



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JULIA SIQUEIRA MOREAU

**SERAPILHEIRA E APORTE DE NUTRIENTES EM CRONOSSEQUÊNCIA DE
ÁREAS EM RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

JULIA SIQUEIRA MOREAU

**SERAPILHEIRA E APORTE DE NUTRIENTES EM CRONOSSEQUÊNCIA DE
ÁREAS EM RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Coorientador: Prof. Dr. José Pires de Lemos Filho

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M837s Moreau, Julia Siqueira, 1990-
Serapilheira e aporte de nutrientes em cronossequência de áreas em restauração ecológica / Julia Siqueira Moreau. - 2021. 66 f. : il.

Orientador: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.
Coorientador: José Pires de Lemos Filho.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Ciclos biogeoquímicos. 2. Degradação ambiental. 3. Fertilidade do solo. 4. Biomassa florestal. I. Caldeira, Marcos Vinicius Winckler. II. Lemos Filho, José Pires de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

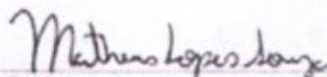
CDU: 630*38

SERAPILHEIRA E APORTE DE NUTRIENTES EM CRONOSSEQUÊNCIA DE ÁREAS
EM RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

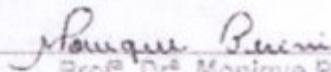
Julia Siqueira Moreau

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

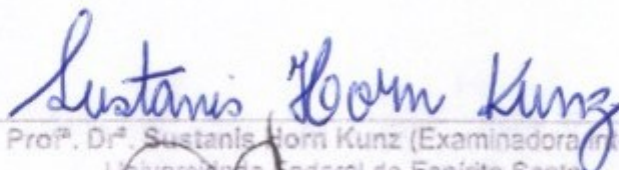
Aprovada em 30 de julho de 2021.



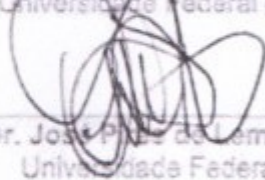
Prof. Dr. Matheus Lopes Souza (Examinador externo)
Instituto Federal Ceará - Acaraú



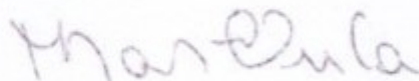
Profª. Drª. Monique Perini (Examinadora externa)
SEDU - Espírito Santo



Profª. Drª. Sustanis Horn Kunz (Examinadora interna)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Paulo de Lemos Filho (Coorientador)
Universidade Federal Minas Gerais



Prof. Dr. Marcos Vinícius Winckler Catdeira (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida em meio a tantas adversidades ao longo desses anos de doutorado e por me reerguer nos momentos em que eu mesma já havia desistido e também pelas oportunidades que me fizeram mais feliz.

Aos meus familiares, agradeço por me incentivarem e serem compreensivos com as minhas ausências em virtude da inúmeras demandas desse processo. Ser motivo de orgulho para vocês e para os meus “anjos” Tia Gil e Vozinho Genival (*in memoriam*) sempre me impulsionou a concluir mais essa etapa da minha vida. Agradeço, em especial, ao meu companheiro pelo apoio, paciência, conselhos e pelas diversas vezes que transformou o meu sonho em seu para me acolher e me alegrar.

Agradeço ao meu orientador Marcos Vinicius W. Caldeira por me estimular durante essa caminhada, sempre acompanhando meu crescimento profissional e com muita paciência, me guiando da melhor forma possível em minha jornada acadêmica. Agradeço ao meu coorientador José Pires de Lemos Filho por, prontamente, se dispor a nos auxiliar durante esse período de enormes dificuldades que está sendo a pandemia, disponibilizando os trabalhos de sua equipe para desenvolvermos o nosso.

Agradeço a banca examinadora Sustanis Horn Kunz pela disponibilidade em avaliar a minha tese, Matheus Lopes Souza pelo apoio nas análises estatísticas e suas contribuições enriquecedoras e Monique Perini pela empatia em disponibilizar dados e materiais para que esse trabalho fosse realizado, sempre paciente e disponível.

Ao Instituto Terra agradeço por todo apoio logístico e consentimento para o desenvolvimento desta pesquisa em sua área.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, agradeço pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelos conhecimentos compartilhados por meio das disciplinas e convívio com seus servidores, em especial a Elizangela pelos conselhos e acolhimento.

Agradeço a FAPES por me conceder incentivo financeiro, por meio da bolsa de pesquisa durante os seis primeiros meses do doutorado, fundamental para permitir que eu me dedicasse exclusivamente as disciplinas e a pesquisa.

Agradeço a todos os meus amigos que compartilharam esse momento comigo me dando carinho e atenção, aos do Nupemase (nem vou citar nomes para não correr o risco de cometer injustiças) que sempre se colocaram à disposição para auxiliar e acolher e principalmente, aquelas que me deram abrigo e me ouviram durante meus retornos a Jerônimo Monteiro (Alice e Isabela). As representantes discentes da época, Fran e Sofia, agradeço por não medirem esforços para auxiliar em nossas demandas junto ao colegiado.

