas, com baixa aptidão agrícola e/ou elevada aptidão florestal (áreas de pastagens abandonadas); áreas que reúnem condições favoráveis ao recebimento de recursos por meio do pagamento por serviços ambientais; áreas com potencial de autorrecuperação (resiliência) e áreas onde já existem projetos de restauração florestal no bioma (MAPA..., 2011).

No bioma Cerrado, em 2011, foram mapeados 99.706.300 ha de áreas desmatadas, segundo o Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015). Considerando as áreas de pastagens brasileiras como um todo, o país tem 172,3 milhões de ha, dos quais se estima que de 50% a 70% estejam com algum nível de degradação (DIAS-FILHO, 2011).

Devido à extensão territorial do país e dos diferentes biomas e fisionomias, existe certa dificuldade em encontrar valores exatos da extensão territorial considerada degradada na literatura.

2.4 O que é recuperação: conceito e base legal da recuperação

2.4.1 Evolução dos conceitos

O conceito original do termo recuperação consistia em um retorno do local degradado a uma forma de utilização, que estivesse de acordo com um plano pré-estabelecido para uso de seu solo (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 1990).

Este conceito implicava numa condição estável de acordo com valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da região a que a área se destina. Dentro da terminologia recuperação existiam, ainda, outros conceitos, como restauração e reabilitação. Seria a estabilização de uma área degradada sem o estreito compromisso ecológico (PRIMACK; RODRIGUES, 2002).

Oficialmente, no Brasil, define-se, pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), que a recuperação é tratada como 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).

A restauração consistia na reposição das exatas condições ecológicas da área degradada ou ao *status quo antes*, como definido no Decreto nº 12.379, de 16/05/1990. Na época, essa atividade era considerada difícil e onerosa, só justificável para ambientes raros, sendo improvável quando o ambiente foi muito degradado, como em áreas mineradas (CORRÊA, 2009).

O termo reabilitação, segundo Primack e Rodrigues (2002), implica no retorno da função produtiva da terra, não do ecossistema, por meio da revegetação, sendo retorno de uma área a um estado biológico apropriado. É a recuperação de, pelo menos, algumas das funções do ecossistema e de algumas espécies originais. A escarificação do substrato de uma área minerada, por exemplo, seria capaz de devolver-lhe a função hidrológica de permitir a infiltração de águas pluviais (CORRÊA, 2009).

Reabilitação é conceituada também como a recuperação apenas de algumas características desejáveis que foram alteradas (CARPANEZZI, 2005). Propõe que seja atribuída à área degradada uma função adequada ao uso humano e restabeleça suas principais características, conduzindo-a a uma situação alternativa estável (IBAMA, 1990).

Existia, ainda, o termo **substituição**, ou criação de um ecossistema novo, totalmente distinto do original, como formação de um lago numa cava de

mineração ou pedreira onde antes era ecossistema florestal, e **abandono**, que poderia levar a um processo normal de sucessão ou a uma degradação futura, se o ecossistema estiver sujeito à erosão ou a outro sujeito debilitante (CARPANEZZI, 2005).

Estes conceitos eram muito utilizados no começo das práticas de recuperação de ecossistemas, mas foram evoluindo internacionalmente, com o desenvolvimento da chamada ecologia da restauração, que consolidou o termo restauração ecológica, a partir de 1980 (DURIGAN; ENGEL, 2012).

A ecologia da restauração é o campo científico que trata daquilo denominado, na prática, de recuperação ambiental (SER, 2004; CARPANEZZI, 2005). A visão científica e o espírito das leis concebem recuperação ambiental como a reaproximação, o quanto for possível, das condições de flora, da fauna, do solo, do clima e dos recursos hídricos que existiam originalmente no local. Assim, uma boa recuperação ambiental é uma recuperação do ecossistema, devendo ser considerada apenas após os distúrbios provocadores de alteração na área terem cessado (CARPANEZZI, 2005).

Restauração ecológica é a prática de restaurar ecossistemas, conduzida por profissionais em projetos específicos (SER, 2004). É uma atividade intencional que busca dar início, facilitando ou acelerando, à recuperação de um sistema (SER, 2004); É uma ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e no funcionamento dos processos ecológicos (ENGEL; PARROTA, 2003).

Um ecossistema pode ser decomposto em estrutura e função, sendo que a restauração ecológica se dá nos atributos funcionais e estruturais de um ecossistema (SER, 2004). A estrutura do ecossistema é compreendida pelos seres vivos, a partir da definição de quem são, como se organizam, como se relacionam, sendo a biodiversidade utilizada como sua medida (CARPANEZZI, 2005). Pode

ser definida, ainda, como a fisionomia da comunidade em respeito à densidade, à estratificação horizontal e à frequência de distribuição de espécies e populações e os tamanhos e as formas de vida dos organismos que compõem estas comunidades (SER, 2004). A função refere-se aos grandes processos básicos de um ecossistema que são ciclo da água, ciclo de nutrientes e fluxo de energia, cada um composto de processos menores (CARPANEZZI, 2005). São atributos dinâmicos, incluindo interações entre organismos e seus ambientes (SER, 2004).

Os processos do ecossistema, ou sua função, fazem com que este seja autogênico, ou seja, tenha a capacidade de autorrenovação. Assim, recuperar um ecossistema significa recuperar estes processos autogênicos ao ponto em que a assistência do restaurador não seja mais necessária (SER, 2004).

2.4.2 Base legal do conceito de recuperação de áreas degradadas

Legalmente, a recuperação de áreas degradadas aparece como um dos princípios da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, artigo 4º), respaldada também pela Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225.

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida”, “impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (...), incumbindo ao Poder Público preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais” (BRASIL, 88).

A Constituição Federal de 1988 contém, inclusive, a obrigatoriedade da recuperação de áreas degradadas por mineração (parágrafo 2º), definindo que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado [...] (BRASIL, 88).

Visando dar diretrizes aos mineradores e às suas atividades de recuperação do meio degradado, o IBAMA (1990) conceituava recuperação como um *retorno do local degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para uso de seu solo*, implicando que uma condição estável seria obtida de acordo com valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da região a que área se destina.

A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), em seu art. 2º, distingue, para seus fins, um ecossistema “recuperado” de um “restaurado”, da seguinte forma:

Art. 2o Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por: [...] XIII - recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;
XIV - restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (BRASIL, 2000).

Ainda, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa e substituiu o Código Florestal, alterada pela Medida Provisória nº 571, de 25 de maio de 2012, trata, em diversos artigos (por exemplo, nos artigos 1º-A, 7º, 17, 41, 44, 46, 51, 54, 58, 61-A, 64, 65 e 66), de ações organizadas entre o setor público e a sociedade civil para promover a recuperação de áreas degradadas.

A legislação ambiental paulista é mais desenvolvida no sentido de direcionar e incorporar os avanços do conhecimento acerca do assunto, como, por exemplo, a Resolução SMA 08, de 07/03/2007 (SÃO PAULO, 2007), que fixa orientações para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas (como plantio de, no mínimo, 80 espécies florestais) e define proporções entre grupos ecológicos e síndromes de dispersão.

Entretanto, muito se questiona se esses instrumentos são positivos ou negativos no objetivo de auxiliar no aumento e na qualidade dos projetos de

restauração. Durigan et al. (2010) acreditam que o rigor de normas brasileiras cerceia a criatividade e a iniciativa do cientista e do restaurador, sendo uma barreira para dificultar descobertas de soluções inovadoras, por regulamentar quantidade de espécies a serem plantadas, proporções de síndromes de dispersão e grupos ecológicos. Para estes autores, a legislação deveria se restringir a impedir introdução de espécies exóticas e dar subsídios ao restaurador.

De forma contrária, Brancalion et al. (2010) afirmam que o instrumento proporcionou, por exemplo, maior quantidade de produção de mudas em viveiros, e maior quantidade de espécies, o que reflete em maior crescimento das ações de restauração no país. Defendem que a diversidade de espécies é chave para a restauração, sendo este um instrumento muito válido para a implantação de projetos de restauração, e que vem sendo atualizado sempre em workshops sobre o assunto.

Com relação ao apoio do governo na prática da restauração, muitos países contam com subsídios governamentais para a restauração, como África do Sul, Japão, China e Estados Unidos (DURIGAN et al., 2010), o que ainda é incipiente no Brasil.

2.5 Início da recuperação ambiental no Brasil

No Brasil, a prática de recuperação de áreas degradadas parece ter tido início com a recuperação da floresta da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, no século XIX (ALMEIDA, 2016). Entretanto, isso ocorreu sem objetivos ecológicos e científicos pré-estabelecidos (DURIGAN; ENGEL, 2012) e visava regularizar o abastecimento público de água (FREITAS et al, 2006).

Em 1954 houve recomposição de parte da mata do Parque Nacional do Itatiaia, visando o plantio de espécies de rápido crescimento (KAGEYAMA; CASTRO, 1989). No ano seguinte, em 1955, em Cosmópolis, SP, há registros de

recomposição de um trecho de mata ciliar, também desenvolvido na área de floresta atlântica (NOGUEIRA, 1977).

Muitos projetos foram implementados desde então, como, por exemplo, pela obrigatoriedade estabelecida de reparação de danos pelas atividades de mineração e margens de dos corpos d'água em áreas de influência dos reservatórios de usinas hidrelétricas (DURIGAN; ENGEL, 2012). Como exemplo cita-se a recuperação da UHE de Itaipu, cujos responsáveis afirmam ter plantado mais de 44 milhões de mudas (REPOSIÇÃO..., 2016).

Nesta fase inicial de recuperação ambiental no país havia pouco conhecimento da dinâmica dos ecossistemas naturais, bem como uma carência de áreas de produção de mudas nativas. Tais fatos levaram à implantação de muitos projetos com pequena variedade de espécies - com utilização das mudas disponíveis - em plantios aleatórios e, muitas vezes, espécies exóticas àqueles ambientes que estavam sendo recuperados (ALMEIDA, 2016).

A partir de 1980, com o desenvolvimento da ecologia de florestas naturais e o início da consolidação da Ecologia da Restauração ou Restauração Ecológica como ciência, surgiram propostas e modelos de restauração que incorporavam conceitos e paradigmas da ecologia florestal (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004), como, por exemplo, o uso combinado de espécies de diferentes grupos ecológicos, pelo estudo da sucessão secundária (KAGEYAMA; CASTRO; CARPANEZZI, 1989; RODRIGUES; GANDOLFI, 1996), e escolha das espécies baseadas em levantamentos florísticos e fitossociológicos de florestas remanescentes na região.

A partir daí, a prática da restauração, embasada cientificamente, se desenvolveu, abordando novas particularidades e buscando superar novos desafios.

2. 6 Evolução das técnicas de restauração no Brasil

Durigan e Engel (2012) agrupam as práticas de restauração de áreas degradadas no Brasil, a partir de 1980, em duas principais demandas que são: 1) recuperação de áreas mineradas e 2) recuperação de matas ciliares. Desta segunda linha, um balanço das pesquisas desenvolvidas nos últimos anos mostra avanços consideráveis, com maior uniformização conceitual, abordagens mais afins e alinhadas com pesquisas internacionais (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Durigan e Engel (2012) salientam que, a partir de 2000, as pesquisas em restauração avançaram para além das matas ciliares e outros biomas, além da Mata Atlântica, como o Cerrado (CORRÊA, 2009; DURIGAN, 2005; DURIGAN; SILVEIRA, 1999); para técnicas além do simples replantio, com condução da regeneração natural (FERRETTI, 2002; VIANI; DURIGAN; MELO, 2010; VIEIRA, 2006) e nucleação (REIS et al., 2003; REIS; TRES; BECHARA, 2006) e outros catalisadores de processos naturais, além da busca exclusiva pela biodiversidade como recuperação de solo (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007), e demais funções ecossistêmicas (KAGEYAMA et al., 2003). Esta nova fase da restauração como ciência é chamada de terceira onda, por Durigan e Engel (2012), ou seja, seria uma terceira fase da restauração.

Nesta terceira fase, ainda destacam-se pesquisas com espécies facilitadoras da restauração (CAMPOS, 2010); papel da avifauna na dispersão e fluxo em áreas em restauração (ANDRADE; ANDRADE, 2000; TRES et al, 2007); semeadura direta (ARAKI; 2005; ISERNHAGEN, 2010); retomada de funções como fixação de carbono em plantios florestais de restauração (NOGUEIRA, 2013; NOGUEIRA JÚNIOR, 2010); uso de indicadores para avaliar a restauração de áreas (GANDARA E KAGEYAMA, 1998; FERREIRA, 2009); propostas para avaliação de áreas em restauração (PEREIRA, 2011; REIS,

2008) e uso da ecologia de paisagem no contexto da restauração (CALEGARI et al, 2010; MARENZI; GERHARDINGER, 2004).

Rodrigues, Brancalion e Isernhagen (2009) elencam as fases gradativas no desenvolvimento das principais iniciativas de recuperação para Mata Atlântica – bioma cujas técnicas são mais desenvolvidas - como destacado a seguir.

✓ **Restauração fundamentada no plantio de árvores, sem critérios ecológicos para escolha e combinação de espécies:** ocorreu até início dos anos 1980. Pouco conhecimento dos processos ecológicos mantenedores da dinâmica de florestas nativas e, principalmente, a aplicação desse conhecimento na definição da restauração florestal, sendo mera aplicação de procedimentos silviculturais. Plantio era uma mistura de espécies nativas e exóticas. O objetivo era a proteção de algum recurso natural ou a mitigação pontual de impacto anteriormente causado. Buscava-se apenas a reconstrução de uma fisionomia florestal.

✓ **Plantio de árvores nativas brasileiras, fundamentado na sucessão florestal:** o uso de espécies exóticas se tornou um problema, pelo fato de muitas se tornarem invasoras de remanescentes naturais. Assim, buscou-se favorecer ao máximo o plantio de espécies nativas brasileiras, bem como espécies de rápido crescimento, como forma de reduzir custos com manutenção da área, pelo recobrimento rápido da área. Linhas de plantio com alternância de espécies de cada grupo ecológico sucessional, ou núcleos de diversidade, com espécies climáticas circundadas por espécies pioneiras eram adotadas.

Não havia preocupações com diversidade a ser utilizada em cada grupo sucessional, resultando em plantios de baixa riqueza de espécies. Posteriormente, foram utilizadas linhas de preenchimento (espécies com rápido crescimento e boa cobertura de copa) e linhas de diversidade (espécies fundamentais para garantir a perpetuação da área plantada, já que irão gradualmente substituir as espécies do grupo de preenchimento quando essas entrarem em senescência).

✓ **Restauração baseada na sucessão determinística, buscando reproduzir uma floresta definida como modelo:** buscava copiar a sucessão de uma floresta tida como modelo, bem como sua estrutura e florística. A meta era criar um modelo de restauração florestal que resultasse, num curto período, numa floresta pronta, com elevada diversidade. As mudas eram colocadas em campo em combinações sucessionais, distribuídas em módulos pré-estabelecidos (CRESTANA et al, 2004).

Acreditava-se que a comunidade clímax seria atingida de forma ordenada e previsível, e a simples presença dos grupos sucessionais no reflorestamento já bastaria para que o sistema se autoequilibrasse e se tornasse sustentável. Esta fase é chamada, pelos autores, de “paradigma clássico” da restauração florestal.

✓ **Abandono da cópia de um modelo de floresta madura e foco na restauração dos processos ecológicos responsáveis pela reconstrução de uma floresta:** o processo sucessional passou a ser entendido como um produto de eventos estocásticos que não operavam num sentido único, não conduzindo a área restaurada a um único clímax, mas sim criavam inúmeras possibilidades de trajetórias, sendo que o clímax estaria em constante mudança (Figura 1-1).

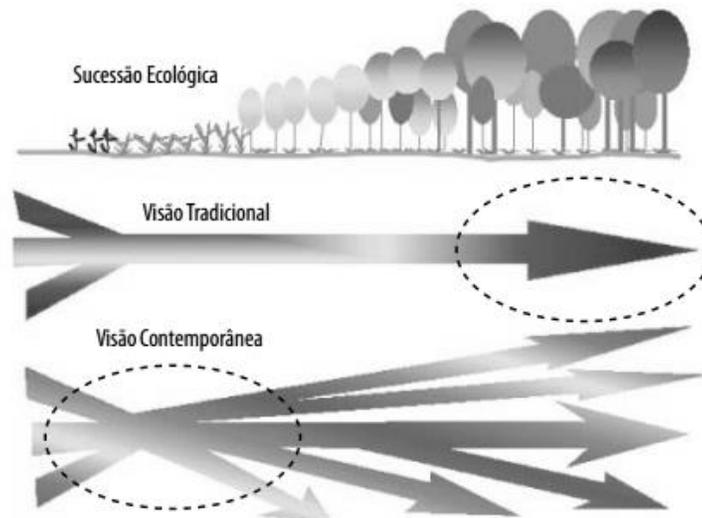


Figura 1-1. Mudanças no entendimento da dinâmica em florestas tropicais, em que a visão unidirecional de uma comunidade clímax é substituída pela possibilidade de inúmeras trajetórias distintas (Fonte: Rodrigues; Brancalion; Isernhagen, 2009)

A preocupação deixa de ser apenas a estrutura da comunidade, com as características florísticas e fisionômicas perdendo o foco e a restauração de processos ecológicos que levem à construção de comunidades vegetais que se autorregulam ganhando ênfase. Assim nasce a restauração ecológica.

A restauração ecológica consiste de atividade intencional que busca dar início, facilitando ou acelerando a recuperação de um sistema no que tange aos aspectos relacionados à saúde, à integridade, ao equilíbrio e à sustentabilidade (SER, 2004). Um ecossistema pode ser decomposto em estrutura e função; a restauração ecológica se dá nos atributos funcionais e estruturais de um ecossistema.

A restauração perde a pretensão de refazer uma floresta exatamente igual à que existia antes, mas, sim, colocar no campo uma composição

de espécies, de forma tal que forneça condições para que essa nova comunidade tenha maior probabilidade de se desenvolver e se autorrenovar, com maior probabilidade de ser sustentável. Assim, a restauração busca a recuperação de parte da biodiversidade local e a facilitação dos processos biológicos relacionados à manutenção do ecossistema florestal, por meio do plantio, condução e manejo de espécies nativas (KAGEYAMA et al., 2003).

2.7 Desafios a serem avançados

As etapas posteriores foram classificadas segundo os mesmos autores (RODRIGUES, BRANCALION E ISERNHAGEN, 2009), sendo acrescentadas, ainda, pontuações feitas por Durigan e Engel (2012) como desafios a serem superados nos programas e projetos de restauração florestal.

✓ **Incorporação do conceito de diversidade genética na restauração ecológica:** Durigan e Engel (2012) salientam que muitos ecossistemas degradados constituem fragmentos de áreas com populações reduzidas, de forma que sua viabilidade é comprometida. Nessas áreas há alto grau de endogamia e queda na diversidade genética. Ressaltam, ainda, que existe uma lacuna com relação ao conhecimento da estrutura genética das populações de plantas que seriam fonte de semente para programas de restauração.

Deve-se buscar utilizar sempre uma alta diversidade genética regional (alto pool gênico) para a produção de mudas ou semeadura direta, bem como favorecimento do potencial de autorrecuperação local como alternativa de conservação do material genético regional (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Esta alta diversidade genética é conseguida mediante a realização de coletas de sementes a partir de um número mínimo de indivíduos, como, por

exemplo, coletar sementes de 25 matrizes, ou mais, e a partir de uma distância mínima entre indivíduo (SEBBENN et al, 2006).

O favorecimento do potencial de autorrecuperação local consiste em induzir e conduzir a regeneração natural por meio de brotação de caules e raízes, expressão do banco e propágulos da chuva de sementes (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

✓ **Inserção de outras formas de vida no processo de restauração:** além da arbórea, que é a forma de vida mais enfocada, se não a única, Durigan e Engel (2012) ressaltam a importância de mais estudos sobre multiplicação e reintrodução de ervas, arbustos e epífitas. Além de contribuírem para a diversidade da área, muitas lianas são consideradas espécies-chave, por oferecerem recursos a polinizadores e dispersores num período de escassez de oferta por espécies arbóreas (ENGEL; FONSECA; OLIVEIRA, 1998).

✓ **Inserção do conceito de grupos funcionais na restauração, baseada no conhecimento da biologia das espécies:** saber simplesmente quantas espécies devem ser plantadas não é suficiente para que um projeto de restauração obtenha êxito. Em condições naturais, como ressalta Pereira (2006), o número de indivíduos de cada espécie na floresta resulta não apenas de uma complexa interação entre as próprias espécies vegetais e animais da comunidade, mas também de suas interações com as condições topográficas, edáficas e climáticas locais, e do histórico de perturbações naturais e antrópicas locais.

Pesquisas devem enfatizar grupos funcionais essenciais para o funcionamento de ecossistemas (DURIGAN; ENGEL, 2012), o que é conseguido mediante estudo das características ecológicas das espécies, ou melhor, de agrupamentos de espécies segundo comportamentos similares, os grupos funcionais (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Pereira (2006) agrupou espécies arbustivo-arbóreas em grupos funcionais, combinando algumas características consideradas importantes, a fim de facilitar a

escolha de espécies para plantios de restauração posteriores. As características utilizadas foram as seguintes: grupo ecológico (pioneira, clímax exigente de luz e clímax tolerante à sombra); atração à fauna (dispersão zoocórica, polinização zoófila, produtoras de alimento para fauna) e ativação da sucessão (capazes de colonizar solos alterados; rápido crescimento; copa ampla, fixação biológica de nitrogênio; associações com micorrizas).

Cianciaruso, Silva e Batalha (2009) mostraram algumas medidas de diversidade funcional, destacando a importância de se analisar a funcionalidade das espécies, como um novo enfoque na avaliação de uma área em restauração.

✓ **Visão ecossistêmica do processo de restauração ecológica:** as práticas de restauração devem buscar um nível mais elevado de equilíbrio ecológico para que se reconstituam comunidades naturais autossustentáveis no tempo, ricas em espécies nativas. Entretanto, devido à diversidade de espécies e à complexidade de ecossistemas, o enfoque prático dessa visão ecossistêmica se torna um grande desafio (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Neste contexto, seriam avaliados estudos de ciclos biogeoquímicos, incorporação de matéria orgânica, retenção e redistribuição hídrica, por exemplo (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Durigan e Engel (2012) salientam, ainda, a necessidade de se conhecer filtros ecológicos que impedem ou dificultam o estabelecimento de espécies nos ambientes, o que exige um manejo adaptativo, no sentido de interferir, minimizando estes filtros, ao longo da trajetória do ecossistema.

Outro desafio importante a ser superado é a inserção de aspectos econômicos e sociais no contexto da restauração, como salientam Durigan e Engel (2012). Um exemplo dessa inserção é a possibilidade de implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) em pequenas propriedades ou regiões com poucos recursos, como medidas de restauração. Os SAFs, quando utilizados como estratégia de

restauração, têm o desafio de facilitar a adoção de práticas restauradoras de ecossistemas e de possibilitar sistemas de produção ecologicamente equilibrados, que contribuam para a recuperação, de forma global (AMADOR, 2014).

Neste contexto, um programa que mostrou resultados interessantes no Brasil é o Projeto Policultura no Semiárido, que capacita pequenos agricultores para desenvolverem sua própria agricultura da forma mais próxima ao sustentável, conferindo segurança alimentar, convívio harmônico com o meio ambiente, combate à desertificação, aumento de renda e qualidade de vida e fixação do homem no campo (VENTURA; ANDRADE, 2011).

2.8 MONITORAMENTO

2.8.1 Atributos de um ecossistema restaurado

A SER (2004) define nove atributos que indicam se a restauração foi atingida, não sendo, portanto, necessária a expressão de todos os atributos para admitir que um ecossistema em avaliação tenha de fato atingido a restauração. Os atributos são listados a seguir.

1) O ecossistema restaurado contém um conjunto característico de espécies que ocorrem num ecossistema de referência, provendo uma estrutura adequada.

Sabe-se, de forma geral, que quanto maior a diversidade de um ecossistema, maior sua estabilidade, maior resistência e maior resiliência (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009);

2) O ecossistema consiste de espécies nativas em sua maior extensão, sendo também permitidas espécies exóticas, ruderais e segetais.

Espécies ruderais são plantas que colonizam áreas perturbadas e as segetais tipicamente crescem junto com espécies cultivadas (SER, 2004).

Espécies exóticas são permitidas, desde que cumpram alguma função específica para o restabelecimento do ecossistema. Deve-se ter cuidado com espécies invasoras no entanto, como salientado anteriormente, visto que elas podem causar prejuízos ao processo de restauração;

3) Todos os grupos funcionais necessários para o desenvolvimento contínuo e a estabilidade do ecossistema são representados ou os grupos faltantes têm potencial de colonizar por meios naturais.

4) O ambiente físico é capaz de sustentar suficientes populações reprodutivas de espécies para a sua estabilidade continuada.

5) O ecossistema restaurado, aparentemente, funciona de forma normal para seu estágio ecológico de desenvolvimento e não há sinais de disfunção.

6) O ecossistema é integrado a uma ampla paisagem ou matriz ecológica, interagindo através de fluxos e trocas bióticas e abióticas.

7) Ameaças potenciais da paisagem ao ecossistema foram eliminadas ou reduzidas ao máximo possível.

8) O ecossistema restaurado é suficientemente resiliente para suportar eventos estressantes normais e periódicos no ambiente local, servindo para manter a integridade do ecossistema.

9) O ecossistema é autossustentado no mesmo grau que seu(s) ecossistema(s) de referência(s), tendo o potencial de persistir sob as condições ambientais existentes. Sua diversidade, estrutura e funcionamento podem mudar como parte do desenvolvimento normal de um ecossistema, podendo flutuar em resposta a estresses periódicos normais e perturbações ocasionais. Como em qualquer ecossistema intacto, a composição de espécies e atributos pode evoluir conforme condições ambientais.

De forma contrária, Ehrenfeld (2000) salienta a necessidade do uso de objetivos realistas no processo de restauração florestal. Ele defende a avaliação de um conjunto de atributos que tenham sido previamente estabelecidos como

metas específicas para o projeto em avaliação, afirmando não haver paradigmas ou contextos para definir as metas de restauração. O autor defende um realismo, admitindo diferenças entre um ecossistema funcionalmente criado (restaurado) e um ecossistema original e natural.

2.8.2 Protocolos de monitoramento

Visto a importância do monitoramento de áreas em restauração, surge a necessidade do desenvolvimento de protocolos sistemáticos para monitoramento que consigam captar os atributos (aspectos de estrutura e função do ecossistema) considerados importantes e que retratem a trajetória do processo da restauração do ecossistema.

Siqueira e Mesquita (2007) defendem que a ausência de uma prática de monitoramento sistemático de áreas restauradas faz com que se perca a oportunidade de aumentar o conhecimento sobre os processos e fatores envolvidos no restabelecimento de comunidades vegetais e animais. Uma das principais dificuldades é a falta de consenso com relação aos indicadores mais adequados para a avaliação do sucesso da restauração.

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de criar protocolos de monitoramento desses ecossistemas em restauração. Alguns serão descritos a seguir.

a) Herweg, Steiner e Slaats (1998) e Ritchie et al. (2000)

Estes trabalhos buscavam oferecer um guia para a avaliação de monitoramento de áreas, visando à sua sustentabilidade (Ritchie et al., 2000) com base na terminologia de critérios e indicadores (C&I) (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION - ITTO, 1992). Estes guias eram voltados para a sustentabilidade na produção de florestas manejadas.

A sigla C&I representa uma abreviação para a completa hierarquia de princípios, critérios, indicadores e verificadores. Os princípios referem-se ao estabelecimento de ideais e formam o elo a que critérios, indicadores e verificadores estão submetidos (RITCHIE et al., 2000) (Exemplo: A integridade do ecossistema como um todo é mantida).

O critério é, geralmente, expresso pelo estado ou pela condição em que certo aspecto da floresta deve estar, ou um processo que é necessário no local (RITCHIE et al., 2001). (Exemplo: As fontes de água são protegidas).

Indicadores são definidos como algo específico que pode ser avaliado em relação ao critério, enquanto verificadores expressam quais informações necessitam ser coletadas (RITCHIE et al., 2000) (Exemplos: existência de mata ciliar protegendo região de nascente; área ao redor de uma nascente com cobertura arbórea, respectivamente).

Herweg, Steiner e Slaats (1998) propuseram o uso de gráficos em forma de teias de aranha (Figura 1-2), designando a cada um dos raios um tema do conjunto de C&I (usualmente no nível de critério). Considerando que o centro exato tem um valor zero (isto é, muito insatisfatório) e a borda de fora tem um valor 10 (excelente), as pontuações aproximadas de cada critério podem ser marcadas nos "raios" ou "teias de aranha". Quando uma linha é traçada ligando todas as pontuações, surge uma imagem que apresenta as tendências das áreas "fortes" e "fracas". Isto não é útil somente em uma avaliação individual, mas

também para fornecer uma imagem das tendências de mudança na sustentabilidade ao longo do tempo, caso seja repetida todos os anos.



Figura 1-2. Exemplo dos “polígonos da sustentabilidade”, diagrama em forma de teia de aranha proposto por Herweg, Steiner e Slaats (1998), na avaliação da sustentabilidade de áreas florestais (RITCHIE et al., 2001)

b) Pereira (2011)

Este autor propõe um procedimento para avaliar áreas em restauração florestal na bacia do baixo rio Grande estruturado segundo a hierarquia de princípios, critérios, indicadores e verificadores (C&I), adaptado de Ritchie et al (2000) para manejo de florestas.

Foram estabelecidos 22 verificadores para avaliação de três áreas classificadas como “em recuperação” e, pelo método de análise hierárquica (MAH), os verificadores foram ponderados segundo sua importância relativa nas comunidades.

O trabalho tinha como base nove áreas de referência, em que foram estabelecidos os intervalos de referência, segundo os quais os verificadores eram classificados em conforme (nota 1), parcialmente conforme (nota 0,7) e não conforme (nota 0). A nota final da vegetação era obtida somando-se as notas dos verificadores, ponderadas pelos seus pesos relativos.

No final, os reflorestamentos eram classificados, segundo suas notas, nas seguintes classes de autossustentabilidade: autossustentável ou restaurada, em restauração e não restaurada.

c) Reis (2004)

Este autor buscou selecionar variáveis para elaborar um índice para avaliação de restauração de reflorestamentos ciliares de diferentes idades (de 1 a 15 anos), no entorno do Reservatório de Volta Grande e em tributários do rio Grande, nos municípios de Água Comprida, MG) Miguelópolis, SP e Igarapava, SP.

A avaliação consistiu da mensuração de variáveis estruturais (número de espécies e indivíduos plantados encontrados na avaliação, altura, área basal, número de espécies e indivíduos regenerantes) e atributos do solo (serrapilheira, variáveis químicas e texturais).

Por meio de análise multivariada (função discriminante) foram selecionadas as variáveis, numa pré-classificação, em recuperadas ou não recuperadas, atribuindo-se notas às variáveis mensuradas, comparadas a um reflorestamento ciliar referência. A função discriminante selecionou, como

melhores variáveis para monitoramento, o número de espécies plantadas encontrado no momento da avaliação; a área basal dos indivíduos plantados avaliados; o número de espécies; o número de indivíduos regenerantes; a serapilheira e a CTC do solo.

d) McDonald et al. (2016) para a SER Internacional

Membros da SER Internacional desenvolveram uma metodologia de monitoramento com base na avaliação das seguintes categorias de atributos-chave: ausência de ameaças, condições físicas, composição de espécies, diversidade estrutural, funcionalidade do ecossistema e fluxos externos. Tais atributos são muito relacionados a nove atributos que a SER prega como necessários num ecossistema autossustentável (SER, 2004), já citados acima.

Dentro de cada atributo-chave desta metodologia de monitoramento são incorporados subatributos correlacionados, como, por exemplo, atributo fluxo externo, sendo seus subatributos fluxo gênico, ligação com habitats e fluxos de paisagem. A escolha dos atributos é flexível e se dá em função de peculiaridades do projeto que está sendo avaliado.

Posteriormente, é atribuída uma pontuação para cada subatributo de acordo com um modelo de notas de 1 a 5 (*five star model*), com base em valores dos subatributos de um(s) ecossistema(s) referência(s), permitindo, assim, uma avaliação do projeto em restauração. Quando o subatributo recebe a pontuação 5, infere-se que sua trajetória adquiriu caráter autossustentável. Esse nível é o objetivo em que todos os subatributos devem caminhar.

Por fim, os dados são apresentados num gráfico em forma de radar (Figura 1-3), de forma que se pode visualizar a nota de cada verificador avaliado e monitorado.

Esta metodologia é robusta por considerar aspectos estruturais e funcionais de um ecossistema em restauração, utilizar ecossistemas referências para nortear a análise e ser flexível para permitir a escolha dos melhores subatributos em função do objetivo da restauração e da disponibilidade de dados. O gráfico proposto permite visualização rápida e bom entendimento, mesmo para leigos. Além de tudo, a proposta é feita por um órgão especializado na ciência da restauração, e conta com experts de várias partes do mundo.

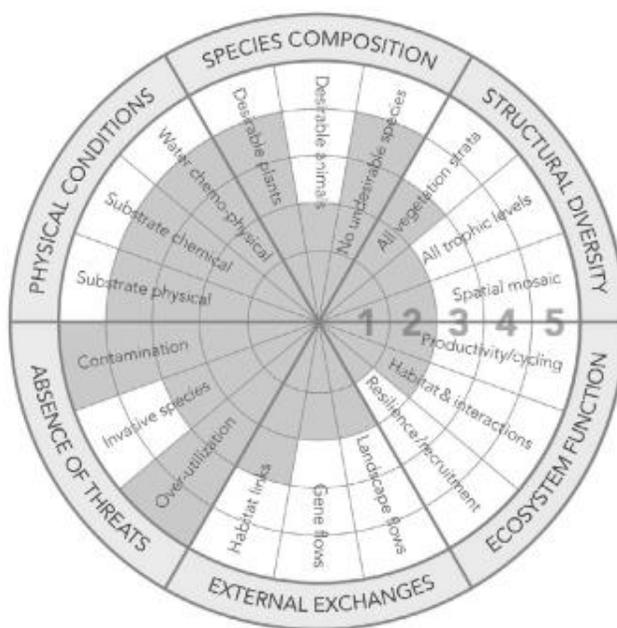


Figura 1-3. A “roda da restauração”, modelo gráfico proposto por McDonald et al. (2016) para avaliação de atributos e subatributos (notas de 1 a 5, sendo este considerado autossustentável) em ecossistemas em restauração.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela restauração de ecossistemas é atividade antiga, entretanto, sua abordagem científica é recente. Muito se evoluiu desde sua abordagem como ciência, entretanto, muitos desafios ainda devem ser superados, sempre com o foco na restauração de processos ecológicos e na integridade do ecossistema, respeitando a diversidade de ambientes e as condições existentes. Nesse sentido, as pesquisas buscam preencher tais lacunas.

Muito ainda deve ser desenvolvido para diferentes biomas (campos, cerrado, caatinga), visto que temos, hoje, maior desenvolvimento de práticas para área sob o domínio atlântico. Muitos desafios ainda devem ser superados com relação a técnicas e a diferentes abordagens ecológicas, como as citadas anteriormente (aumento da diversidade genética, inserção de mais formas de vida, uso da ecologia da paisagem na restauração, entre outros), bem como inserção de aspectos sociais e econômicos (uso de SAFs na restauração de pequenas propriedades, por exemplo).

A legislação deve caminhar no mesmo sentido da evolução da prática como ciência, com regulamentação de práticas mais eficientes, com subsídios governamentais para incentivar o proprietário restaurador - a exemplo do Pagamento por Serviços Ambientais, PSA -, visto que o custo é individual, mas o benefício é coletivo, como já acontece em outros países.

É preciso, ainda, integrar a teoria, ou seja, o conhecimento científico adquirido em instituições de pesquisa e universidades com a prática da restauração em si, realizada por grandes órgãos, devido a, por exemplo, exigências legais, como no caso do reflorestamentos no entorno da Usina de Itaipu.

Apesar do avanço, o entendimento sobre processos ecológicos envolvidos na restauração ainda são insuficientes, apesar do longo caminho no sentido de melhorias. A ciência da restauração ecológica está em sua trajetória evolutiva.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S. de. Histórico e tendências atuais da recuperação ambiental. In: _____. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3. ed. rev. e atual. Ilhéus: Editus, 2016. p. 17-22.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, jul./ago. 2007.

AMADOR, D. B. Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais. **Scribd**, San Francisco, 20014. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/71755054/Restauracao-de-Ecossistemas-com-Sistemas-Agroflorestais>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

ANDRADE, M. V. G.; ANDRADE, M. A. Uso de medidas para atração de avifauna na reabilitação de áreas alteradas por mineração em Mariana, Minas Gerais. In: STRAUBE, F. (Ed.). **Ornitologia brasileira no século XX**. Curitiba: UNISUL, 2000. p. 271-278.

ARAKI, D. F. **Avaliação da sementeira a lanço de espécies florestais nativas para recuperação de áreas degradadas**. 2005. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BELLOTTO, A. et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: Instituto Bioatlântica, 2009. Cap. 3, p. 126-146.

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

BRASIL. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida

Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

_____. Lei nº 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.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2000.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. 292 p.

CALEGARI, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, set./out. p. 871-880, 2010.

CAMPOS, R. P. **Espécies lenhosas pioneiras apresentam diferentes potenciais de facilitação da regeneração natural em pastagens abandonadas?** 2010. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M.; SILVA, V. P. da (Ed.). **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. p. 27-45.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 93-103, jul./set. 2009.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Usinas CEMIG**. Belo Horizonte: CEMIG, 2017. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/usinas.aspx>. Acesso em: 15 maio 2017.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado**: manual para revegetação. 2. ed. Brasília: Universa, 2009. 174 p.

CRESTANA, M. S. M. **Florestas: sistemas de recuperação com essências nativas**. Campinas: CATI, 1993. 60 p.

CRESTANA, M. de S. M. (Org.). **Florestas: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislações**. 2. ed. Campinas: CATI, 2004. 216 p.

CRONK, Q. C. B.; FULLER, J. L. **Plant invaders: a people and plants conservation manuals**. London: Chapman & Hall, 1995. 291 p.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos Voluntários...** Viçosa: SOBRADE, 1997. p. 462-473.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém: Do Autor, 2011. 173 p.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. de. (Org.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1998. p. 1-7.

DURIGAN, G. et al. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas? **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 471-485, 2010.

DURIGAN, G. Restauração da cobertura vegetal em região de domínio do cerrado. In: _____. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. p. 103-118.

DURIGAN, G.; ENGEL, L. V. Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S. V. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. p. 41-60.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 135-144, dez. 1999.

EHRENFELD, J. G. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. **Restoration Ecology**, Malden, v. 8, n. 1, p. 2-9, Mar. 2000.

ENGEL, V. L.; FONSECA, R. C. B.; OLIVEIRA, R. E. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF, Piracicaba**, v. 12, n. 32, p. 43-64, dez. 1998.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. Cap. 1, p. 3-26.

FERREIRA, W. C. **Estoque de biomassa e carbono e parâmetros indicadores de recuperação de mata ciliar**. 2009. 163 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FERRETTI, A. R. Modelos de plantio para a restauração. In: GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. S. **A restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. p. 35-43.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Status of the world's soil resources**. Rome: FAO, 2015. 648 p.

FREITAS, S. R.; NEVES, C. L.; CHERNICHARO, P. Tijuca National Park: two pioneering restorationist initiatives in Atlantic forest in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 4, p. 975-982, Nov. 2006.

GANDARA, F. B.; KAGEYAMA, P. Y. Indicadores de sustentabilidade de florestas naturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 79-84, abr. 1998.

HERWEG, K.; STEINER, K.; SLAATS, J. **Sustainable land management: guidelines for impact monitoring (Workbook and Toolkit)**. Berne: Centre for Development and Environment, 1998. 79 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 95 p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION - ITTO. Criteria for the measurement of sustainable tropical forest management. **Policy Development Series**, Yokohama, n. 3, p. 1-8, 1992.

ISERNHAGEN, I. **Uso de semeadura direta de espécies arbóreas nativas para restauração florestal de áreas agrícolas, sudeste do Brasil**. 2010. 105 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

KAGEYAMA, P. Y. (Org.). et al. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 340 p.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantação de espécies arbóreas nativas. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 83-93, jan./dez. 1989.

KAGEYMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A.; CARPANEZZI, A. A. Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar à sucessão secundária. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1989. p. 130-143.

LOUZADA, J. N. C.; SCHLINDWEIN, M. N. **Ecologia**. Lavras: Gráfica Universitária, 1997.

MAPA de áreas potenciais para restauração florestal. **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica**, Recife, 2011. Disponível em: <<http://www.pactomataatlantica.org.br/publicacoes>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

MARENZI, R. C.; GERHARDINGER, L. C. Landscape ecology and effects of habitat fragmentation on biodiversity of coastal environments: case study of Morraria da Praia Vermelha, SC, Brazil. In: INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, 8., 2006, Itajaí. **Proceendigs...** Itajaí: Univali, 2006. p. 1156–1160.

MARTINS, S. V. Recuperação de matas ciliares. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2007. 255p.

McDONALD, T. et al. **International standards for the practice of ecological restoration**. Washington: Society for Ecological Restoration, 2016. 48 p.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Heterogeneidade de ecossistemas, modelos de desequilíbrios e distúrbios. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 4-11, abr. 2011.

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

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Brasília: MMA, 2015. 16 p. (Relatório Técnico). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/62-cerrado>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

NOGUEIRA JÚNIOR, L. R. **Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração.** 2010. 94 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NOGUEIRA, J. C. B. **Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas.** São Paulo: Instituto Florestal, 1977. 71 p. (IF Boletim Técnico, 24).

NOGUEIRA, M. O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação.** 2013. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

PEREIRA, G. M. **Proposta de procedimento para avaliação da autossustentabilidade em projetos de restauração florestal.** 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PEREIRA, I. M. **Estudo da vegetação remanescente como subsídio à recomposição de áreas ciliares nas cabeceiras do rio Grande, Minas Gerais.** 2006. 278 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PIVELLO, V. R. Invasões biológicas no Cerrado Brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. **Ecologia.Info**, São Paulo, n. 33, 2011. Disponível em: <<http://ecologia.info/cerrado.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação.** Londrina: Primack & Rodrigues, 2002. 328 p.

REIS, A. et al. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 28-36, abr. 2003.

REIS, A.; TRES, D. R.; BECHARA, F. C. A nucleação como novo paradigma na restauração ecológica: "espaço para o imprevisível" In: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS COM ÊNFASE EM MATAS CILIARES E WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO: AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO E APRIMORAMENTO DA RESOLUÇÃO SMA 47/03, 2006, São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto de Botânica de São Paulo, 2006. p. 104-121, 2006.

REIS, D. N. dos. **Desenvolvimento de um índice para avaliação da recuperação de ecossistemas ciliares**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

REPOSIÇÃO florestal. **Itaipu Binacional**, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/index.php>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

RITCHIE, B. et al. **Criteria and indicators of sustainability in community managed forest landscapes: an introductory guide**. Bogor: CIFOR, 2000. 104 p.

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, 2009. 256 p.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 4-15, 1996.

RODRIGUEZ, L. C. E. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 9-22, abr. 1998.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Resolução nº 08/2007, de 7 de março de 2007. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 08 mar. 2007.

SEBBENN, A. M. et al. Sistema de reprodução em espécies arbóreas tropicais e suas implicações para a seleção de árvores matrizes para reflorestamentos

ambientais. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. D. (Org.). **Pomar de sementes de espécies florestais nativas**. Curitiba: FUPEF, 2006. p. 93-138.