Agradeço aos meus amigos do Pará e da Bahia, conquistados ao longo da minha vida profissional e que se tornaram minha família longe de casa, sempre preocupados e muito incentivadores. Aos colegas do IFPA por me ajudarem a ajustar horários e pela compreensão nos períodos mais complicados.

Agradeço aos meus alunos, um dos motivos pelo qual almejo a conclusão desse doutorado. É para oportunizar melhores projetos e desenvolvimento de trabalhos de pesquisa e extensão como auxílio para vocês que busco a conclusão dessa etapa. Assim, poderei estimular mais ainda o interesse no conhecimento para que tenham sucesso em meio a tanta vulnerabilidade.

Agradeço a todos e todas que de algum modo me ajudaram durante essa caminhada.

RESUMO

MOREAU, Julia Siqueira. **Serapilheira e aporte de nutrientes em cronossequência de áreas em restauração ecológica**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira. Coorientador: Prof. Dr. José Pires de Lemos Filho.

O processo de restauração de áreas degradadas deve ser monitorado ao longo dos anos por meio de indicadores, dentre eles estão a produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes, para garantir a ocorrência do avanço sucessional. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência da restauração ecológica ao longo de uma cronossequência em áreas sob domínio da Floresta Atlântica, por meio do aporte e conteúdo de nutrientes da serapilheira e sua relação com variáveis ambientais. O estudo foi desenvolvido na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Fazenda Bulcão, localizada no município de Aimorés, Minas Gerais. Foram consideradas quatro áreas da propriedade, sendo três em diferentes épocas de processo de restauração (Área 1: 20 anos; Área 2: 10 anos e Área 3: 5 anos) e uma área de referência. Para avaliar a biomassa e conteúdo de nutrientes, a serapilheira aportada foi coletada em 10 coletores suspensos em cada área, mensalmente, entre abril de 2017 e janeiro de 2019, e separada nas frações F1: folhas; e F2: em galhos e miscelânea (G+M), posteriormente foram secas e pesadas. Para a análise química dos macronutrientes e carbono orgânico dessa serapilheira, as amostras mensais de cada fração, foram agrupadas em duas estações sendo, verão (outubro a março) e inverno (abril a setembro). Para avaliar os efeitos do tempo no aporte de serapilheira foram utilizados os modelos lineares generalizados (GLM) e o conteúdo de serapilheira aportada foi avaliado por meio do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS). A relação entre o conteúdo total de cada nutriente da serapilheira, variáveis edáficas e índice de área foliar (IAF) foi avaliada por análises de regressão múltipla utilizando modelos lineares generalizados (GLM). A produção total anual de serapilheira aportada foi de 10503,38 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ para a área com 5 anos em restauração, 5806,49 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para a área de 10 anos, 22710,76 ha⁻¹ ano⁻¹ na área de 20

anos e 24879,73 kg ha⁻¹ ano⁻¹ referência, para o primeiro ano de avaliação. Considerando a produção de serapilheira sazonal e o conteúdo de nutrientes e carbono orgânico, foi constatado o aumento ao longo da cronossequência em estudo, aproximando a área de 20 anos com a área referência e diferindo das áreas mais jovens (5 e 10 anos). As variáveis que melhor explicaram o comportamento do conteúdo de nutrientes da serapilheira aportada foram o pH, capacidade de troca catiônica (T), a umidade do solo e o IAF. Os resultados apresentados nesse estudo indicaram um avanço no processo de restauração ecológica ao longo dos anos em áreas de Floresta Atlântica, a partir da análise do aporte de serapilheira. No entanto, sugere-se que estudos complementares de composição de espécies e de dinâmica da serapilheira sejam realizados para que se tenha um monitoramento mais abrangente sobre as áreas e seus processos.

Palavras-chave: Ciclagem Biogeoquímica, Áreas degradadas, Fertilidade do solo, Floresta Atlântica.

ABSTRACT

MOREAU, Julia Siqueira. **Bioindicators for monitoring forest restoration.** 2021. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira. Coadvisor: Prof. Dr. José Pires de Lemos Filho.

The restoration process of degraded areas must be monitored over the years by means of indicators, among which are litter production and nutrient cycling, to ensure the occurrence of successional advancement. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of ecological restoration over a chronosequence in areas under the Atlantic Forest domain, through the litter contribution and nutrient content and its relationship with environmental variables. The study was carried out in the Private Natural Heritage Reserve - RPPN Fazenda Bulcão, located in the municipality of Aimorés, Minas Gerais. Four areas of the property were considered, three in different periods of the restoration process (Area 1: 20-years; Area 2: 10-years and Area 3: 5-years) and a reference area. To evaluate the biomass and nutrient content, litter input was collected in 10 suspended collectors in each area, monthly, between April 2017 and January 2019, and separated into fractions F1: leaves; and F2: in wood and miscellaneous (W+M), subsequently dried and weighed. For the chemical analysis of macronutrients and organic carbon of this litter, the monthly samples of each fraction were grouped into two seasons: summer (October to March) and winter (April to September). To assess the effects of time on litter input, generalized linear models (GLM) were used and the litter content was evaluated using non-metric multidimensional scaling (NMDS). The relationship between the total content of each litter nutrient, edaphic variables and leaf area index (LAI) was evaluated by multiple regression analyzes using generalized linear models (GLM). The total annual litterfall production was $10,503.38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ for the 5-year-old area under restoration, $5,806.49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ for the 10-year-old area, $22,710.76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ in the 20-year area and $24,879.73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ reference, for the first year of evaluation. Considering the production of seasonal litter and