SIQUEIRA, L. P. de; MESQUITA, C. A. B. **Meu pé de Mata Atlântica: experiências de recomposição florestal em propriedades particulares no Corredor Central**. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2007. 188 p.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SER. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

TRES, D. R. et al. Poleiros artificiais e transposição de solo para a restauração nucleadora em áreas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 312-314, jul. 2007.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **The emissions gap reports**. Geneva: UNEP, 2015. 15 p. Disponível em: <http://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR_2015_Presentation.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

VENTURA, A. C.; ANDRADE, J. C. S. Policultura no semiárido brasileiro. **Fiel Actions Science Reports**, Washington, n. 3, p. 1-10, 2011.

VIANI, R. A. G.; DURIGAN, G.; MELO, A. C. G. de. A regeneração natural sob plantações florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade? **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 533-552, jul./set. 2010.

VIEIRA, D. L. M. **Regeneração natural de florestas secas: implicações para a restauração**. 2006. 114 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS AVALIADAS

Histórico geral

As áreas estudadas nesta tese são de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), estando situadas no entorno da Usina Hidrelétrica (UHE) de Camargos. Esta usina começou a ser construída em 1956, tendo iniciado suas atividades em 1960 e sido inaugurada em 1961 (Figura a-1). Tem uma barragem de 608 m de extensão e altura máxima de 36 m, com duas unidades geradoras e uma potência instalada de 45 MW (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 2017).



Figura a-1. Inauguração da UHE de Camargos pelo governo do estado, no comando de Bias Fortes, em 1961. Fonte: Arquivo Memória Cemig

Durante a construção da UHE de Camargos, uma região de transição entre floresta estacional semidecidual e cerrado, localizada a montante e a jusante da

barragem, foi perturbada e degradada de diferentes formas, originando um mosaico de áreas bastante antropizadas.

Em 1990, um convênio foi firmado entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a concessionária de geração de energia mineira, chamado “Projeto Mata Ciliar”. Este convênio tinha como objetivo o reflorestamento ciliar no entornos de usinas. Os primeiros reflorestamentos foram realizados nas áreas do entorno da UHE de Camargos.

Existem, no entorno da usina, seis ecossistemas florestais, assim divididos em função de um “mosaico” de antropização e uso de terra. Um desses ecossistemas consiste de um fragmento de floresta estacional semidecidual sem antropização direta; os outros cinco são áreas com antropização direta, com histórico de perturbação ou degradação.

As áreas classificadas como perturbadas consistem de três fragmentos com histórico de uso de solo com distúrbios sofridos, sendo estes de moderados a leves, com remoção da vegetação original, sem intervenção em solo (FARIA, 2012). São eles um fragmento considerado perturbado de 5,01 há, que foi utilizado como depósito de material na época da construção da UHE; outro fragmento de 1,18 ha, sem histórico de construção de obra ou qualquer trânsito de veículos e uma área de campo de 0,94 ha.

As áreas classificadas como degradadas sofreram supressão da vegetação, perda de camada fértil de solo, horizonte C exposto e resiliência afetada (FARIA, 2012), sendo utilizadas como área de empréstimo (2,79 ha) e aeroporto (4,29 ha). Estas cinco áreas (três perturbadas e duas degradadas) foram alvo do reflorestamento realizado pelo projeto Mata Ciliar (Figura a-2).

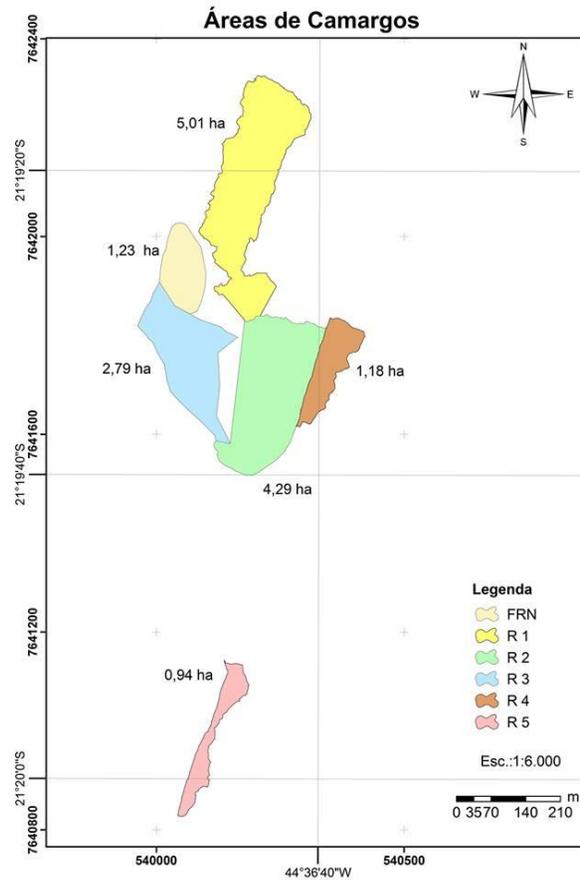


Figura a-2. Mapa representativo das áreas em restauração (R1 a R5) e remanescente florestal (FRN), e distribuição das unidades amostrais no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos. Fonte: Faria (2012)

Áreas de empréstimo são destinadas à exploração e o volume de solo retirado depende da demanda da barragem. Como informa Faria (2012, p.44),

[...] na operação da construção da UHE Camargos foi feita a remoção da camada de solo com equipamentos pesados e, o solo remanescente apresentou-se compactado, com um coeficiente de infiltração muito baixo, formando bacias bastante susceptíveis à erosão, além de possuir uma fertilidade muito baixa.

Na área com histórico de empréstimo de solo área foi retirado grande volume de solo (5 m do perfil, na década de 1950 e cerca de 40.000 m³, na década de 1990). Neste intervalo de tempo, o solo permaneceu totalmente exposto, com intensificação dos processos erosivos, impossibilitando a regeneração natural da vegetação (DAVIDE; FARIA, 1997) (Figura a-3).

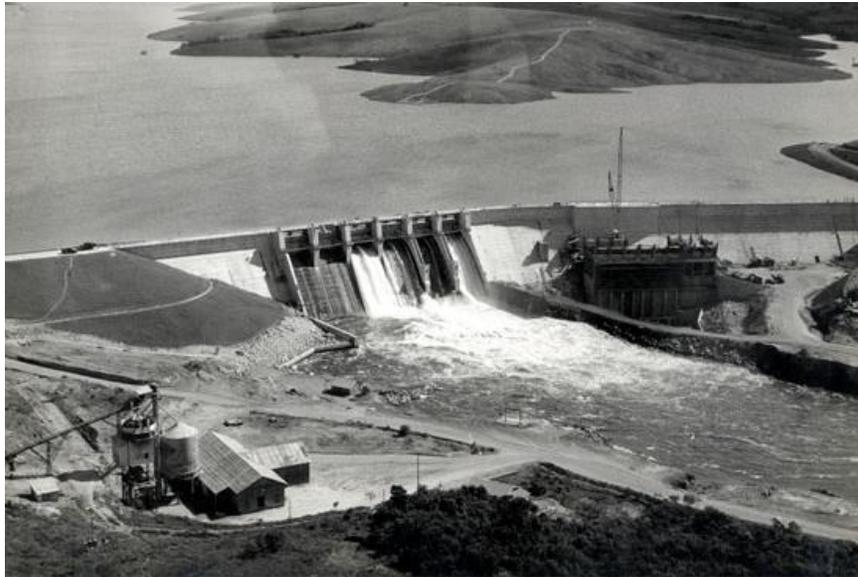


Figura a-3. Vista aérea da barragem da UHE de Camargos sendo construída. À esquerda pode ser vista a utilização de uma porção da área de empréstimo e uma porção de vegetação mantida intacta, sem antropização direta. Fonte: Arquivo Memória Cemig

Para as práticas de reflorestamento, na fase de implantação, foram aplicadas práticas mecânicas, como a construção de terraços em nível e sulcos e a realização de plantio de espécies florestais (Tabela a-1) no espaçamento de 1,5 x 3,0 m, sendo o arranjo utilizado do tipo quincôncio, com base nos princípios de sucessão secundária (DAVIDE, SCOLFORO E FARIA, 1993).

Tabela a-1. Relação das principais espécies arbustivo-arbóreas utilizadas na restauração das áreas no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. Fonte: Faria (2012).

Nome científico	Nome vulgar	Família
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia-auriculiformis	Fabaceae
<i>Acacia mangium</i>	Acácia-mangium	Fabaceae
<i>Albizia niopoides</i>	Albícia	Fabaceae
<i>Amburana cearensis</i>	Amburana	Fabaceae
<i>Anadenanthera peregrina</i>	Angico-vermelho	Fabaceae
<i>Syagrus rommzofiana</i>	Jerivá	Arecaceae
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	Peroba-poca	Apocynaceae
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Guatambu	Apocynaceae
<i>Bauhinia forficata</i>	Bauhinia	Fabaceae
<i>Caesalpinia ferrea</i>	Pau-ferro	Fabaceae
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	Sibipiruna	Fabaceae
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Guanandi	Calophyllaceae
<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá	Lecythidaceae
<i>Cecropia pachystachya</i>	Embaúba	Urticaceae
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro	Meliaceae
<i>Ceiba speciosa</i>	Paineira	Malvaceae
<i>Centrolobium robustum</i>	Araribá	Fabaceae
<i>Clitoria fairchildiana</i>	Sombreiro	Fabaceae
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Óleo-copaíba	Fabaceae
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	Euphorbiaceae
<i>Croton urucurana</i>	Sangra-d'água	Euphorbiaceae
<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá-da-bahia	Fabaceae
<i>Dendropanax cuneatus</i>	Maria mole	Araliaceae
<i>Dipteryx alata</i>	Baru	Fabaceae
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril	Fabaceae
<i>Erybotrya japonica</i>	Nêspera	Rosaceae
<i>Erythrina falcata</i>	Eritrina	Fabaceae
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	Myrtaceae
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga	Myrtaceae
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	Moraceae

<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	Malvaceae
<i>Genipa americana</i>	Genipapo	Rubiaceae
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-roxo	Bignoniaceae
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Ipê-amarelo	Bignoniaceae
<i>Hovenia dulcis</i>	Uva-do-japão	Rhamnaceae
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Fabaceae
<i>Inga marginata</i>	Falso-ingá	Fabaceae
<i>Inga vera</i>	Ingá	Fabaceae
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacarandá-mimoso	Fabaceae
<i>Joanesia princeps</i>	Cotieira	Euphorbiaceae
<i>Lafoensia vandelliana</i>	Dedaleiro	Lythraceae
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	Lecythidaceae
<i>Lithraea molleoides</i>	Aroeira-brava	Anacardiaceae
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo-miúdo	Malvaceae
<i>Luehea grandiflora</i>	Açoita-cavalo-grande	Malvaceae
<i>Machaerium nyctitans</i>	Bico-de-pato	Fabaceae
<i>Machaerium villosum</i>	Jacarandá-mineiro	Fabaceae
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	Moraceae
<i>Magnolia ovata</i>	Pinha-do-brejo	Magnoliaceae
<i>Melia azedarach</i>	Cinamono	Meliaceae
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	Casca-de-arroz	Melastomataceae
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	Sabiá	Fabaceae
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	Fabaceae
<i>Muntingia calabura</i>	Calabura	Fabaceae
<i>Myrcia tomentosa</i>	Goiabeira-do-mato	Myrtaceae
<i>Myroxylum balsamum</i>	Óleo-bálsamo	Fabaceae
<i>Myrsine umbellata</i>	Pororoca	Myrsinaceae
<i>Nectandra nitidula</i>	Canela-amarela	Lauraceae
<i>Ocotea odorifera</i>	Canela-sassafrás	Lauraceae
<i>Ormosia arborea</i>	Olho-de-cabra	Fabaceae
<i>Peltophorum dubium</i>	Angico-amarelo	Fabaceae
<i>Persea pyrifolia</i>	Maçaranduba	Lauraceae
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau-jacaré	Fabaceae
<i>Platycyamus regnellii</i>	Pau-pereira	Fabaceae
<i>Platypodium elegans</i>	Jacarandá-branco	Fabaceae

<i>Psidium guajava</i>	Goiabeira	Myrtaceae
<i>Sapindus saponaria</i>	Saboneteira	Sapindaceae
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeirinha	Anacardiaceae
<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapuruvu	Fabaceae
<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	Fabaceae
<i>Senna multijuga</i>	Cássia-verrugosa	Fabaceae
<i>Senna spectabilis</i>	Cássia-carnaval	Fabaceae
<i>Sesbania sesban</i>	Sebasnia	Fabaceae
<i>Sterculia chichia</i>	Chicá	Fabaceae
<i>Solanum granulosoleprosum</i>	Gravitinga	Solanaceae
<i>Stenolobium stans</i>	Ipê-mirim	Bignoniaceae
<i>Syzygium jambolanum</i>	Jambolão	Myrtaceae
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê-roxo	Bignoniaceae
<i>Tapirira guianensis</i>	Peito-de-pombo	Anacardiaceae
<i>Tibouchina candolleana</i>	Quaresmeira	Melastomataceae
<i>Trema micrantha</i>	Trema	Cannabaceae
<i>Xylopia brasiliensis</i>	Pindaíba	Annonaceae
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Ipê-tabaco	Bignoniaceae

Classificação das áreas deste estudo

Neste trabalho foram avaliadas duas dessas áreas citadas, a área utilizada como empréstimo de terra, considerada degradada, chamada também de “ensecadeira” e a área de floresta mantida intacta, sem supressão de vegetação. Foram escolhidas essas duas áreas, por representarem os limites de menor antropização e maior antropização sofridas pela construção da barragem.

✓ Área referência, ecossistema referência ou fragmento conservado (FC): remanescente de vegetação nativa (floresta estacional semidecidual) sem histórico de supressão da vegetação (1,23 ha). Todo o seu entorno sofreu perturbações com a construção da barragem, mas, especificamente nessa área, não

houve interferências antrópicas diretas. Apesar de seu tamanho reduzido, esta área representa bem as condições de vegetação do entorno.

✓ Área em restauração ou fragmento em restauração ou “ensecadeira” (FR): porção de área (2,79 ha) que teve toda a sua vegetação suprimida, sendo utilizada como área de empréstimo, durante a construção da barragem (Figuras a-4 e a-5).



Figura a-4. Foto aérea mostrando os limites das áreas referência (em azul) e área em processo de restauração (em verde), localizadas no entorno da UHE de Camargos. Fonte: Da autora (2017).

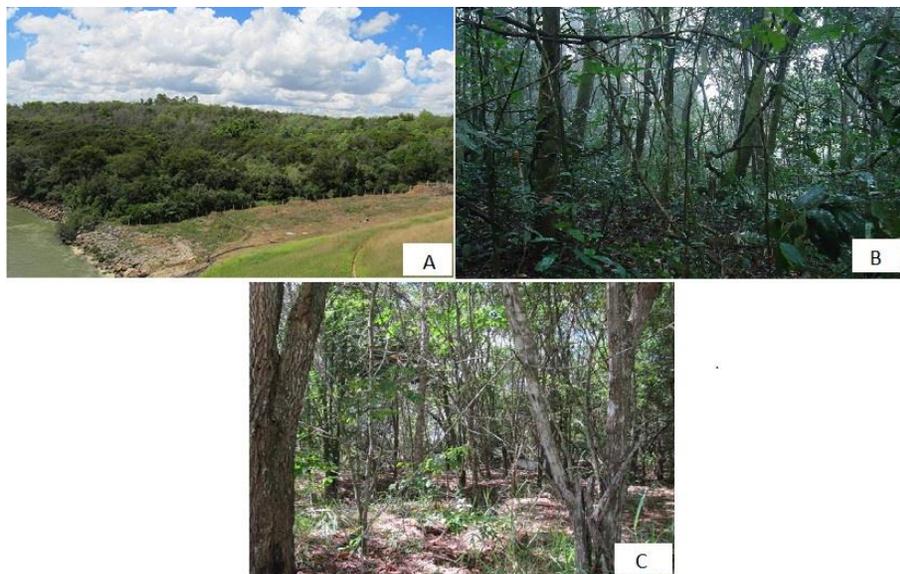


Figura a-5. Fotografias das áreas em estudo. A) Vista da porção de área utilizada como empréstimo de solo para a construção da barragem. B) Visão interna do ecossistema referência. C) Visão interna do ecossistema em restauração. Fonte: Nogueira, 2013.

As áreas de estudo estão inseridas na região fisiográfica Campo das Vertentes, entre os paralelos 21°15' e 21°50' de latitude Sul e os meridianos 44°15' e 44°45' de longitude a Oeste de Greenwich, na microrregião Campos da Mantiqueira (FERREIRA et al., 2007).

A altitude local aproximada é de 900 m; a temperatura média anual é de 19,4 °C e a precipitação média anual é de 1.529,7 mm, com um período seco de abril a setembro. O clima é de transição entre Cwa e Cwb, segundo classificação de Köppen (ANTUNES, 1986) e o tipo de solo original das áreas é Latossolo Vermelho típico (Figura a-6).

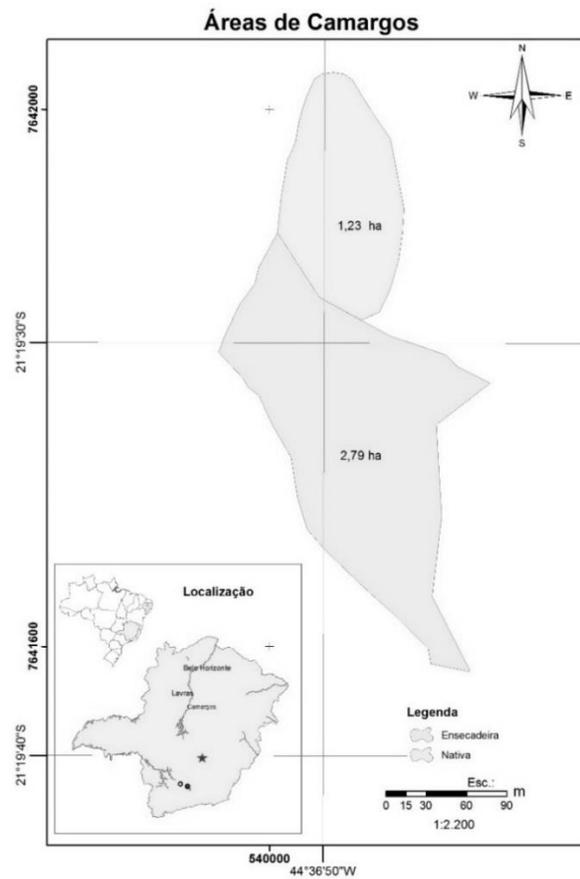


Figura a-6. Mapa das áreas florestais avaliadas neste estudo – fragmento de floresta nativa (1,23ha) e área em restauração, chamada “ensecadeira” (2,79 ha). Fonte: Nogueira, 2013.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Brasília, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Usinas CEMIG**. Belo Horizonte: CEMIG, 2017. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/usinas.aspx>. Acesso em: 15 maio 2017.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos Voluntários...** Viçosa: SOBRADE, 1997. p. 462-473.

DAVIDE, A. C.; SCOLFORO, J. R. S.; FARIA, J. M. R. Adaptação de 12 espécies florestais em área de empréstimo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p. 754.

FARIA, R. A. V. B. **Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração**. 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2012, Lavras.

FERREIRA, W. C. et al. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 177-185, jan./fev. 2007.

NOGUEIRA, M. O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação**. 2013. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SOUZA, L. M. **A regeneração natural como indicador de sustentabilidade em áreas em processo de restauração**. 2014. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

Capítulo 2 - ALOCAÇÃO DE CARBONO COMO INDICADOR DE RESTAURAÇÃO EM FLORESTA SEMIDECIDUAL AOS 25 ANOS

RESUMO

O retorno de aspectos estruturais e funcionais num fragmento florestal degradado é o objetivo do processo de restauração. Nesse contexto de avaliação de aspectos funcionais e serviços ambientais prestados pelos ecossistemas florestais em restauração se inserem os estudos da alocação de carbono. Este trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar o carbono alocado em solo e no sistema radicular (num perfil de 1 m, dividido em estratos), serapilheira (fracionada em material lenhoso e não lenhoso) e estrato arbóreo (diâmetro à altura do peito, ou $DAP \geq 5$ cm). O trabalho foi conduzido em dois fragmentos de florestas estacionais, um considerado conservado e outro com extenso histórico de degradação, estando em processo de restauração há 25 anos. A determinação de carbono foi feita por combustão a seco para solo, serapilheira e sistema radicular, enquanto, para o estrato arbóreo, foram utilizadas equações alométricas. Os estoques de carbono encontrados nos compartimentos foram de 49,85 $Mg\ ha^{-1}$ (estrato arbóreo), 1,69 $Mg\ ha^{-1}$ (serapilheira), 15,05 $Mg\ ha^{-1}$ (sistema radicular) e 217,34 $Mg\ ha^{-1}$ (solo), no fragmento conservado, sem histórico de perturbação. Para o fragmento em restauração, os valores foram de 54,17 $Mg\ ha^{-1}$ (estrato arbóreo), 4,31 $Mg\ ha^{-1}$ (serapilheira), 10,12 $Mg\ ha^{-1}$ (sistema radicular) e 169,16 $Mg\ ha^{-1}$ (solo). As práticas de recuperação implantadas há mais de duas décadas na área degradada facilitaram a restauração de funções como ciclagem e alocação de carbono na biomassa vegetal, com valores bem próximos aos do fragmento florestal conservado e florestas semidecíduais nativas, Entretanto, o estoque de carbono no solo ainda não atingiu valores do ecossistema referência.

Palavras-chave: ecologia da restauração. Processos ecológicos. Função dos ecossistemas.

ABSTRACT

The return of structural and functional aspects in a degraded forest fragment is the goal of the restoration process. In this context of evaluation of functional aspects and environmental services provided by forest ecosystems in restoration, the studies of the carbon allocation are inserted. The objective of this work was to quantify the carbon allocated in: soil and root system (in a 1 m profile, divided into strata), litter (fractionated in woody and non-woody material) and arboreal stratum ($DBH \geq 5$ cm). This work was conducted in two fragments of seasonal forests, one considered conserved and the other with extensive degradation history, being in the process of restoration 25 years ago. The carbon determination was done by dry combustion for soil, litter and root system, while allometric equations were used for the tree stratum. The carbon stocks found in the compartments were: 49.85 Mg ha⁻¹ (arboreal stratum); 1.69 Mg ha⁻¹ (litter); 15.05 Mg ha⁻¹ (root system) and 217.34 Mg ha⁻¹ (soil) in the preserved fragment, with no history of disturbance. For the fragment under restoration, the values were 54.17 Mg ha⁻¹ (arboreal stratum); 4.31 Mg ha⁻¹ (litter); 10.12 Mg ha⁻¹ (root system); And 169.16 Mg ha⁻¹ (soil). The recovery practices implemented more than two decades ago in the degraded area facilitated the restoration of functions such as carbon cycling and allocation in the plant biomass with values very close to the forest fragment conserved and native semideciduous forests. Meanwhile, the carbon stock in the soil still has not reached values of the reference ecosystem.

Keywords: Restoration ecology. Ecological processes. Ecosystem functionality.

1. INTRODUÇÃO

A resiliência é um atributo desejável a todo sistema vivo. No caso de ecossistemas degradados, um maior grau de resiliência é uma característica vantajosa, pois permite retorno a um equilíbrio interno (“homeostase”) ou autossustentabilidade. Entretanto, nem sempre uma área degradada tem capacidade de se recuperar, em função do dano sofrido. Assim, a prática da restauração ecológica objetiva iniciar e/ou facilitar a retomada de processos naturais que permitirão ao ecossistema o retorno à autossustentabilidade (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SER, 2004).;A maior parte da cobertura florestal no Brasil é constituída por florestas secundárias ou florestas em diferentes estágios de restauração assistida. O estudo da restauração de florestas no Brasil teve evolução considerável nos últimos anos, adquirindo abordagem mais ecológica, com ênfase na restauração de aspectos estruturais e funcionais de um ecossistema florestal (DURIGAN; ENGEL, 2012).

Dentre os diversos processos ecológicos retomados por um ecossistema em restauração, a produção de biomassa e de carbono nos diferentes compartimentos da floresta pode indicar o nível de restauração em que se encontra uma área. Florestas secundárias prestam vários serviços ecossistêmicos estreitamente relacionados à sua resiliência de alocação de biomassa (LOHBECK et al., 2015). Estudar a recuperação de serviços ecológicos oferecidos por florestas em restauração se torna essencial, pela relevância desses serviços e pela grande proporção destes sistemas florestais. Nesse contexto se inserem os estudos da produção de biomassa e alocação de carbono em ecossistemas florestais secundários, por influenciarem sobremaneira o ciclo do carbono.

O estudo da alocação de biomassa e carbono numa floresta abrange a avaliação dos compartimentos florestais e a relação entre a alocação neles, ou seja, a transferência do carbono entre eles, desde o crescimento da biomassa arbórea e

sua transferência do carbono da biomassa para o solo e fatores relacionados (MENEZES et al., 2010; MORAIS et al., 2013).

A taxa de alocação de carbono parece ser maior em florestas secundárias (POORTER et al., 2016), entretanto, florestas maduras apresentam menores taxas, mas ainda têm produtividade primária líquida positiva (LUYSSAERT et al., 2008). A transferência de nutrientes e de energia da vegetação para o solo se dá por várias formas, principalmente com a queda, deposição de serapilheira e sua decomposição (CALDEIRA et al., 2008). As raízes finas também incorporam matéria orgânica ao solo, em função de sua rápida renovação sazonal (MENEZES et al., 2010). Dessa forma, o solo é o maior reservatório de carbono terrestre, e seu estoque depende muito de seu histórico de uso (LAL, 2008). O carbono estocado no solo é considerado indicador de qualidade e se relaciona com características desejáveis de um solo ideal, aumentando sua qualidade e resiliência. São essenciais a quantificação e a compreensão de sua dinâmica em ecossistemas florestais.

Considerando que a produção de biomassa e, conseqüentemente, de carbono é um dos processos que necessariamente devem ser retomados para que um ecossistema possa dar continuidade ao seu desenvolvimento, o estudo do estoque de carbono nos diferentes compartimentos do ecossistema pode indicar o estágio em que se encontra o processo de restauração, quando comparado com uma área de referência.

No presente estudo espera-se que práticas de restauração adotadas numa área de Floresta Estacional Semidecidual, previamente degradada, decorridos 25 anos, tenham permitido uma retomada da alocação de carbono, tanto no componente vegetal - sistema radicular e estrato arbóreo - quanto no solo e na serapilheira, mesmo com o prévio histórico de degradação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido em dois fragmentos florestais a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) de Camargos, em Nazareno, MG, no Campo das Vertentes. A vegetação natural varia de Floresta Estacional Semidecidual Montana a regiões de cerrado no sentido lato, com vegetação mais florestada, como cerradão a campo cerrado e campo limpo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012). O tipo de solo original das áreas é Latossolo Vermelho típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), de fertilidade natural muito baixa. O clima transita entre Cwa e Cwb, segundo classificação de Köppen.

Os fragmentos são áreas contíguas, com históricos distintos de uso do solo e perturbação antrópica, em função da construção da barragem. Um fragmento florestal consiste de remanescente de vegetação nativa (floresta estacional semidecidual) sem histórico de supressão da vegetação, apesar de efeito de borda em função de seu tamanho diminuto (1,23 ha). Todo o seu entorno sofreu perturbações com a construção da barragem, mas, especificamente nessa área, não houve interferências antrópicas diretas. Neste trabalho, tal área é denominada fragmento conservado (FC), em função da manutenção de sua cobertura vegetal, sendo a área referência.

O segundo fragmento florestal teve sua vegetação suprimida, sendo utilizado como área de empréstimo durante a construção da barragem, tendo sido retirado grande volume de solo (5 m do perfil, na década de 1950 e cerca de 40.000 m³, em 1991). Neste período, o solo permaneceu totalmente exposto, com intensificação dos processos erosivos, impossibilitando a regeneração natural da vegetação. As práticas de recuperação deste fragmento florestal foram iniciadas

em 1992, podendo ser encontradas na literatura (DAVIDE; FARIA, 1997). Este fragmento florestal é referido aqui como fragmento em restauração (FR), medindo 2,79 ha.

2.2 Características estudadas

Nas áreas em estudo foram avaliados os compartimentos solo (análise de fertilidade, densidade, teor e estoque de carbono), serapilheira (biomassa e estoque de carbono), sistema radicular (biomassa e estoque de carbono) e estrato arbóreo (realizado inventário para estimativa de carbono estocado na biomassa, por meio de equações alométricas previamente definidas).

2.3 Procedimento de coleta de materiais e análises

Em cada fragmento florestal avaliado foram alocadas cinco parcelas permanentes de (20 x 20 m²), totalizando dez parcelas experimentais, distribuídas de forma a cobrir o máximo da variação na área. Adotou-se a amostragem sistemática desencontrada (COCHRAN, 1977). Em cada parcela foi inventariado o estrato arbóreo e alocadas as seguintes subparcelas:

- ✓ quatro subparcelas (0,25 x 0,5 m²) nos vértices externos da parcela para coleta de material não lenhoso da serapilheira;
- ✓ duas subparcelas (3 x 2 m²) em laterais externas opostas da parcela para coleta de material lenhoso da serapilheira;
- ✓ uma trincheira (0,5 m³), em ponto aleatorizado, dentro da parcela para coleta de solo, e sistema radicular num perfil de 1 m.

2.3.1 Inventário do estrato arbóreo

A estimativa do estoque de carbono do estrato arbóreo foi obtida por método indireto (não destrutivo), por meio de avaliações dendrométricas provenientes do conjunto de dados coletados no inventário florestal ($DAP \geq 5$ cm). A listagem das espécies encontradas no inventário, bem como as espécies implantadas no momento da restauração, é encontrada em Faria (2012). A estimativa do carbono foi realizada em cada área inventariada para os compartimentos troncos e galhos, com base em equação alométrica desenvolvida para Floresta Estacional Semidecidual das bacias hidrográficas dos rios Grande e Piracicaba, as quais apresentam condições semelhantes às encontradas na região de estudo.

- a) Quantificação de biomassa florestal seca (MS) (SCOLFORO et al., 2008).

$$\ln(\text{MS}) = -10,9532786932 + 2,5464820134 \times \ln(\text{DAP}) + 0,4667754371 \times \ln(\text{H})$$

$$(\bar{R}^2 = 95,71; S_{yx} = 41,74\%)$$

- b) Estimativa do estoque de carbono (SCOLFORO et al., 2008).

$$\ln(\text{C}) = -12,3034390630 + 2,6584231780 \times \ln(\text{DAP}) + 0,5711719721 \times \ln(\text{H})$$

$$(\bar{R}^2 = 97,25; S_{yx} = 36,4\%)$$

em que: MS= biomassa florestal seca ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$); C = estoque de carbono ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$); DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); H = altura total (m).

2.3.2 Amostras de serapilheira

Para a avaliação do carbono alocado na serapilheira considerou-se toda a biomassa morta e, em vários estágios de decomposição, depositada sobre o solo. As coletas foram realizadas com a disposição de gabaritos diretamente no solo, nas subparcelas já descritas. O fracionamento do material considerando a variação de diâmetro foi realizado conforme Sanquetta, Balbinot e Zilliotto (2004) e Vogel, Schumacher e Truby (2006) (Tabela 2- 1).

Tabela 2-1. Fracionamento da serapilheira coletada e especificações do material fracionado em fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos, MG

Fracionamento da serapilheira	Especificação do material fracionado
Material lenhoso (M _L)	M _{L1} : galhos finos e troncos; diâmetro entre 1 e 3 cm
	M _{L2} : galhos médios e troncos; diâmetro entre 3,1 e 6 cm
	M _{L3} : galhos grossos e troncos; diâmetro > 6 cm
	M _{L4} : cascas soltas
Material não lenhoso (M _{NL})	Ramos < 1 cm de diâmetro
	Estruturas foliares senescentes (folíolos e pecíolos)
	Miscelânea (material vegetal que não pôde ser determinado e possível material de origem animal).

Fonte: Faria (2012).

Toda a manta orgânica de material lenhoso localizada dentro das subparcelas foi coletada e pesada em balança digital (precisão de 10 g). Em seguida, foi retirada uma subamostra homogênea com cerca de 200 g (massa úmida) e encaminhada para laboratório. Em laboratório, a serapilheira foi limpa, armazenada e seca em estufa (± 65 °C), até atingir massa constante. Foram obtidas as massas secas das amostras (balança precisão 0,01 g) que, posteriormente, foram trituradas em moinho tipo Wiley, peneiradas (20 mesh), secas novamente até peso

constante (± 65 °C), armazenadas e enviadas para análise do teor de carbono (método combustão a seco em analisador de carbono orgânico total). A combustão a seco determinou o teor de carbono das amostras, e o estoque de carbono foi determinado da seguinte forma (equação 1).

$$\text{Est C} = \text{Biomassa} \cdot (\text{Teor C}/100) \quad (\text{Equação 1})$$

em que: Est C = estoque de carbono (Mg C. ha^{-1}); Teor = teor de carbono orgânico total na matriz amostrada (%); Biomassa = massa seca da amostra (Mg ha^{-1}).

2.3.3 Amostras de solo

Em cada parcela amostral foi sorteado um par de coordenadas para a alocação de uma trincheira ($100 \times 100 \times 50 \text{ cm}^3$). O solo foi estratificado em camadas (0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 100 cm), onde foram coletadas amostras de solo para as análises do teor de carbono (combustão a seco), fertilidade e determinação da densidade. Em laboratório, as amostras de solo para análise do teor de carbono foram secas em temperatura ambiente, maceradas e peneiradas (60 mesh), mantidas em estufa (± 65 °C) para evitar absorção de umidade até serem submetidas à combustão a seco (em analisador de carbono orgânico total). Foi determinado o teor de carbono de cada amostra e, posteriormente, o estoque de carbono para cada profundidade amostrada, segundo metodologia adaptada de Batjes (1996).

$$\text{Est C} = (\text{CO} \cdot \text{D}_s \cdot \text{E}) \quad (\text{Equação 2})$$

em que: Est C = estoque de carbono em determinada profundidade (Mg. ha^{-1}); CO = teor de carbono total na profundidade amostrada (%); D_s = densidade do solo na

profundidade ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$); E = espessura da camada de perfil de solo considerado (m).

Para a análise de fertilidade do solo, foram determinados os macronutrientes (P e P-rem, S, Ca, Mg, K), os micronutrientes (B, Cu, Mn, Zn), além de pH, Al, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC a pH 7,00 (T) e efetiva (t), percentagem de saturação por alumínio (m%), percentagem de saturação por bases (V%) e classificação do tipo de solo quanto à textura.

2.3.4 Amostras de sistema radicular

Amostras de material radicular foram coletadas nas trincheiras já descritas (coleta de todo material presente em todas as camadas) e foram separadas do solo em campo, por meio de tamisação e catação manual.

Em laboratório, o material radicular foi lavado e seco em estufa ($\pm 65\text{ }^{\circ}\text{C}$) até atingir massa constante. Foram obtidas as massas secas das amostras (balança precisão 0,01 g) que, posteriormente, foram trituradas em moinho tipo Wiley, peneiradas (60 mesh), secas novamente até peso constante ($\pm 65\text{ }^{\circ}\text{C}$), armazenadas e enviadas para análise do teor de carbono (método combustão a seco, em analisador de carbono orgânico total). A combustão a seco determinou o teor de carbono das amostras e o estoque de carbono, para cada profundidade, foi determinado de forma similar à serapilheira (equação 1).

2.4 Análises estatísticas

Para a comparação entre as áreas avaliadas, os resultados encontrados foram transformados, quando não atendiam às pressuposições de análises de variância, e os valores médios de biomassa e estoque de carbono dos

compartimentos foram submetidos a testes de médias Scott-Knott, a 5% de significância, para comparação entre os fragmentos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estrato arbóreo

A biomassa seca e o carbono estocado no compartimento estrato arbóreo não diferiram entre os fragmentos analisados (Tabela 2-2).

Tabela 2-2. Biomassa seca e carbono alocado no estrato arbóreo ($DAP \geq 5$ cm), densidade arbórea, número de indivíduos e razão entre biomassa radicular e biomassa da estrato arbóreo para fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos, MG

	Biomassa ($Mg\ ha^{-1}$)	Estoque carbono ($Mg\ ha^{-1}$)	Densidade arbórea ($ind.\ ha^{-1}$)	Número indivíduos
Conservado	104,67	49,85	1.716a	549
Em restauração	110,72 ^{ns}	54,17 ^{ns}	1.515b	303

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Scott-Knott (5%). Em que ^{ns} significa não significativo.

Apesar de apresentar menor densidade arbórea, o fragmento em restauração acomoda indivíduos de grande porte, particularmente das espécies *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr., *Picramnia parvifolia* Engl. e *Acacia mangium* Willd. Estes indivíduos elevam a volumetria média dos fragmentos, e, conseqüentemente, a biomassa e o carbono estocado. Além disso, estes extremos aumentam a variabilidade volumétrica ($CV = 73\%$) no fragmento em restauração, quando comparado ao fragmento conservado ($CV = 24\%$), que apresenta indivíduos de volumetria mais uniforme. As florestas avaliadas neste estudo

apresentam biomassa e estoque de carbono próximos aos de demais Florestas Semidecíduais no estado de Minas Gerais, conforme reportado por Scolforo et al. (2008) (Tabela 2-3).

Tabela 2-3. Valores de densidade, biomassa seca e estoque de carbono alocados no estrato arbóreo em florestas semidecíduais no estado de Minas Gerais (Dados de Scolforo et al., 2008)

Áreas avaliadas	Densidade (ind. ha ⁻¹)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Estoque C (Mg ha ⁻¹)	Fonte
Floresta semidecidual ciliar regeneração avançada	1.351,3	58,00	25,70	Scolforo et al. (2008)
Floresta semidecidual ciliar madura	1.309,3	121,05	49,10	
Floresta semidecidual terra firme regeneração média	1.514,2	45,14	16,80	
Floresta semidecidual terra firme regeneração avançada	1.579,0	67,03	27,95	
Floresta semidecidual terra firme madura	1.425,5	131,56	48,68	
Floresta semidecidual ciliar regeneração média	1.716,0	104,67	49,85	
Floresta ciliar em restauração	1.515,0	110,72	54,17	

3.2.3 Serapilheira

A biomassa seca acumulada e o estoque de carbono alocado na serapilheira foram de 14,33 e 4,31 Mg ha⁻¹, para o fragmento em restauração e de 4,76 e 1,69 Mg ha⁻¹, para o fragmento conservado. Substancial diferença pode ser verificada na produção de biomassa (Tabela 4), com valores três vezes maiores na área em restauração.

Esperava-se maior biomassa da serapilheira no fragmento conservado, pois a serapilheira acumulada tende a aumentar com a idade e a maturidade da vegetação ou o avanço da sucessão ecológica (MENEZES et al., 2010; SCHUMACHER et al., 2003; WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001). Entretanto, o fragmento em restauração apresentou maior biomassa acumulada quando comparado ao fragmento conservado.

Acredita-se que a maior biomassa encontrada no fragmento em restauração seja devido à elevada presença de indivíduos de *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, plantados na etapa de recuperação. Estas espécies são capazes de contribuir consideravelmente no acúmulo de serapilheira depositada sobre o solo, principalmente em época seca (SAHARJO; WATANABE, 2000; ZHANG, GUAN e SONG, 2012). Também contribuiu para o incremento da serapilheira no fragmento em restauração o predomínio de espécies pioneiras e secundárias iniciais plantadas na área que, por apresentarem curto ciclo de vida, podem já estar em fase de senescência.

O estoque de carbono da serapilheira total (lenhosa e não lenhosa) diferiu entre os fragmentos ($Pr > Fc = 0,002$), sendo maior no fragmento em restauração. Com relação ao fracionamento, o material lenhoso (galhos e troncos com mais de 1 cm de diâmetro) não diferiu entre os fragmentos ($Pr > Fc = 0,641$). Diferenças também foram encontradas na fração não lenhosa ($Pr > Fc = 0,001$). Destacaram-se as frações miscelânea (cinco vezes maior) e folhas (quinze vezes maior), sendo o material não lenhoso o maior contribuinte para os valores de biomassa e estoque de carbono nas áreas (respectivamente 95,42% e 91,36%, para o fragmento conservado e 73,19% e 64,28%, para o fragmento em restauração) (Tabela 2-4).

Tabela 2-4. Biomassa seca acumulada, teor de carbono e estoque de carbono acumulado na serapilheira, em fragmentos florestais, no entorno da UHE Camargos.

Fração		Biomassa seca total (Mg ha ⁻¹)	Teor de carbono%	Estoque carbono total (Mg ha ⁻¹) *	% em relação ao acumulado
Fragmento em restauração					
ML	M _{L1}	0,27	46,29	0,12	19,41
	M _{L2}	0,20	42,13	0,08	12,98
	M _{L3}	0,04	47,71	0,02	3,33
	M _{L4}	0,00	0,00	0,00	0,00
	Acumulado M _L	0,51		0,23a	35,72
MNL	Ramos	3,88	41,86	1,62	25,55
	Folhas	3,23	36,49	1,18	18,57
	Miscelânea	6,71	19,07	1,28	20,16
	Acumulado M _{NL}	13,82		4,08A	64,28
Acumulado total		14,33		4,31A	100,00
Fragmento conservado					
ML	ML1	0,26	50,76	0,13	1,54
	ML2	0,24	43,08	0,11	1,44
	ML3	0,17	50,00	0,08	1,00
	ML4	0,10	43,83	0,04	0,60
	Acumulado ML	0,78		0,36a	8,64
MNL	Ramos	2,63	39,84	1,05	24,62
	Folhas	0,21	25,63	0,05	12,47
	Miscelânea	1,15	20,18	0,23	54,27
	Acumulado MNL	3,98		1,33B	91,36
Acumulado total		4,76		1,69B	100,00

(*) Letras iguais minúsculas, maiúsculas e itálicas na mesma coluna não diferem entre si, segundo Scott-Knott (5%).

3.3 Solo

Os solos apresentaram baixa fertilidade natural (nutrientes abaixo do nível crítico e saturação por bases $\approx 7\%$), acidez ($pH \approx 4,0$) e alta concentração de alumínio ($m \approx 70\%$), sendo classificados como textura média a argilosa. A argila atua como barreira física, protegendo frações da matéria orgânica do solo (LAL, 2008; NAIR et al., 2011), cujo principal constituinte (58%) é o carbono (SALTON, 2005; SILVA e MENDONÇA, 2007).

A densidade média do solo foi de 1,58 e de 1,53g cm⁻³, nos fragmentos conservado e em restauração, respectivamente. Ambos apresentaram tendência de aumento com a profundidade. A densidade dos solos destes fragmentos é relativamente alta, uma vez que, para Latossolo Vermelho sob florestas, as densidades relatadas em literatura costumam ser mais baixas: 1,004 g.cm⁻³ (KLEIN; LIBARDI, 2002); 1,03 g.cm⁻³ (MARTINS et al., 2002), próximos a 1,46 g cm⁻³ (ARAUJO; TORMENA; SILVA, 2004). Os valores de densidade, teor e estoque de carbono no solo são descritos na Tabela 2-5.

Tabela 2-5. Estatística descritiva de densidade, teor e estoque de carbono no solo em ecossistemas florestais, adjacentes à UHE Camargos, MG.

	Fragmento conservado	Fragmento em restauração
Densidade de solo por camada (g.cm ⁻³)		
Máximo	1,96	1,73
Mínimo	1,13	1,21
Média	1,58	1,53
CV %	4,73	6,06
Teor de carbono acumulado 0 a 100 cm (%)		
Máximo	8,24	7,39
Mínimo	6,41	4,69
Média	7,67 a	5,84 b
CV %	9,50	19,53
Estoque carbono ponderado (Mg. ha ⁻¹ / cm solo)		
Máximo	4,81	5,27
Mínimo	0,69	0,65
Média	2,29 a	1,73 b
CV %	8,38	18,91
Estoque de carbono acumulado 0 a 100cm (Mg. ha ⁻¹)		
Máximo	273,03	208,3
Mínimo	172,6	136,9
Média	217,34 a	169,16 b
CV %	16,75	17,06

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

O teor e o estoque de carbono foram maiores e menos variáveis no fragmento conservado ($Pr > F_c = 0,004$, para estoque de carbono). A maior variabilidade no fragmento em restauração é devido à heterogeneidade das condições da área previamente à restauração, uma vez que perturbações, como a retirada de solo, não ocorreram de forma uniforme em toda a extensão do fragmento.

Os teores médios de carbono foram, considerando o acumulado no perfil de 0 a 100 cm, 7,67 e 5,84 Mg. ha⁻¹, para os fragmentos conservado e em restauração, respectivamente. O menor teor de carbono encontrado neste último pode ser justificado pela sua utilização como “área de empréstimo” de solo, com a supressão da vegetação, e posterior retirada, intenso revolvimento e exposição do solo por mais de três décadas, prévias às práticas de restauração.

O estoque de carbono apresentou comportamento de diminuição de seus valores com aumento de profundidade de análise ($Pr > Fc = 0,00$), fato comumente encontrado em solos agrícolas e florestais brasileiros (GRIMM et al., 2008; MORAIS et al., 2013; NEUMANN-COSEL et al., 2011; NEVES et al., 2004; QUIJ et al., 2008), e que pode ser explicado pelo acúmulo superficial de serapilheira, humificação, não revolvimento do solo e baixa lixiviação de carbono no perfil, devido à baixa solubilidade dos resíduos orgânicos.

Considerando todo o perfil de solo avaliado (100 cm), os estoques de carbono variaram de 172,6 a 273,03 Mg ha⁻¹, no fragmento conservado e 136,9 a 208,3 Mg ha⁻¹, no fragmento em restauração. Os respectivos valores médios foram de 217,34 Mg ha⁻¹ e 169,16 Mg ha⁻¹.

Avaliando-se o estrato de 0 a 20 cm, que é o mais comumente avaliado em literatura, constatou-se que o carbono estocado neste estudo foi de 66 Mg ha⁻¹ (fragmento conservado) e de 47,8 Mg ha⁻¹ (fragmento em restauração). O fragmento conservado apresenta valores de carbono alocado um pouco maiores que o de florestas panamenhas (florestas secundárias de 100 anos com 58,4 Mg ha⁻¹ e florestas maduras com 60,1 Mg ha⁻¹) (NEUMANN-COSEL et al., 2011) e similares aos de florestas secundárias, em Coimbra, MG, com 64 Mg ha⁻¹ (LEITE et al., 2003).

O tempo de análise parece ter sido insuficiente para que os estoques de carbono do fragmento em restauração se tornassem similares aos valores do fragmento conservado, uma vez que o desenvolvimento continuado da floresta em

restauração pode levar ao aumento do acúmulo de carbono orgânico no solo. Acredita-se que o fragmento em restauração ainda não atingiu sua capacidade máxima de estocagem de carbono no solo. De forma similar, Camargo et al. (1999) e Neumann-Cosel et al. (2011) também observaram que um período de duas décadas ou menos não foi suficiente para que houvesse uma similaridade de estoques de carbono no solo entre florestas maduras e secundárias Brown e Lugo (1990) e Lugo, Sanchez e Brown (1986) relatam ser necessário, no mínimo, cinquenta anos para que carbono no solo seja recuperado.

O estoque de carbono no solo apresentou ajuste exponencial, com tendência de diminuição do estoque com o aumento da profundidade de solo (Gráficos 2-1 e 2-2, Tabela 2-6).

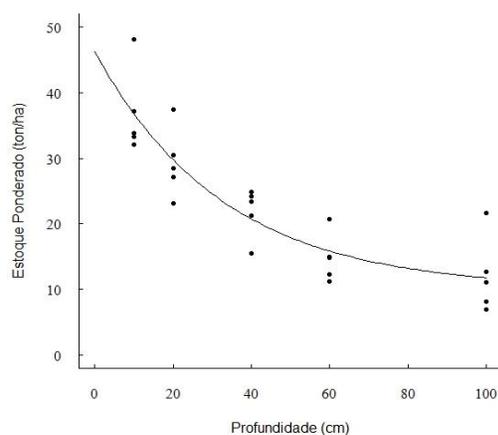


Gráfico 2-1. Modelo ajustado para estoque de carbono no solo em fragmento florestal conservado, no entorno da UHE de Camargos

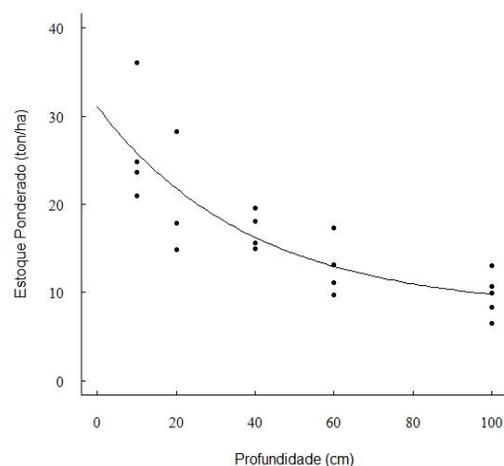


Gráfico 2-2. Modelo ajustado para estoque de carbono no solo em fragmento florestal em restauração, no entorno da UHE de Camargos

Tabela 2-6. Modelo exponencial ajustado e medidas de qualidade para estoque de carbono no solo em fragmentos florestais de Floresta Estacional Semidecidual, no entorno da UHE de Camargos, MG. Em que: Est C= estoque de carbono; p= profundidade de solo

Fragmento	Modelo	Erro padrão residual	R ² ajustado
Conservado	Est C (p)= 10,05391 + 36,27631 x (0,9699 ^p)	4,972	0,784
Restauração	Est C (p) = 8,01867 + 23,01778 x (-0,97464 ^p)	4,297	0,675

3.4 Sistema radicular

Para o acumulado no perfil de 0 a 100 cm, a biomassa radicular apresentou média de 31,43 e 42,75 Mg ha⁻¹, para os fragmentos em restauração e conservado, respectivamente. A biomassa radicular variou de 10,95 a 62,33 Mg ha⁻¹, no fragmento em restauração e de 21,02 a 61,86 Mg ha⁻¹, no fragmento conservado.

O fragmento em restauração, além de apresentar menor média, apresentou maior variação de seus resultados.

O estoque de carbono radicular acumulado no perfil do solo (0 a 100 cm) variou de 3,35 a 20,46 Mg ha⁻¹, no fragmento recuperado e de 6,9 a 22,96 Mg ha⁻¹, no fragmento conservado. As respectivas médias dos estoques acumulados foram de 10, 12 e 15,05 Mg ha⁻¹ (Tabela 2-7). Não houve diferenças nos estoques de carbono radicular entre os fragmentos avaliados ($Pr > Fc = 0,156$).

Tabela 2-7. Biomassa seca e estoque de carbono alocado no sistema radicular encontrados em cada profundidade analisada e no acumulado, num perfil de solo de 0 a 100 cm, em fragmentos florestais no entorno da UHE de Camargos

Profundidade (cm)	Fragmento conservado		Fragmento em restauração	
	Biomassa média (Mg ha ⁻¹)	Estoque médio (Mg ha ⁻¹)	Biomassa média (Mg ha ⁻¹)	Estoque médio (Mg ha ⁻¹)
0 a 10	20,39	7,02	12,91	3,35
10 a 20	9,31	3,08	7,69	2,68
20 a 40	5,77	2,04	5,85	2,20
40 a 60	5,17	2,09	3,08	1,18
60 a 100	2,12	0,82	1,89	0,71
Média do valor acumulado no perfil	42,75	15,05 ns	31,43	10,12 ns
CV%	46,3	48,72	73,43	74,61

A grande variabilidade da biomassa e do estoque de carbono do sistema radicular pode ser explicada pelo fato de as amostras serem formadas por miscelâneas de várias espécies, o que garante heterogeneidade às amostras da biomassa radicular, similar ao encontrado por Morais et al. (2013) e Paiva, Rezende e Pereira (2011). Além disso, esta variabilidade pode ter sido

influenciada pelas profundidades de coleta e dificuldade de separação de raízes e solo.

Houve tendência de diminuição da biomassa radicular com o aumento da profundidade de coleta (Gráfico 2-3) e, em consequência, do carbono estocado. Diferenças foram verificadas para os valores ponderados de estoque de carbono (para 1 cm) entre as camadas no perfil do solo ($Pr > Fc = 0,002$), tendo as camadas mais superficiais estocado, proporcionalmente, maiores montantes de carbono.

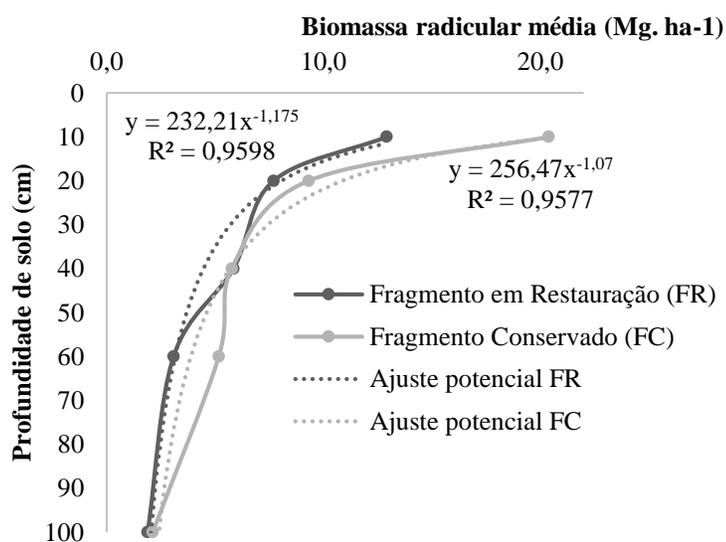


Gráfico 2-3. Distribuição da biomassa radicular média dos fragmentos adjacentes à UHE Camargos, com relação à profundidade de coleta e suas respectivas linhas de tendência potencial e equações

A diminuição da biomassa radicular com o aumento da profundidade de solo parece ser comum, como verificado em povoamentos de *Castanea sativa* e *Pseudotsuga menziesii*, em Portugal (FONSECA et al., 2005) e pinus (SELLE et al., 2010); em fragmentos florestais em diferentes estágios sucessionais, no Rio

de Janeiro (LIMA et al., 2007; MENEZES et al., 2010) e em reflorestamentos com históricos de áreas de empréstimo, similares a este estudo (VALCARCEL et al., 2007).

Cerca de 80% do estoque de carbono no sistema radicular se concentraram no estrato de 0 a 40 cm, em ambos os fragmentos florestais (81,3% no fragmento restaurado e 88,4% no fragmento conservado), geralmente como esperado em florestas. Essa maior concentração de raízes, superficialmente, pode ser explicada pela concentração de matéria orgânica em decomposição na superfície do solo, disponibilizando nutrientes minerais e orgânicos, permitindo ambiente favorável para o desenvolvimento das raízes nesta camada, como salientado por Selle et al. (2010).

A razão entre a biomassa radicular e a biomassa arbórea foi de 0,41 (fragmento conservado) e 0,28 (fragmento em restauração). Estes resultados, principalmente o encontrado para o fragmento em restauração, estão próximos aos encontrados por Cairns et al. (1997) e Malhi et al. (2009) (razão média de 0,21), para diferentes formações de florestas tropicais. Sabe-se que esta razão pode sofrer variações em função de fatores biológicos, como heterogeneidade do sistema radicular, diferenças na composição de espécies (PAIVA, REZENDE e PEREIRA, 2011) e estágio sucessional (WANG et al., 2008); de fatores climáticos, como a época de coleta (PAIVA, REZENDE e PEREIRA, 2011) e a umidade do solo (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; WANG; FANG; ZHU, 2008) bem como fatores metodológicos, como diferenças na profundidades de coleta e classes de diâmetro estabelecidas para a sua realização, dificuldade de separação de raízes e solo (PAIVA, REZENDE e PEREIRA, 2011).

3.5 Análise dos compartimentos em conjunto

Considerando os compartimentos em conjunto, verificou-se que o estoque de carbono apresentou contribuição percentual similar em ambos os fragmentos florestais, sendo solo, 77% e 71%; estrato arbóreo, 23% e 18%; sistema radicular, (4% e 5% e serapilheira, 2% e 1%, para fragmento em restauração e conservado, respectivamente.

Os resultados encontrados para os compartimentos avaliados nas duas áreas florestais estão resumidos na Tabela 8. O estoque total de carbono no fragmento conservado ($283,93 \pm 31,05 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi maior que no fragmento em restauração ($237,76 \pm 20,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) ($\text{Pr} > \text{Fc} = 0,04$). Tal fato se justifica pelo histórico de perturbação sofrido no fragmento em restauração, cujo processo iniciou-se há 25 anos.

Tabela 2-8. Biomassa seca acumulada, teor de carbono, estoque de carbono acumulado nos compartimentos sistema radicular, estrato arbóreo, serapilheira e solo, em fragmentos florestais, no entorno da UHE Camargos

Área	Compartimento	Biomassa seca acumulada (Mg ha ⁻¹)	Teor de carbono (%)	Estoque de carbono acumulado (Mg ha ⁻¹)	Percentual do estoque dos compartimentos no valor total %
Fragmento conservado	Serapilheira	4,76	38,93	1,69±0,28 b	0,60
	Sistema radicular	42,75	35,26	15,05±5,75 <i>ns</i>	5,30
	Estrato arbóreo	104,67	-----	49,85±11,71 <i>ns</i>	17,56
	Solo	----	1,54	217,34±28,54 A	76,55
	TOTAL	152,18		283,93±31,05 A	
Fragmento em restauração	Serapilheira	14,33	38,46	4,31±1,08 a	1,81
	Sistema radicular	31,43	34,55	10,12±6,62 <i>ns</i>	4,26
	Estrato arbóreo	110,72	-----	54,17±20,93 <i>ns</i>	22,78
	Solo	-----	1,17	169,16±25,31 B	71,15
	TOTAL	156,48		237,76±20,3 B	

Médias da coluna seguidas pela mesma formatação diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Fonte: Da autora (2017).

As mais de duas décadas decorridas das atividades de recuperação e implantação de cobertura vegetal no fragmento utilizado como área de empréstimo foram importantes para facilitar o retorno de funções como alocação de carbono bem próximas ao fragmento florestal conservado. Os estoques de carbono no estrato arbóreo, serapilheira lenhosa e sistema radicular entre as áreas foram considerados similares, mostrando a importância do processo de restauração.

Houve diferenças quanto ao estoque no solo, ao estoque da serapilheira não lenhosa e, conseqüentemente, ao estoque dos compartimentos em conjunto. O estoque de carbono no solo diferiu pela grande influência que seu histórico de

uso exerce (HOUGHTON, 2010; NAIR et al., 2011) e, apesar da diferença entre os estoques no solo dos fragmentos, com valores menores para o fragmento em restauração, pôde-se verificar a retomada de processos de ciclagem de carbono e aumento da sua absorção, o que leva a um aumento na qualidade deste solo e de sua resiliência (LAL, 2008). O plantio das espécies *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformes* e a grande presença de e carbono em espécies pioneiras em senescência no fragmento em restauração incrementaram a biomassa da serapilheira, resultando na diferença no estoque de carbono da serapilheira não lenhosa entre as duas áreas.

4. CONCLUSÕES

Após 25 anos em restauração, verificou-se que a vegetação estabelecida acumulou biomassa quantidade semelhante ao fragmento conservado, demonstrando o aumento da resiliência mediante as práticas de restauração. O carbono acumulado no solo da área em restauração corresponde a 77,8% do carbono acumulado no solo da área conservada, evidenciando o processo mais lento de recuperação do estoque de carbono no solo, principalmente em função do alto grau de degradação deste, que permaneceu exposto por cerca de 30 anos.

Os procedimentos de restauração atuaram de forma a facilitar a restauração de processos ecológicos, como a ciclagem e a alocação de carbono, restaurando também funções importantes do ecossistema danificado.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar./abr. 2004.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 151-163, June 1996.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n. 1, p. 53-64, May 1990.
- CAIRNS, M. A. et al. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, Berlin, v. 111, n. 1, p. 1-11, June 1997.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serrapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2008.
- CAMARGO, P. B. et al. Soil carbon dynamics in regrowing forests of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 693-702, Aug. 1999.
- COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 555 p.
- DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos Voluntários...** Viçosa: SOBRADE, 1997. p. 462-473.
- DURIGAN, G.; ENGEL, L. V. Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S. V. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. p. 41-60.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FARIA, R. A. V. B. **Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração**. 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2012, Lavras.

FONSECA, F. et al. Distribuição e desenvolvimento do sistema radicular em povoamentos jovens de *Castanea sativa* e *Pseudotsuga menziesii*. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 5., 2005, Viseu. **Actas das Comunicações...** Lisboa: SPCF, 2005. p. 1-8.

GRIMM, R. et al. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island—digital soil mapping using random forest analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, n. 1/2, p. 102–113, July 2008.

HOUGHTON, R. A. How well do we know the flux of CO₂ from land-use change? **Tellus**, Copenhagen, n. 62B, p. 337-351, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, out./dez. 2002.

LAL, R. Carbon sequestration in soil. **CAB Reviews**, Oxford, v. 3, n. 30, p. 1-20, 2008.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

LIMA, J. A. S. et al. Avaliação da biomassa radicular fina em fragmentos florestais da Planície Costeira Fluminense. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 450-452, jul. 2007.

LOHBECK, M. et al. Biomass in the main driver of changes in ecosystem process rates during tropical forest succession. **Ecological Society of America Journal**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 1242–1252, May 2015.

LUGO, A. E.; SANCHEZ, M. J.; BROWN, S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 96, n. 2, p. 185–196, 1986.

LUYSSAERT, S. et al. Old-growth forests as global carbon sinks. **Nature**, London, v. 455, p. 213-215, Sept. 2008.

MALHI, Y. et al. Comprehensive assessment of the carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, Oxford, v. 15, n. 5, p. 1255-1274, May 2009.

MARTINS, S. G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-041, 2002.

MENEZES, C. E. G. et al. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439-452, jul./set. 2010.

MORAIS, V. A. et al. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**. Lavras, v. 19, n. 2, p. 237-245, jun. 2013.

NAIR, P. K. R. et al. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Org.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems**. New York: Springer Science, 2011. v. 8, p. 145-162.

NEUMANN-COSEL, L. et al. Soil carbon dynamics under young tropical secondary forests on former pastures: a case study from Panama. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1625-1633, May 2011.

NEVES, C. M. N. das et al. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out. 2004.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *Sensu Stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 527-538, maio/jun. 2011.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, London, v. 530, n. 7589, p. 211-214, Feb. 2016.

QIJI, W. et al. Response of carbon and nitrogen content in plants and soils to vegetation cover change in alpine *Kobresia meadow* of the source region of Lantsang, Yellow and Yangtze Rivers. **Acta Ecologica Sinica**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 885-894, Mar. 2008.

SAHARJO, B. H.; WATANABE, H. Estimation of litter fall and seed production of *Acacia mangium* in a forest plantation in South Sumatra, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 130, n. 1/3, p. 265-268, May 2000.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 178 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR, 2004. 205 p.

SCHUMACHER, M. V. et al. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 791-798, nov./dez. 2003.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio atlântico em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. C. (Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: floresta estacional semidecidual e ombrófila**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 463-629.

SELLE, G. L. et al. Biomassa radicular, densidade de solo e análise química do solo de um povoamento de *Pinus sp.* **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 1, p. 61-74, jan./abr. 2010.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SER. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

VALCARCEL, R. et al. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 923-930, set./out. 2007.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, P. Quantificação da biomassa em floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425, 2006.

WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 4007- 4020, June 2008.

WERNECK, M. de S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 195-198, jun. 2001.

ZHANG, H.; GUAN, D. S.; SONG, M. W. Biomass and carbon storage of Eucalyptus and Acacia plantations in the Pearl River Delta, South China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 90-97, Aug. 2012.

Capítulo 3 - AVALIAÇÃO DA AUTOSSUSTENTABILIDADE COM BASE EM ATRIBUTOS DA SER INTERNACIONAL

RESUMO

Com a evolução das práticas de restauração de ecossistemas florestais no Brasil, a necessidade de monitoramento periódico dessas áreas surge como forma de verificar a eficácia das ações adotadas e avaliar o progresso da trajetória de autossustentabilidade desses ambientes. Nesta etapa, alguns questionamentos são importantes, como: Os objetivos da restauração foram atendidos? O ecossistema caminha para autossustentabilidade? Entretanto, estes trabalhos de avaliação e monitoramento, apesar de serem tão importantes, ainda são escassos. São encontrados, na literatura, trabalhos relatando tentativas de estabelecimento de protocolos de monitoramento da sustentabilidade de florestas de produção e algumas tentativas isoladas, ajustadas para avaliação da restauração de ecossistemas naturais. Recentemente, a Sociedade para Restauração Ecológica (SER) publicou um protocolo-guia que busca dar um direcionamento geral ao monitoramento desses ambientes, em âmbito internacional. Objetivou-se, assim, empregar o modelo de monitoramento da SER Internacional, com a utilização de ecossistema referência e atribuição de notas (1 a 5) para verificadores selecionados para a avaliação da autossustentabilidade de um reflorestamento de 25 anos em restauração. Foram escolhidos 26 verificadores, distribuídos em seis princípios, de acordo com atributos que a SER Internacional entende como essenciais num ecossistema autossustentável, como condições físicas de solo, ausência de ameaças, ocorrência de fluxos externos, funcionalidade do ecossistema, estrutura da comunidade e composição de espécies. Os verificadores escolhidos foram pontuados, com base num ecossistema referência, de forma a dar uma visão geral da evolução do ecossistema em restauração. Concluiu-se que o ambiente caminha para uma trajetória autossustentável, uma vez que 70% dos verificadores foram considerados nota cinco, valor máximo. Entretanto, alguns verificadores foram menos pontuados, revelando potencial de melhorias com o tempo. O método aplicado foi considerado eficaz para a avaliação, não devendo ser aplicado de forma pontual, mas sim periodicamente. Cabem melhorias com base na atribuição de notas aos verificadores, de forma a minimizar a subjetividade de análises.

Palavras-chave: Ecossistemas referência. Restauração ecológica. Resiliência.

ABSTRACT

With the evolution of practices of restoration of forest ecosystems in Brazil, the need for periodic monitoring of these emerges as a way to verify the effectiveness of the adopted actions and to evaluate the progress of the trajectory of self-sustainability of these environments. At this stage, some questioning are important: Have the restoration objectives been met? Is the ecosystem moving towards self-sustainability? These evaluation and monitoring works, although they are so important, are still scarce. There are attempts in the literature to establish protocols to monitor the sustainability of production forests and some isolated attempts, adjusted for evaluation of ecosystem restoration. SER recently published a guide protocol that seeks to give a general direction in the monitoring of these environments, in an international scope. The aim was to use the International Monitoring model, using the reference ecosystem, and assigning grades (1 to 5) for verifiers selected for analysis. Twenty-six verifiers were selected, distributed in six principles, according to attributes that SER International understands as being essential in a self-sustaining ecosystem, such as: soil physical conditions, absence of threats, occurrence of external flows, ecosystem functionality, community and species composition. The chosen verifiers were scored, based on a reference ecosystem, to give an overview of the evolution of the restoration ecosystem. It was concluded that the environment is moving towards a self-sustaining trajectory, since more than 70% of the verifiers were considered five stars, a maximum score. However, some verifiers were less punctuated, revealing potential for improvements over time. The applied method was considered effective for the evaluation and should not be applied punctually but periodically. Improvements are still possible based on the attribution of notes to the verifiers, in order to minimize the subjectivity of analyzes.

Key words: Ecosystems reference. Ecological restoration. Resilience.

1. INTRODUÇÃO

É recente a abordagem brasileira da restauração ecológica como método científico (BECHARA, 2006), pois, anteriormente, ela consistia da aplicação de pacotes de técnicas silviculturais nos projetos de restauração (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Devido à ausência de embasamento ecológico em projetos de restauração já realizados, além da diversidade de ecossistemas existentes no país e diferentes entendimentos do que vem a ser a restauração, ainda incipiente no país, surgem questionamentos acerca da eficácia desses projetos de restauração. Há, assim, a necessidade de avaliação das áreas restauradas, para verificar se as práticas adotadas assistem ao objetivo da restauração (CASTANHO, 2009).

O monitoramento da restauração é exigido para identificar se a trajetória da restauração pode resultar num ecossistema autossustentável e funcional ou se intervenções extras serão necessárias para a remoção de prováveis barreiras ou filtros (MCDONALD et al., 2016). Ele pode ser realizado por comparação direta com outras áreas não perturbadas, análise de atributos da área em recuperação ou análise da trajetória, mediante ecossistemas referências (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION -SER, 2004), para que se possa estimar o nível de sucesso da restauração (RUIZ-JAÉN; AIDE, 2005).

O ecossistema referência informa os objetivos do projeto de restauração (MCDONALD et al., 2016), bem como serve para balizar o posterior monitoramento (SER, 2004). Para a sua escolha, devem ser consideradas as condições abióticas, incluindo substratos, recursos hidrológicos, fluxos de energia, ciclos de nutrientes, ciclos de perturbação e seus causadores, bem como condições da biota, como análise da composição de espécies, estrutura da comunidade (complexidade e configuração das espécies) e funcionalidade

(processos abióticos e biofísicos subjacentes e dinâmica comunitária de organismos) (McDONALD et al., 2016).

A literatura recomenda considerar, preferencialmente, diferentes ecossistemas para análise mais robusta e confiável, de forma a serem representados diferentes estados possíveis (McDONALD et al., 2016; SER, 2004) e que, quanto mais informações se têm a respeito dessa referência, mais valiosa se torna (SER, 2004). Entretanto, dispor de uma gama de informações relevantes acerca das características bióticas e abióticas de diferentes ecossistemas para referenciar um projeto de restauração pode ser custoso e demorado. Assim, escolher um ecossistema referência não é tarefa simples; exige experiência e julgamentos ecológicos sofisticados (SER, 2004).

Outro ponto a considerar é a dinâmica de ecossistemas, diversas condições ambientais existentes e as variadas formas de degradação a que um ecossistema pode ter sido submetido e refaz seu caminho. Ehrenfeld (2000) defende um planejamento e um posterior monitoramento feitos com abordagem realista de um ecossistema em restauração ou, como o autor denomina, “ecossistema criado, mas funcional”.

Cabe salientar que a referência não é um modelo a ser copiado, numa trajetória determinística (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009), mas deve ser capaz de fornecer possíveis valores e caracteres para situar o ecossistema em restauração e mostrar os caminhos por onde a restauração ecológica percorre ou tem potencial para percorrer.

Apesar de ser fundamental para a avaliação da eficácia das ações de restauração e, para a redefinição das metodologias, o monitoramento periódico de áreas restauradas com espécies nativas ainda é escasso e recente (MELO; DURIGAN, 2007), sendo necessários maiores estudos e definição de protocolos confiáveis (BELLOTO et al., 2009). Os indicadores podem fornecer um

diagnóstico ambiental da área e servir como um sinal de alerta ao sucesso ou ao insucesso da restauração (DALE; BEYLER, 2011).

A dificuldade de definição de protocolos padronizados se dá, por exemplo, pela diversidade de objetivos em diferentes projetos de restauração (EHRENFELD, 2000) e pela diversidade de indicadores que podem ser utilizados para a avaliação da reconstrução de processos ecológicos mantenedores da dinâmica vegetal (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

De forma geral, as principais variáveis utilizadas para a avaliação e o monitoramento de áreas em processo de restauração podem ser divididas em três categorias distintas que são a diversidade, a estrutura da vegetação e os processos ecológicos (RUIZ-JAÉN; AIDE, 2005).

Já foram realizadas tentativas de estabelecimento de protocolos de monitoramento da sustentabilidade de florestas com objetivos produtivos (HERWEG; STEINER; SLAATS, 1998; RITCHIE et al., 2000) e algumas tentativas isoladas, ajustadas para avaliação da restauração de ecossistemas (PEREIRA, 2011; REIS, 2008; SILVA et al., 2015).

McDonald et al. (2016) propuseram um guia para padronizar a prática da restauração ecológica, bem como o monitoramento das áreas. Neste guia, é proposta a definição dos seguintes atributos-chave essenciais para a avaliação: ausência de ameaças externas e internas, boas condições físicas do solo e da água, composição de espécies, diversidade estrutural, existência de fluxos externos e funcionalidade do ecossistema. Dentro de cada atributo devem ser incorporados verificadores ou estimadores, para mensurar e categorizar em classes de 1 a 5, sendo esta última a maior nota, baseada em ecossistemas referência para a área avaliada. Este protocolo encontra respaldo por ser fruto de trabalho de pesquisadores da Sociedade Internacional para Restauração Ecológica, e ser o mais recente encontrado em literatura.

Buscou-se, neste trabalho, aplicar o modelo de monitoramento da restauração ecológica proposto pela SER Internacional (McDONALD et al., 2016), como forma de testar a viabilidade do procedimento proposto e avaliar, pontualmente, se há autossustentabilidade em um fragmento de floresta em restauração há mais de 20 anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Escolha das áreas avaliadas

Foram selecionadas duas áreas situadas no entorno da Usina Hidrelétrica (UHE) de Camargos, em Nazareno, MG, sendo um remanescente florestal referência e uma área em processo de restauração há mais de 20 anos. A vegetação natural da região varia de Floresta Estacional Semidecidual Montana a regiões de cerrado no sentido lato (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982). O tipo de solo original é Latossolo Vermelho típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), de fertilidade natural muito baixa. O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, transita entre Cwa e Cwb (REBOITA et al., 2015). Maiores informações em Faria (2012) e Nogueira (2013).

A área referência, ou fragmento florestal conservado (FC), é um remanescente de floresta estacional semidecidual, com área de 1,23 ha. Este ecossistema não tem histórico de antropização direta, como a região do seu entorno, que sofreu perturbações com a construção da barragem. Apesar de seu tamanho reduzido, representa bem as condições de vegetação do entorno.

A área em processo de restauração ou fragmento em restauração (FR) é uma porção de área de 2,79 ha que teve toda a sua vegetação suprimida, sendo utilizado como área de empréstimo na construção da barragem e seu solo mantido

exposto por três décadas, impossibilitando a regeneração natural da vegetação. As práticas de recuperação deste fragmento florestal foram iniciadas em 1992, podendo ser encontradas na literatura (DAVIDE; FARIA, 1997).

Ambas as áreas têm parcelas permanentes de 400 m² alocadas de forma sistemática desencontrada (COCHRAN, 1977), onde estudos foram e ainda são conduzidos para contínua avaliação do projeto de restauração.

2.2 Escolha dos critérios utilizados para avaliação

De forma a guiar a análise, foi utilizado o sistema hierarquizado de Ritchie (C&I). Assim, foram elencados, primeiramente, os princípios do monitoramento, com base nos nove atributos de um ecossistema restaurado (SER, 2004).

Posteriormente, foram escolhidos seis critérios, utilizando o que McDonald et al. (2016) denominam atributos-chave. Dentro de cada atributo-chave ou critério foram selecionados, pelo menos, três indicadores e respectivos verificadores, com base nos mais recentes estudos realizados no local pela equipe do Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF), do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), bem como revisão literária e reflexão acerca dos processos envolvidos na restauração ecológica.

No total, foram verificados 24 indicadores, dentro dos seis princípios e critérios definidos para monitoramento da autossustentabilidade (Tabela 3-1).

Tabela 0-1. Definição dos princípios, critérios, indicadores e verificadores avaliados no monitoramento de ecossistema em processo de restauração florestal no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG, e suas respectivas fontes de coleta de dados. Em que SB=soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica

<i>Princípio</i>	<i>Critério</i>	<i>Indicador</i>	<i>Verificadores</i>	<i>Fonte LASERF*</i>
<i>O ambiente físico do ecossistema apresenta condições ideais para suportar populações reprodutivas?</i>	<i>Condições físicas de solo</i>	Fertilidade de solo	CTC	Nogueira (2013)
		Fertilidade de solo	SB	Nogueira (2013)
		Compactação do solo	Densidade	Nogueira (2013)
		Estoque de carbono no solo	Estoque de carbono	Nogueira (2013)
		Ausência de processos erosivos	% de área erodida	Mapeamento deste trabalho e idas a campo
<i>As ameaças potenciais à integridade do ecossistema foram eliminadas ou reduzidas?</i>	<i>Ausência de ameaças</i>	Espécies invasoras	Indivíduos invasores na regeneração natural	Souza (2014)
		Gramíneas exóticas invasoras	% área ocupada por floresta (ausência de clareira com gramíneas exóticas invasoras)	Mapeamento deste trabalho e idas a campo
		Uso do solo na matriz de entorno	% usos no entorno que sejam ameaças	Mapeamento deste trabalho

(...) Continuação

<i>Existe reestabelecimento de ligações e conectividade para migração e fluxo entre áreas?</i>	<i>Fluxos externos</i>	Origem da comunidade regenerante	% de espécies da comunidade regenerante que vieram de fora	Souza (2014)
		Conectividade com outras áreas de florestas	% do perímetro conectado com áreas naturais	Mapeamento deste trabalho
		Semelhança entre regenerantes em restauração e estrato arbustivo-arbóreo referência	Similaridade de Sorensen na regeneração natural na área em restauração e estrato arbustivo-arbóreo da referência	Faria (2012) e Souza (2014)
<i>Os processos funcionais da comunidade florestal são restaurados?</i>	<i>Funcionalidade do ecossistema</i>	Alocação de biomassa vegetal	Biomassa alocada no estrato arbustivo-arbóreo e sistema radicular	Faria (2012) e Nogueira (2013)
		Grupos funcionais	Classificação em grupos funcionais favoráveis	Faria (2012)
		Interações planta-animal	% de espécies zoocóricas (estrato arbustivo-arbóreo e regenerantes)	Faria (2012) e Souza (2014)
<i>A integridade da estrutura da comunidade florestal é restaurada?</i>	<i>Estrutura da comunidade</i>	Cobertura do povoamento	Área basal	Faria (2012)
		Estratificação vertical	Valor fitossociológico do estrato arbustivo-arbóreo médio	Faria (2012)
		Fechamento do dossel	Índice de fechamento do dossel	Souza (2014)
		Densidade regenerantes	Densidade regeneração natural	Souza (2014)
		Densidade estrato arbustivo-arbóreo	Densidade estrato arbustivo-arbóreo	Faria (2012)

(...) Continuação

<i>O processo sucessional e a composição de espécies são restaurados?</i>	<i>Composição das espécies</i>	Evolução sucessional	% não pioneiras (estrato arbustivo-arbóreo)	Faria (2012) e
		Evolução sucessional	% não pioneiras (regeneração natural)	Souza (2014)
		Composição nativa de espécies	% espécies nativas	Faria (2012)
		Diversidade	Diversidade de Shannon (estrato arbustivo-arbóreo)	Faria (2012)
		Diversidade	Diversidade de Shannon (regeneração natural)	Souza (2014)

* Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF), Departamento de Ciências Florestais, DCF.

2.3 Levantamento dos dados para análise

Os dados foram obtidos em coletas de campo realizadas nas áreas, 20 anos após iniciado o processo de restauração.

✓ O inventário do estrato arbustivo arbóreo foi realizado em cinco parcelas de 400 m² (20x20 m) em cada área, abrangendo todos os indivíduos com diâmetro a 1,30 m do solo maiores ou iguais a 5 cm ($DAP \geq 5$ cm). Por meio do inventário arbustivo-arbóreo e de equações alométricas desenvolvidas para a fisionomia da região foram determinados os estoques de carbono do estrato arbóreo. Maiores detalhes no capítulo 2.

✓ Para análise da regeneração natural foram utilizadas vinte parcelas permanentes de 1 m² em cada área. Todos os indivíduos com altura superior a 10 cm e com diâmetro a 1,30 m do solo menores que 5 cm ($H > 10$ cm e $DAP < 5$ cm) foram registrados. Para a determinação do índice de fechamento do dossel foram feitas fotografias (resolução 3.648 x 2.736 pixels) com câmera digital, posicionada com a lente paralela ao dossel a 1 m do solo, com auxílio de um tripé nivelado. Todas as fotografias foram tiradas em condições de céu limpo, e localizadas no meio das parcelas demarcadas para avaliação da regeneração natural.

✓ As amostras de solo e de raízes foram coletadas em trincheiras de 0,5 m³, abertas nas parcelas de amostragem do estrato arbóreo, sendo aberta uma trincheira em cada parcela de 400 m². Por meio de análises de combustão a seco de amostras de solo e raízes foram determinados os respectivos teores e estoques de carbono. Maiores detalhes no capítulo 2.

O levantamento de dados foi realizado pela equipe de pesquisa do LASERF-DCF/UFLA, no decorrer do ano de 2012 (Projeto CNPq/CTHidro). Alguns destes dados foram analisados, originando trabalhos distintos (FARIA, 2012; NOGUEIRA, 2013; SOUZA, 2014).

Foi realizado mapeamento das áreas estudadas para a determinação de percentual do perímetro conectado com áreas naturais (abrangem corpos d'água ou solo sob vegetação nativa ou implantada), presença de erosão nas áreas, presença de clareiras com gramíneas invasoras e usos considerados ameaças no entorno. Este mapeamento foi realizado em 2017, neste monitoramento juntamente com visitas a campo, para verificação.

Para este mapeamento, foram obtidas imagens por meio do programa SAS Planet (resolução espacial de 1,11 pixels). Para a classificação da cobertura do solo foi utilizado o programa eCognition Developer. Foi feito um mosaico das imagens no ArcGis 10.1 e, posteriormente, foi enviado o mosaico para o eCognition Developer, para segmentação dos objetos e posterior classificação.

Foram classificados os usos de solo em pastagem, solo exposto, represa, áreas florestais e uso antrópico no entorno das áreas em estudo, num raio (buffer) de 150 m. Depois de classificada a imagem, os vetores foram exportados para o Arcmap, em que foram calculadas as áreas de cada classe de uso do solo e suas devidas porcentagens.

Para a definição da existência de ameaças no entorno, foi analisado o buffer (ArcMap) de 150 m ao redor das área e o histórico do entorno. Foram consideradas como ameaças os riscos de qualquer supressão da vegetação, o fogo, o gado e as gramíneas invasoras.

2.4 Atribuição de notas

Todos os verificadores avaliados foram considerados de similar importância relativa, ou seja, não foram atribuídos pesos diferenciados a nenhum deles.

A atribuição das notas de cada verificador foi feita com base nos valores encontrados para o ecossistema referência, sendo este considerado nota cinco,

valor máximo, de acordo com McDonald et al. (2016). A partir dele, foram obtidos os valores para as outras categorias.

Para verificadores que tinham dados coletados em todas as parcelas permanentes, em ambas as áreas, foi realizada a classificação com base no estabelecimento de intervalos de confiança (Tabela 3-2), pois foi possível determinar valores de desvios padrões e médias das parcelas.

Tabela 0-2. Parâmetro de classificação dos verificadores e atribuição de notas de verificadores de autossustentabilidade para um fragmento de floresta em restauração, com base num ecossistema de referência

Nota	5	4	3	2	1
	estrelas	estrelas	estrelas	estrelas	estrelas
Parâmetro	$\mu - 1\sigma$	$\mu - 2\sigma$	$\mu - 3\sigma$	$\mu - 4\sigma$	$\mu - 5\sigma$

*Sendo: μ média do verificador encontrada para o fragmento referência, σ desvio padrão da média do verificador encontrada para o fragmento referência. Fonte: Da autora (2017).

A classificação das espécies em grupos funcionais baseou-se na classificação proposta por Pereira (2006), que categoriza as espécies em sete grupos que são: 1) pioneira atrativa à fauna; 2) pioneira ativadora de sucessão; 3) pioneira atrativa à fauna e ativadora da sucessão; 4) clímax exigente de luz atrativa à fauna; 5) clímax exigente de luz ativadora da sucessão; 6) clímax exigente de luz à sombra. Entende-se por ativadoras da sucessão espécies que colonizam solos alterados e melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo para que espécies mais exigentes possam se estabelecer na área (PEREIRA, 2006). Maiores detalhes das classificações funcionais nos Anexos.

Foi considerado o percentual de espécies pertencentes aos grupos 3,6 e 7, por serem grupos que abrangem maior funcionalidade dentro da classificação funcional proposta e por estarem presentes em maiores proporções no ecossistema referência.

A classificação das espécies com base nos estratos foi feita da seguinte forma, proposta por Finol (1971):

- ✓ Estrato inferior: $H < H_m - 1\sigma$;
- ✓ Estrato médio: $H_m - 1\sigma \leq H \leq H_m + 1\sigma$;
- ✓ Estrato superior: $H > H_m + 1\sigma$.

em que H = altura do indivíduo considerado; H_m = altura média do povoamento; σ = desvio padrão da média.

Após classificação dos indivíduos inventariados nos estratos, foi considerado o valor fitossociológico, ou percentual de indivíduos, no estrato médio, uma vez que este estrato apresenta maior densidade de indivíduos na área referência e representa indivíduos mais bem estabelecidos na comunidade vegetal, com maior chance de sobrevivência.

Verificadores que apresentaram valores percentuais e que não tinham repetições em sua análise, como percentual de espécies nativas e percentual do perímetro conectado por florestas, entre outros, foram assim considerados: valores do fragmento referência considerados como 100% e daí extrapolados os valores percentuais correspondentes para os valores encontrados para o fragmento em restauração. A classificação foi realizada dessa forma em função da inexistência de repetições para o estabelecimento de limites, como descrito anteriormente (Tabela 3.2).

Após definidas as notas, verificou-se se elas estavam de acordo com classificações propostas por McDonald et al. (2016) (Anexos).

3. RESULTADOS

As médias encontradas para cada verificador, em ambos os ecossistemas avaliados, bem como os valores dos limites superiores e inferiores das classes referentes às notas de 1 a 5, e a nota atribuída a cada verificador podem ser visualizados na Tabela 3-3.

As notas finais encontradas para cada verificador analisado podem ser visualizadas no Gráfico 3-1 e na Tabela 3-4.

(...) Continuação

Verificadores	μ FR	μ FC	σ FC	Obs.	Nota 5		Nota 4		Nota 3		Nota 2		Nota 1	
					LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
% perímetro conectado com áreas naturais		66,69		100			80,00	100,00	60,00	80,00	40,00	60,00	20,00	40,00
Similaridade de Sorensen na RN na área em restauração EAA da referência		0,33			0,80	1,00	0,60	0,80	0,40	0,60	0,20	0,40	0,00	0,20
Biomassa alocada no estrato arbustivo-arbóreo e sistema radicular	142,14	147,42	26,48		120,95	147,42	94,47	120,95	68,00	94,47	41,52	68,00	15,05	41,52
Classificação em grupos funcionais favoráveis	80,25	100,00	0	62,3 sendo 100%	80,00	100,00	60,00	80,00	40,00	60,00	20,00	40,00	0,00	20,00
% de espécies zoocóricas (estrato arbustivo-arbóreo e regenerantes)	86,40	100,00		77,58 como 100%	80,00	100,00	60,00	80,00	40,00	60,00	20,00	40,00	0,00	20,00
Área basal	28,62	28,82	5,440		23,38	28,82	17,94	23,38	12,50	17,94	7,06	12,50	1,62	7,06
Valor fitossociológico do estrato arbustivo-arbóreo médio	78,58	66,52		μ FR > μ FC	<u>x</u>	<u>x</u>								
Densidade regeneração natural (ind./ha)	57083	55500		μ FR > μ FC	<u>x</u>	<u>x</u>								
Densidade estrato arbustivo-arbóreo (ind./ha)	1515	1716		1716 como 100%	80,00	100,00	60,00	80,00	40,00	60,00	20,00	40,00	20,00	0,00
Índice de Fechamento do Dossel	0,83794	0,88941	0,02680		0,86	0,89	0,84	0,86	0,81	0,84	0,78	0,81	0,76	1,00
Espécies arbustivo-arbóreas não pioneiras%	34,20	69,80		69,8 como 100%	80,00	100,00	60,00	80,00	40,00	60,00	20,00	40,00	0,00	20,00

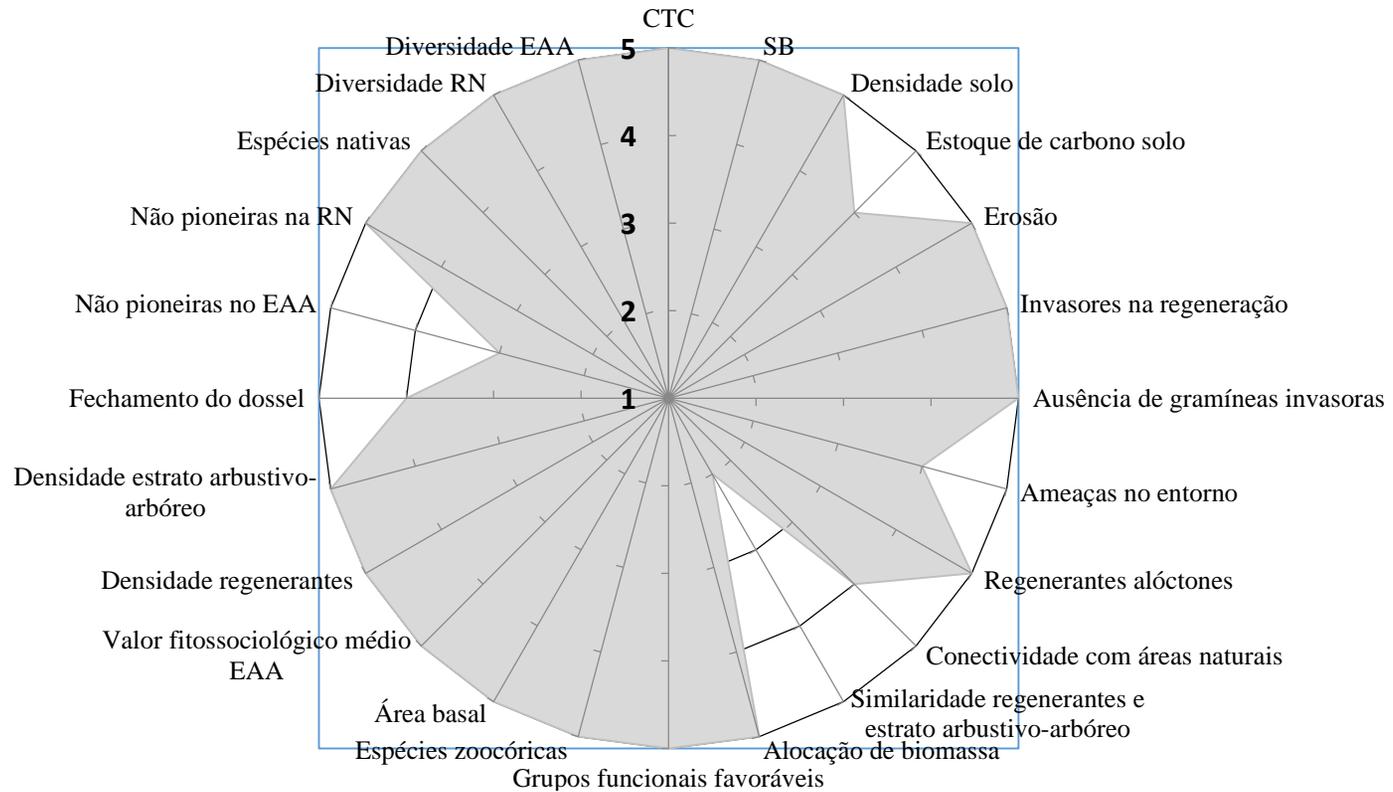


Gráfico 0-1. Representação gráfica das notas atribuídas a verificadores de autossustentabilidade para um fragmento de Floresta Estacional em restauração, com base num ecossistema de referência, no entorno da UHE de Camargos, MG.

(...continuação) Em que (Gráfico 3-1): CTC (Capacidade de troca catiônica); SB (Soma de bases); EAA (estrato arbustivo arbóreo); RN (regeneração natural).

Tabela 0-4. Notas dos verificadores de autossustentabilidade em ecossistema em restauração, baseado em ecossistema referência.

Critério	Verificadores	Nota
<i>Condições físicas de solo</i>	Capacidade troca catiônica	5
	Soma de bases	5
	Densidade solo	5
	Estoque de carbono solo	4
	Percentual de áreas erodidas	5
<i>Ausência de ameaças</i>	Indivíduos invasores na regeneração	5
	Percentual de área ocupada por floresta (ausência de clareira com gramíneas exóticas invasoras)	5
	Percentual de usos no entorno que sejam ameaças	4
<i>Fluxos externos</i>	Percentual de espécies regenerantes que vieram de fora	5
	Percentual do perímetro conectado com áreas naturais	4
	Similaridade Sorensen entre regenerantes do ecossistema restaurado e estrato arbustivo-arbóreo da referência	2
<i>Funcionalidade do ecossistema</i>	Biomassa alocada no estrato arbustivo-arbóreo e sistema radicular	5
	Grupos funcionais favoráveis	5
	Percentual de espécies zoocóricas nos estratos arbustivo-arbóreos e regenerantes	5
<i>Estrutura da comunidade</i>	Área basal	5
	Valor fitossociológico do estrato médio	5
	Densidades regenerantes	5
	Densidade estrato arbóreo	5
	Fechamento do dossel	4
<i>Composição das espécies</i>	Percentual de não pioneiras no estrato arbustivo-arbóreo	3
	Percentual de não pioneiras no estrato regenerante	5
	Espécies nativas	5
	Diversidade no estrato regenerante	5
	Diversidade no estrato arbustivo-arbóreo	5

4. DISCUSSÃO

Pelo procedimento aplicado, conforme se pode observar (Gráfico 3-1), o fragmento com 20 anos após iniciada a restauração se assemelha ao fragmento conservado referência na maioria dos verificadores (75%), que são os seguintes: capacidade de troca catiônica; soma de bases; densidade de solo; ausência de processos erosivos; ausência de indivíduos invasores na regeneração natural; ausência de clareira com gramíneas exóticas invasoras; percentual de regenerantes vindos de fora; alocação de biomassa no estrato arbustivo-arbóreo e sistema radicular; presença de grupos funcionais favoráveis; percentual de espécies zoocóricas nos estratos arbustivo-arbóreo e regenerantes; área basal; valor fitossociológico do estrato médio; densidade da regeneração natural e do estrato arbóreo; percentual de espécies nativas e diversidade dos estratos arbóreo e regenerante.

4.1 O ambiente físico do ecossistema apresenta condições ideais para suportar populações reprodutivas?

A área em restauração está sob um Latossolo distrófico ($V \approx 28\%$), com valores baixos para os verificadores capacidade de troca catiônica ($t \approx 1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e soma de bases ($1,37 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). De forma geral, em ambas as áreas, os nutrientes estão todos abaixo do nível crítico. Apesar de os valores apresentados pelos verificadores de solo terem sido ruins de forma geral, eles representam a realidade da região, uma vez que os solos são de fertilidade natural muito baixa, como verificado em um levantamento 2 mil km^2 de área sob influência da UHE de Camargos (GIAROLA, 1994). Assim, o ambiente em restauração recebeu pontuação cinco, com base no ecossistema referência.

Por meio de visitas a campo e classificação de solo por mapeamento, verificou-se que processos erosivos são ausentes dentro do ecossistema em restauração, bem como no ecossistema referência.

Com relação ao carbono estocado no solo, os valores foram divergentes com o ecossistema referência, apresentando maiores estoques ($217,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$) do que o ecossistema em restauração ($169,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$), cuja pontuação foi quatro. Esta diferença, provavelmente, se deu pelo histórico de uso e degradação do solo desta área, por ter sido utilizada como área de empréstimo de solo para a construção da barragem, permanecendo ainda longo período de tempo exposto. Sabe-se que o montante de carbono estocado num solo sofre muita influência de seu histórico de uso e/ou perturbação (LAL, 2008; NAIR et al., 2011).

A análise desse verificador é de suma importância, pois o carbono alocado num solo representa 58% da matéria orgânica (SILVA; MENDONÇA, 2007), que é um importante indicador de qualidade de um solo, relacionada a vários benefícios pontuais e ou não pontuais numa área, como salienta Lal (2008).

As práticas de restauração implantadas na área estão caminhando para incrementar o estoque de carbono no solo, entretanto, parece que o tempo decorrido ainda é insuficiente para que os valores de estoque sejam similares ao ecossistema referência. Acredita-se que o ecossistema em restauração ainda não atingiu sua capacidade máxima de estocagem de carbono no solo.

De forma similar, Camargo et al. (1999) e Neumann-Cosel et al. (2011) também observaram que um período de duas décadas ou menos não foi suficiente para que houvesse uma similaridade de estoques de carbono no solo entre florestas maduras e secundárias. Brown e Lugo (1990) e Lugo, Sanchez e Brown (1986) relatam serem necessários, no mínimo, cinquenta anos para que carbono no solo seja recuperado, em ambientes florestais.

Apesar de menor valor de carbono alocado no solo e baixa fertilidade natural da área, o ambiente físico tem suportado as populações reprodutivas que têm se estabelecido de forma positiva.

4.2 As ameaças potenciais à integridade do ecossistema foram eliminadas ou reduzidas?

A ausência de indivíduos invasores, ou gramíneas agressivas no sub-bosque e o baixo percentual de solo exposto (1,43%) no ecossistema em restauração representam um avanço considerável, por indicarem baixo grau de ameaças ao ecossistema. Ambos os verificadores receberam nota cinco.

Verifica-se relação direta destes com outro verificador, o fechamento provocado pelo dossel, discutido posteriormente. Como afirmam Melo, Durigan e Gorenstein (2007), um maior fechamento do dossel influencia diretamente a diminuição da luminosidade incidente no solo, controlando a competição com gramíneas heliófitas e o favorecimento da regeneração natural, além de diminuir o impacto da gota de chuva, por meio da interceptação física.

Parece existir relação inversa entre densidade de gramíneas invasoras e densidade e altura de indivíduos da regeneração natural, evidenciando prejuízos decorrentes da evolução da comunidade florestal em função da presença de invasoras. Esta relação foi verificada em florestas em regeneração em Brasília, DF, por Guilherme (2000).

O pequeno percentual de solo exposto (1,43%) existente não constitui ameaça, por não haver indícios de processos erosivos; serve, ainda, como estímulo para a regeneração de espécies secundárias, que se adaptam a variações de incidência de luz nas florestas, como destacam Martins et al. (2008), o que pode ser entendido como positivo.

O terceiro verificador, presença de ameaças no entorno, obteve nota quatro. Neste verificador, foram consideradas como ameaças os riscos de qualquer supressão da vegetação, fogo, gado e gramíneas invasoras.

A área é mantida isolada, sendo o seu acesso restrito. Não existem riscos de entrada de gado na área, nem supressão da vegetação. A principal causa de degradação na área era pontual e foi mitigada com a finalização da construção da barragem. A área é mantida pela Cemig, sendo manejada de forma a garantir a segurança da Usina.

Existem, na proximidade da área, algumas casas de veraneio, a cerca de 550 m, na porção leste. Essas casas são isoladas das áreas em restauração, apesar de próximas. Entretanto, em 2012, houve um incêndio numa porção de área em restauração, mais perto das residências. Em função desse risco de incêndios, considerou-se a nota quatro para esse verificador, visto que o fogo atuaria no sentido de minimizar a diversidade de banco de sementes e regeneração natural, pois as áreas avaliadas não se tratam de ecossistemas que evoluíram com o fogo como fator de seleção, como o Cerrado (MELO; DURIGAN; GORENSTEIN, 2007).

Considera-se, assim, que algumas ameaças potenciais à integridade do ecossistema em restauração foram eliminadas, pela ausência do agente de degradação original e o isolamento e o acesso restrito imposto pela Cemig na área. Contudo, ameaças como incêndios são reduzidas, mas ainda existem.

4.3 Existe o reestabelecimento de ligações e conectividade para migração e fluxo entre áreas?

O alto percentual (92%) de regenerantes vindos de fora (alóctones) do ecossistema em restauração - provenientes ou do ecossistema referência ou demais áreas próximas - é relevante na análise da autossustentabilidade desta área,

uma vez que representa a importância de fluxos como dispersão de sementes para a dinâmica da regeneração. Os fluxos entre as áreas estão ocorrendo, e são muito expressivos, como também mostrou Souza (2014), em estudo nas mesmas áreas no entorno da UHE de Camargos. Esse percentual evidencia a restauração de processos como a dispersão e a chuva de sementes, tão importantes na dinâmica, genética, distribuição geográfica e viabilidade das comunidades em longo prazo, como ressaltam Yamamoto, Kinoshita e Martins (2007).

Com relação à conectividade do perímetro do ecossistema avaliado, 66,7% são ligados a áreas naturais, que são rio represado (11,6%), ecossistema referência (10,7%) e demais áreas em restauração e áreas em transição cerrado (44,4%). Existe uma porção do perímetro conectada com uma barragem de terra que forma o complexo da usina, que deve ser mantida coberta com gramíneas por segurança. Em função desta porção, o ecossistema em restauração recebeu nota 4 em conectividade.

Quando se compara a semelhança entre a comunidade regenerante do ecossistema em restauração com a comunidade arbustiva-arbórea do ecossistema referência, verifica-se baixa similaridade florística (índice de similaridade de Sorensen = 0,33). Esperava-se maior similaridade, em função da proximidade das áreas. Apesar disso, em função do alto percentual de regenerantes alóctones, infere-se fluxo com as demais áreas no entorno do ecossistema em restauração.

Apesar de menor percentual de conectividade com áreas naturais, há fluxos não só entre a área em restauração com a área referência, mas entre as demais áreas no entorno. A dispersão de sementes desempenha seu papel, havendo indícios da integração do ecossistema em restauração na paisagem por meio do restabelecimento de funções, como dispersão de propágulos e fluxos entre áreas.

4.4 Os processos funcionais da comunidade estão sendo restaurados?

Os mais de vinte anos decorridos da restauração permitiram a restauração da alocação de biomassa no estrato arbóreo e no sistema radicular. A análise deste verificador mostrou que a vegetação estabelecida na área em restauração acumulou biomassa ($142,14 \text{ Mg ha}^{-1}$) de forma similar ao ecossistema referência ($147,42 \text{ Mg ha}^{-1}$), demonstrando o aumento da resiliência mediante as práticas de restauração. Além disso, a área em restauração apresenta valor de biomassa próximo a valores encontrados por demais Florestas Estacionais Semidecíduais consideradas maduras ($121,05$ a $131,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), no estado de Minas Gerais, conforme reportado por Scolforo et al. (2008) e discutido também no capítulo 2.

Com relação aos grupos funcionais avaliados - pioneiras atrativas à fauna e ativadora da sucessão; clímax exigente de luz atrativas à fauna e ativadora da sucessão e clímax tolerante à sombra –, o percentual de espécies que se enquadram nesses grupos no ecossistema em restauração foi considerado nota cinco, mesmo sendo um pouco menor que o encontrado no ecossistema referência. Estes três grupos juntos correspondem a mais de 50% das espécies em ambas as áreas. As classificações foram propostas por Pereira (2006) e são baseadas em características como dispersão e polinização por animais, fixação de nitrogênio, capacidade de colonização de solos alterados, rápido crescimento e associação com micorrizas, distribuídos nos grupos de sucessão ecológica.

O percentual de espécies zoocóricas, terceiro verificador analisado, é importante, e foi escolhido por funcionar como indicativo de interações animal-planta, pois essas espécies apresentam frutos com estruturas nutritivas e/ou recobrimentos atrativos a animais, para serem consumidas e abandonadas, caracterizando, assim, uma relação mutualística (HELLENO et al., 2011). Os percentuais de espécies zoocóricas (77,6% ecossistema referência e 67,0% no ecossistema em restauração) foram considerados similares, sendo a estratégia de

dispersão mais comumente encontrada nos ecossistemas avaliados, assim como acontece em florestas tropicais (BUDKE et al, 2005).

Assim, a análise de verificadores de funcionalidade do ecossistema mostrou a restauração de importantes funções ecossistêmicas, como alocação de biomassa, interação planta-animal e predomínio de espécies que agregam funções importantes para o ecossistema. Este resultado é relevante, uma vez que o objetivo da restauração ecológica consiste no restabelecimento de aspectos funcionais além das estruturais (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009; SER, 2004).

4.5 A integridade da estrutura da comunidade florestal é restaurada?

A análise da cobertura proporcionada pela área basal do ecossistema em restauração mostrou que os valores encontrados (28,6 m²/ha) se assemelham ao apresentado pelo ecossistema referência (28,8 m²/ha), sendo, assim, atribuída nota cinco. Em literatura, para fragmentos de florestas estacionais semidecíduais nativas e em restauração, os valores parecem variar de 31 m²/ha (DURIGAN et al., 2000) a 20 m²/ha (CASTANHO, 2009).

A análise do valor fitossociológico dos estratos em ambas as áreas revelou mesma distribuição percentual nos três estratos, com maior valor fitossociológico para o estrato médio (66,56% e 78,58%, nos ecossistemas conservado e restaurado, respectivamente), sendo seguidos do estrato inferior e do estrato superior.

A densidade de indivíduos no estrato regenerante do ecossistema em restauração (57.083 ind./ha) foi maior que o encontrado no ecossistema referência (55.500 ind./ha), evidenciando a importância desse estrato para o desenvolvimento e a composição do ecossistema em restauração. A regeneração natural é importante indicador da capacidade de disseminação das espécies e do

momento inicial de sua dinâmica na ocupação do ambiente, como destacam Hosokawa, Moura e Cunha (2008).

A densidade de indivíduos no estrato arbustivo-arbóreo das áreas avaliadas foi de 1.716 ind./ha no ecossistema referência e 1.515 ind./ha no ecossistema em restauração, sendo que o último correspondeu a 88,3% do valor referência e a pontuação atribuída foi nota cinco.

A nota atribuída ao verificador índice de fechamento do dossel (IFD) foi quatro (83,8%), sendo considerada satisfatória. Este valor de IFD está próximo do valor do ecossistema referência, evidenciando condições de luminosidade que favorecem o estabelecimento de espécies de estágios sucessionais mais elevados. O valor encontrado caminha para estar de acordo com valores de IFD calculados para a região, 90,1% em florestas de galeria em Itutinga (VAN DEN BERG; SANTOS, 2003), estando mais alto do que o de outras áreas restauradas na mesma época e mesmo projeto (CEMIG/UFLA), na UHE de Camargos, com índices variando de 47% a 62% (SOUZA, 2014).

Concluindo, a área em restauração tem boa cobertura basal pelos indivíduos e pelas suas copas, a densidade de indivíduos se assemelha ao ecossistema referência, para ambos os estratos arbustivo-arbóreo e regenerante, sendo que em ambas as áreas predominam o estrato médio, seguido pelo estrato inferior e o superior. Assim, a área em restauração apresenta estrutura próxima à do ecossistema referência.

4.6 O processo sucessional e a composição de espécies são restaurados?

As áreas diferiram quanto ao percentual de espécies não pioneiras encontrado no estrato arbustivo-arbóreo, percentual este considerado baixo para o ecossistema em restauração (34,2%), evidenciando seu estágio inicial de sucessão,

o que lhe conferiu a nota três. O ecossistema referência apresentou 69,8% de espécies não pioneiras.

Estes resultados revelam o grau inicial de sucessão da área em restauração, com o predomínio de espécies pioneiras em sua composição. Apesar de haver, na literatura, a ideia de que, em decorrência de antropização e fragmentação de ecossistemas, a tendência é que estes apresentem uma hiperabundância de pioneiras (SILVA, 2014), e que o efeito de borda funciona como um condutor da flora de paisagens fragmentadas a um estágio inicial de sucessão ecológica (PUETZ et al., 2011), este fragmento de floresta em restauração é muito próximo ao ecossistema referência, sendo conectados numa extensão de 93 metros.

Entretanto, na comunidade regenerante há predomínio de espécies não pioneiras em ambas as áreas (aproximadamente 65% em ambas), o que revela que a área em restauração caminha para avanço sucessional. Este verificador recebeu nota cinco e se relaciona, ainda, a outro critério avaliado, a conectividade.

Apesar da existência de duas espécies exóticas no ecossistema, *Acacia mangium* (27 indivíduos) e *Acacia auriculiformis* (1 indivíduo), o percentual de espécies nativas (94%) se assemelha ao do ecossistema referência. Estas espécies fizeram parte do plantio realizado na década de 1990, cujo objetivo inicial era o rápido recobrimento de solo, visto que este havia permanecido exposto por 30 anos.

As acácias implantadas são leguminosas pioneiras, que apresentam grande rusticidade, rapidez de crescimento e, principalmente, têm papel importante na fixação de nitrogênio (VEIGA; CARVALHO; BRASIL, 2000). Elas foram escolhidas pela adaptabilidade às condições edafoclimáticas brasileiras, sobretudo em solos pobres, ácidos e degradados (ANDRADE; COSTA; FARIA, 2000; BALIEIRO et al., 2004). Na época do plantio, eram muito utilizadas em recuperação de áreas degradadas, e cumprem papel

importante, como grande contribuinte na deposição e serapilheira, e consequente ciclagem de nutrientes (FARIA, 2012; NOGUEIRA, 2013).

Com relação aos índices de diversidade de Shannon-Wiener, tanto para o estrato regenerante quanto ao estrato arbustivo-arbóreo, não houve diferenças entre as áreas. Entretanto, os índices indicam baixa diversidade de espécies ($H \approx 3 \text{ nats.ind}^{-1}$) em ambas as áreas, quando comparadas a fragmentos florestais (menos de 1 ha) localizados na região, como Camargos (3,924 nats.ind^{-1}), Poço Bonito (4,204 nats.ind^{-1}), Bom Sucesso (4,331 nats.ind^{-1}), Itutinga (3,896 nats.ind^{-1}) e Madre de Deus de Minas (3,790 nats.ind^{-1}), como reportado por Van den Berg e Oliveira-Filho (2000).

O que se pode inferir pelo análise da composição é que o ecossistema em restauração apresenta baixa evolução sucessional no estrato arbustivo-arbóreo. Entretanto, a sucessão evolui em função de maior percentual de não pioneiras no estrato regenerante. Há predominância de espécies nativas nos ecossistemas e ambas as áreas apresentam baixa diversidade de espécies, quando comparadas aos fragmentos florestais da região.

Pelo exposto, um plantio de enriquecimento no ecossistema em restauração com espécies de estágio sucessional mais avançado é recomendável, visto que espécies pioneiras, em geral, têm ciclo de vida curto (SWAINE; WHITMORE, 1988). Mesmo que no estrato regenerante as espécies não pioneiras predominem, esse plantio garantiria a manutenção delas no ambiente em restauração a longo prazo, visto que as regenerantes podem não ter altura suficiente para substituir o estrato arbustivo-arbóreo nos próximos cinco a dez anos.

4.7 Aplicabilidade do método

O uso de uma metodologia como esta de monitoramento não é útil somente em uma avaliação individual ou pontual, mas também para fornecer uma imagem das tendências de mudança na autossustentabilidade ao longo do tempo, caso seja repetida em intervalos de tempo. Serve, assim, para verificar a evolução daqueles verificadores menos pontuados ao longo do tempo, por exemplo.

O gráfico com as notas recebidas por todos os verificadores fornece uma visão integrada dos aspectos ou atributos considerados na avaliação, sendo de fácil interpretação e análise, mesmo para leigos. É uma ferramenta simples e muito útil.

Apesar de o protocolo recomendar mais de um ecossistema referência, a referência utilizada neste trabalho tem muitas informações disponíveis, tornando-a valiosa, uma vez que o valor da referência aumenta com o aumento de suas informações (SER, 2004).

A dificuldade, portanto, consiste na atribuição das notas aos verificadores, uma vez que faltam, no protocolo, metodologias estatísticas a serem adotadas para melhor atribuição destas, de forma a diminuir a subjetividade da análise.

A utilização de um maior número de verificadores permite melhor compreensão sobre a existência de autossustentabilidade de uma área avaliada. Mas, ao mesmo tempo, pode tornar a análise muito exaustiva. A escolha dos melhores verificadores varia de uma área em restauração para outra, em função, por exemplo, do objetivo da restauração, da disponibilidade de coleta de dados e informações. Na escolha dos verificadores, deve-se levar em conta quais verificadores realmente trazem informações robustas a respeito do funcionamento do ecossistema.

Para análises de ecossistemas restaurados realizadas por órgãos ambientais, recomenda-se a adequação desta análise com o uso de verificadores mais simples e de fácil coleta. Muitos verificadores avaliados aqui são de difícil

e onerosa obtenção, como estoque de carbono, mas foram adicionados ao monitoramento por fornecerem informações robustas acerca da evolução da restauração e pela disponibilidade destes em ambas as áreas.

5. CONCLUSÕES

✓ A análise conjunta dos 24 verificadores permitiu inferir que o ecossistema em restauração caminha para uma trajetória de autossustentabilidade, uma vez que 75% de seus verificadores atingiram nota máxima.

✓ O ambiente em restauração, entretanto, apresenta algumas notas mais baixas, evidenciando potencial para aumento de estoque de carbono no solo, evolução sucessional, aumento de similaridade com vegetação do remanescente referência e maior fechamento do dossel. Recomenda-se um plantio de enriquecimento para garantir a manutenção de espécies de estágio sucessional mais avançado nos próximos anos, devido ao curto ciclo de vida das pioneiras.

✓ Alguns verificadores são difíceis de evoluir e, apesar de não atingirem nota máxima, são estáveis e representam a realidade da área, como conectividade e ameaças.

✓ Outros verificadores apresentaram nota máxima, mas, quando comparados ao de outras Florestas Estacionais Semidecíduais, são considerados baixos. Cabe salientar que a restauração deve levar em conta a realidade do ambiente em questão, e uma correta escolha do ecossistema referência é fundamental nesse ponto.

✓ O método empregado permite inferir sobre o progresso da restauração na área, devendo ser empregado de forma periódica, a fim de revelar a evolução da trajetória de verificadores menos pontuados e a manutenção de verificadores importantes.

✓ O uso de apenas um ecossistema referência, apesar de não recomendado, permitiu análise da trajetória da restauração, em função da existência de muitos dados coletados sobre a área, tornando-a valiosa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. B.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 777-785, out./dez. 2000.
- BALIEIRO, F. de C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.
- BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras**: floresta estacional semidecidual, Cerrado e Restinga. 2006. 248 p. Tese (Doutorado em Recursos florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BELLOTTI, A. et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto Bioatlântica, 2009. Cap. 3, p. 126-146.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n. 1, p. 53–64, May 1990.
- BUDKE, J. C. et al. Composição florística e estratégias de dispersão de espécies lenhosas em uma floresta ribeirinha, arroio Passo das Tropas, Santa Maria, RS, Brasil. **Iheringa**, Porto Alegre, v. 60, n. 1, p. 17-24, jan./jun. 2005.
- CAMARGO, P. B. et al. Soil carbon dynamics in regrowing forests of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 693–702, Aug. 1999.
- CASTANHO, G. G. **Avaliação de dois trechos de uma Floresta Estacional Semidecidual restaurada por meio de plantio, com 18 e 20 anos, no Sudeste do Brasil**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 555 p.

DALE, V. H.; BEYLER, S. C. Challenges in the development and use of Ecological indicators. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 3-10. Aug. 2011.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos Voluntários...** Viçosa: SOBRADE, 1997. p. 462-473.

DURIGAN, G. et al. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas? **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 471-485, 2010.

EHRENFELD, J. G. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. **Restoration Ecology**, Malden, v. 8, n. 1, p. 2-9, Mar. 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FARIA, R. A. V. B. **Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração**. 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2012, Lavras.

FINOL, U. H. Nuevos parâmetros a considerarse en el analisis estructural de las selvas virgenes tropicales. **Revista Florestal Venezolana**, Merida, v. 14, n. 21, p. 29-42, 1971.

GANDOLFI, S. Indicadores de avaliação e monitoramento de áreas em recuperação. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM MATAS CILIARES: MODELOS ALTERNATIVOS PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM MATAS CILIARES NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sigam, 2006. p. 44-52.

GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Metodologias de restauração florestal. In: FUNDAÇÃO CARGILL (Coord.). **Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2007. p. 109-143.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de**

Itutinga/Camargos (MG). 1994. 235 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura do dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília-DF. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 60-66, 2000.

HELLENO, R. H. et al. The role of avian 'seed predators' as seed dispersers. **The International Journal of Avian Science**, Oxford, v. 153, n. 1, p. 199-203, Jan. 2011.

HERWEG, K.; STEINER, K.; SLAATS, J. **Sustainable land management: guidelines for impact monitoring (Workbook and Toolkit)**. Berne: Centre for Development and Environment, 1998. 79 p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. UFPR; 2008. 163 p.

LAL, R. Carbon sequestration in soil. **CAB Reviews**, Oxford, v. 3, n. 30, p. 1-20, 2008.

LUGO, A. E.; SANCHEZ, M. J.; BROWN, S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 96, n. 2, p. 185-196, 1986.

MARTINS, S. V. et al. Caracterização do dossel e do estrato de regeneração natural no sub-bosque e em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 759-767, jul./ago. 2008.

McDONALD, T. et al. **International standards for the practice of ecological restoration**. Washington: Society for Ecological Restoration, 2016. 48 p.

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

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G.; GORENSTEIN, M. R. Efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de Floresta Estacional Semidecidual, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 927-934, out./dez. 2007.

MELO, A. G. C.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de

matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2007.

MELO, F. P. L. et al. On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 28, n. 8, p. 462-468, Aug. 2013.

NAIR, P. K. R. et al. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Org.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems**. New York: Springer Science, 2011. v. 8, p. 145-162.

NEUMANN-COSEL, L. et al. Soil carbon dynamics under young tropical secondary forests on former pastures: a case study from Panama. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1625-1633, May 2011.

NOGUEIRA, M. O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação**. 2013. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PEREIRA, G. M. **Proposta de procedimento para avaliação da autossustentabilidade em projetos de restauração florestal**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PEREIRA, I. M. **Estudo da vegetação remanescente como subsídio à recomposição de áreas ciliares nas cabeceiras do rio Grande, Minas Gerais**. 2006. 278 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PUETZ, S. et al. Fragmentation drives tropical forest fragments to early successional states: a modelling study for Brazilian Atlantic forests. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 222, n. 12, p. 1986-1997, June 2011.

REBOITA, M. S. et al. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 17, n. 11, p. 206-226, jul./dez. 2015.

REIS, D. N. dos. **Desenvolvimento de um índice para avaliação da recuperação de ecossistemas ciliares**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

RITCHIE, B. et al. **Criteria and indicators of sustainability in community managed forest landscapes**: an introductory guide. Bogor: CIFOR, 2000. 104 p.

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, 2009. 256 p.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247.

RUIZ-JAÉN, M. C.; AIDE, T. M. Restoration success: how is it being measured? **Restoration Ecology**, Malden, v. 13, n. 3, p. 569-577, Sept. 2005.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio atlântico em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. C. (Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais**: floresta estacional semidecidual e ombrófila. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 463-629.

SILVA, E. A. E. S. **Estruturação de assembleias arbóreas em uma paisagem fragmentada**: existe relaxamento na mortalidade dependente da densidade e distância? 2014. 170 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SILVA, R. G. et al. Monitoramento do processo de restauração ecológica de área de preservação permanente por análise espectro-temporal do sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 2110-2116.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SER. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

SOUZA, L. M. **A regeneração natural como indicador de sustentabilidade em áreas em processo de restauração**. 2014. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forest. **Vegetatio**, The Hague, v. 75, n. 1/2, p. 81-86, May 1988.

VAN DEN BERG, E.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Composição florística e estrutura fitossociológica de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e comparação com outras áreas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 231-253, dez. 2000.

VAN DEN BERG, E.; SANTOS, F. A. M. Aspectos da variação ambiental em uma floresta de galeria em Itutinga, MG, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 83-98, 2003.

VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; BRASIL, M. A. M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium*. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 103-107, 2000.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira**: classificação fisionômico ecológica da vegetação neotropical. Salvador: Ministério das Minas e Energia, 1982. 85 p.

YAMAMOTO, L. F.; KINOSHITA, L. S.; MARTINS, F. R. Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 553-573, jul./set. 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DO TRABALHO

Mesmo que tenha sido realizado num período em que não havia o embasamento da ecologia da restauração nas práticas da restauração aplicadas - não havia, por exemplo, o conhecimento de espécies funcionais ou, mesmo, da importância da restauração de aspectos funcionais do ecossistema, como ciclagem de carbono, alocação de biomassa, interação animal-planta -, as práticas adotadas pelo Projeto Mata Ciliar (Convênio UFLA/Cemig) para a restauração das áreas no entorno da UHE de Camargos permitiram a restauração de atributos importantes e fundamentais para a retomada da trajetória ecológica das áreas, como pôde ser verificado na análise deste trabalho.

As práticas realizadas na implantação das mudas foram de caráter principalmente silvicultural - preparo de solo, plantio de mudas de diferentes estágios sucessionais, escolhidas em função da disponibilidade de mudas em viveiros e uma adubação de plantio - como descrito na caracterização das áreas.

Entretanto, o ecossistema em restauração mostra sinais de evolução para a autossustentabilidade, por não terem sido mais realizadas intervenções ao longo desses 25 anos decorridos da sua implantação e pelo fato de a restauração ter evoluído ao longo desse tempo. Salienta-se que os dados mencionados e discutidos no segundo e no terceiro capítulos foram coletados aos vinte anos.

Com relação à estocagem de carbono no solo, apesar de a avaliação mostrar valores distintos entre o ecossistema referência e o restaurado, verifica-se a importância dessa função, uma vez que seu retorno tem ocorrido gradualmente. Mais do que mostrar o retorno da função estoque de carbono, esse verificador se relaciona com a reestruturação do solo, com a ciclagem de nutrientes e o restabelecimento da matéria orgânica, cujo retorno é fundamental para a saúde e a integridade de um solo.

Apesar de avanços consideráveis, existem, ainda, fragilidades na área que podem ser contornadas. Como exemplo cita-se a necessidade de um plantio de enriquecimento, com a introdução de espécies de estágio sucessional mais elevado, uma vez que predominam espécies pioneiras no ecossistema em restauração, e estas, por apresentarem ciclo de vida curto – cerca de 30 anos – e, provavelmente, estarem caminhando para a senescência. Apesar de o estrato regenerante apresentar maior percentual de espécies não pioneiras, um plantio de enriquecimento servirá para garantir a permanência das espécies não pioneiras, de ciclo de sucessão mais elevado, na área.

Interessante, ainda, é o fato de que esse plantio de enriquecimento inclua outras formas de vida, de forma a enriquecer a diversidade funcional e estrutural da área em restauração. Alternativa também seria a introdução de poleiros artificiais para a atração de animais e o conseqüente incremento na entrada de propágulos.

Cabem também medidas para proteção das áreas restauradas contra incêndios, apesar do controle de acesso a elas feito pela Cemig, nas áreas próximas às residências de veraneio.

Pela análise realizada neste trabalho, julgou-se satisfatória a evolução da área em restauração nesses mais de vinte anos, e acredita-se que, mesmo sem a adoção das medidas recomendadas, o ecossistema consegue manter sua trajetória evolutiva, embora tais medidas acelerem e facilitem o processo.

ANEXOS

Tabela An-0-1. Definição das pontuações dos verificadores, definidos pela SER Internacional. Traduzido de McDonald et al., (2016)

Número de estrelas	Resumo do resultado da recuperação
1 estrela	<p>O agente de deterioração foi mitigado. Os substratos foram remediados (fisicamente e quimicamente). Presença de algum nível de biota nativa. Futuros nichos de recrutamento não são impedidos por caracteres bióticos ou abióticos. Futuras melhorias para todos os atributos planejados e futuras práticas de manejo são garantidas.</p>
2 estrelas	<p>Ameaças de áreas adjacentes foram manejadas ou mitigadas. Presença de pequeno conjunto de espécies nativas características e baixa ameaça de espécies indesejáveis. Melhoria ou estabelecimento de conectividade com áreas adjacentes.</p>
3 estrelas	<p>Ameaças de áreas adjacentes foram manejadas ou mitigadas e baixa ameaça de espécies indesejáveis no local. Presença de moderado subconjunto de espécies nativas características são estabelecidos e começam a surgir algumas evidências de funcionalidade do ecossistema. Evidência de melhoria na conectividade da área.</p>
4 estrelas	<p>Presença de substancial subconjunto de espécies nativas características (representando todos os agrupamentos de espécies), fornecendo provas do desenvolvimento da estrutura da comunidade e início de processos ecossistêmicos (funcionalidade ecossistêmica). Maior conectividade estabelecida e ameaças de áreas adjacentes foram manejadas ou mitigadas.</p>
5 estrelas	<p>Estabelecimento de uma assembleia característica de biota até um ponto em que complexidade trófica e estrutural provavelmente se desenvolverá sem mais intervenção. Fluxos com outras áreas estabelecidos e elevados níveis de resiliência, permitindo o retorno, após regimes de perturbação apropriado. Arranjos de gestão a longo prazo no local.</p>

Tabela An-0-2. Esquema da restauração 1-5 estrelas no contexto de atributos-chave da autossustentabilidade de ecossistemas, definidos pela SER Internacional. Traduzido de McDonald et al., (2016).

ATRIBUTO	NOTA 1	NOTA 2	NOTA 3	NOTA 4	NOTA 5
Ausência de ameaças	Maiores deteriorações são descontinuas. O local tem posse e manejo garantido.	Ameaças de áreas adjacentes começam a ser manejadas ou mitigadas.	Todas as ameaças adjacentes estão sendo manejadas ou mitigadas a uma pequena extensão.	Todas as ameaças adjacentes estão sendo manejadas ou mitigadas a uma extensão intermediária.	Todas as ameaças sendo manejadas ou mitigadas a uma elevada extensão.
Condições físicas	Problemas físicos e químicos remediados (contaminação, erosão, compactação).	Propriedades químicas e físicas do substrato (pH, Salinidade) em curso para se estabilizarem dentro do alcance natural.	Substrato estabilizado dentro do alcance natural e suportando o crescimento da biota característica.	Substrato mantém seguramente as condições adequadas para crescimento contínuo e recrutamento da biota característica.	Substrato apresentando caracteres físicos e químicos altamente similares aos ecossistema referência que evidenciem a capacidade deste em sustentar indefinidamente espécies e processos.
Composição de espécies	Espécies nativas colonizando (com pelo menos 2% das espécies do ecossistema referência). Ausência de ameaças à regeneração e sucessões futuras.	Estabelecimento de um estoque de diversidade genética e de um pequeno subconjunto de espécies nativas característico (pelo menos 10% das espécies do ecossistema referência). Baixa ameaça local por espécies exóticas ou invasoras.	Um subconjunto de espécies-chave nativas (pelo menos 25% das espécies do ecossistema referência) estabelecendo proporções substanciais ao local. Ameaça local muito baixa por espécies indesejáveis.	Presença de diversidade substancial de caracteres da biota nativa (pelo menos 60% das espécies do ecossistema referência), com alta diversidade dos grupos de espécies. Ausência de ameaça local por espécies indesejáveis.	Alta diversidade de espécies características no local (mais que 80% das espécies do ecossistema referência), Alta similaridade com ecossistema referência. Potencial para aumento da colonização por mais espécies ao longo do tempo.

Diversidade estrutural	Um ou poucos estratos presentes e ausência de padronização espacial ou complexidade e trófica relativa ao ecossistema de referência.	Mais estratos presentes mas baixa padronização espacial e complexidade e trófica relativa ao ecossistema referência.	Maioria dos estratos presentes e alguma padronização espacial e complexidade trófica relativa ao ecossistema referência.	Todos os estratos presentes. Padrão espacial evidente e desenvolvimento de uma substancial complexidade trófica relativa ao ecossistema referência.	Todos os estratos presentes e alta complexidade de padrões espaciais e tróficos, estes sendo capazes de se autorganizar em forma similar ao ecossistema referência
Funcionalidade do ecossistema	Substratos e recursos hidrológicos estão num estágio primário, sendo capazes de sustentar o desenvolvimento futuro de funções similares ao ecossistema referência.	Substratos e recursos hidrológicos apresentam grande potencial para uma gama maior de funções (ciclagem de nutrientes, provisão de habitats e recursos para outras espécies).	Evidência do retorno inicial de aspectos funcionais importantes (ciclagem de nutrientes, filtragem da água, provisão de habitats e recursos para espécies, etc.).	Evidência substancial dos principais processos e funções ecossistêmicos, incluindo reprodução, dispersão e recrutamento de espécies.	Evidências consideráveis de funções e processos caminhando numa trajetória segura rumo ao ecossistema referência e evidência de resiliência após ocorrência de regimes apropriados de perturbação.
Fluxos externos	Potencial para trocas (de espécies, de genes, fluxos de água, fogo) com a paisagem do entorno.	Conectividade e para aumentar trocas positivas (e diminuir negativas) organizado mediante cooperação com partes interessadas e proprietários locais.	Aumento de conectividade e trocas entre o local e a paisagem do entorno começando a se tornar mais evidente (mais espécies, fluxos, etc.).	Alto nível de conectividade estabelecido com outras áreas nativas, observando o controle de espécies indesejáveis, pragas e distúrbios indesejados.	Evidência de que o potencial para fluxos externos é altamente similar ao do ecossistema referência e manejo integrado a longo prazo é passível com a paisagem no entorno, operacionalmente.

Tabela An-3. Classificação das espécies com relação aos aspectos funcionais ou categorias de facilitação, segundo Pereira (2006)

CATEGORIAS DE FACILITAÇÃO	FUNÇÃO	CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DAS ESPÉCIES
Atrativas à fauna	Atrair a fauna dispersora para a área em recuperação.	<ul style="list-style-type: none"> •espécies com dispersão zoocórica •espécies com polinização zoófila •espécies produtora de alimento para a fauna <ul style="list-style-type: none"> •espécies heliófitas com capacidade de colonizar solos alterados -
Ativadoras da sucessão	Colonizar solos alterados e melhorar as condições física, química e biológica do solo para que espécies mais exigentes possam se estabelecer na área.	<ul style="list-style-type: none"> •espécies heliófitas de rápido crescimento •espécies heliófitas de copa ampla •espécies heliófitas com fixação biológica de nitrogênio •espécies heliófitas que mantêm associações com fungos micorrízicos