the content of nutrients and organic carbon, an increase was observed along the chronosequence under study, bringing the area of 20 years closer to the reference area and differing from younger areas (5 and 10 years). The variables that best explained the behavior of the litter content of nutrients were pH, cation exchange capacity (T), soil moisture and LAI. The results presented in this study indicated an advance in the ecological restoration process over the years in areas of the Atlantic Forest, based on the analysis of litterfall. However, it is suggested that complementary studies of species composition and litter dynamics be carried out in order to have a more comprehensive monitoring of the areas and their processes.

Keywords: Biogeochemical cycling, Degraded areas, Soil fertility, Atlantic Forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de precipitação (mm) e temperatura (°C) do período de estudo na região da Floresta Estacional Semidecidual, Aimorés, MG. Fonte: PERINI, 2020, p.109. 20

Figura 2. Localização das áreas do estudo na RPPN Fazenda Bulcão, Aimorés, MG. 1. Área em processo de restauração por 20 anos; 2. Área em processo de restauração por 10 anos; 3. Área em processo de restauração por 5 anos; e 4. Área referência. 21

Figura 3: Produção sazonal de serapilheira (Kg.ha⁻¹) por componente (A- Folha; B-Galhos + Miscelânea e C-Total) entre abril de 2017 e janeiro de 2019 nas áreas de 5, 10 e 20 anos em restauração florestal e na área referência. 40

Figura 4: Análise de composição (NMDS) para avaliar a deposição de nutrientes nas áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e área referência, no município de Aimorés, MG. Sendo A) A deposição de nutrientes na estação seca e B) na estação chuvosa. 46

Figura 5: Resultados da análise de regressão múltipla com as variáveis ambientais que melhor explicam o conteúdo de serapilheira aportada na estação chuvosa nas áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil. Sendo: A) a relação entre N da serapilheira e pH do solo; B) P da serapilheira e IAF; C) P da serapilheira e pH do solo; D) K da serapilheira e IAF; E) K da serapilheira e pH do solo; F) Ca da serapilheira e IAF; G) Mg da serapilheira e IAF; H) Mg da serapilheira e pH do solo; I) S da serapilheira e IAF; J) S da serapilheira e pH do solo; K) CO da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T). 53

Figura 6: Resultados da análise de regressão múltipla com as variáveis ambientais que melhor explicam o conteúdo de serapilheira aportada na estação seca nas áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil. Sendo: A) a relação entre N da serapilheira e pH do solo; B) P da serapilheira e umidade do solo; C) K da serapilheira e pH do solo; D) Ca da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T); E) Mg da serapilheira e pH do solo; F) S da serapilheira e pH do solo; G) CO da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T). 54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento das espécies arbóreas com CAP maior ou igual a 5 cm nas áreas em processo de restauração e área referência e suas respectivas características ecológicas. Abundância representa a quantidade de indivíduos nas parcelas 20x20m. NP: Não pioneira, P: Pioneira. FES: espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual. *Espécies fixadoras de nitrogênio. 22

Tabela 2: Produção de serapilheira sazonal ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por fração entre abril de 2017 e janeiro de 2019 em áreas de 5, 10 e 20 anos em processo de restauração florestal e fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (referência). Letras diferentes após os valores totais indicam diferenças significativas entre as áreas de restauração florestal e da área referência na análise de contraste em modelos lineares generalizados ($P < 0,05$)..... 35

Tabela 3: Contribuição, em porcentagem, dos componentes folhas e galhos e miscelânea no aporte de serapilheira sazonal nas áreas de 5, 10 e 20 anos em processo de restauração florestal e na área referência. 37

Tabela 4: Resumo dos modelos mínimos utilizados para avaliar a variação da produção de serapilheira por fração entre as áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e a área referência e entre os meses de abril de 2017 e janeiro de 2019..... 38

Tabela 5: Conteúdo sazonal de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por fração (folhas, galhos+miscelânea e total) entre abril de 2017 e janeiro de 2019 em áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e área referência. Os valores médios são apresentados. Letras minúsculas diferentes após as médias indicam diferenças significativas na deposição de nutrientes entre áreas de restauração florestal e área referência por estação climática ($p < 0,05$); Letras maiúsculas diferentes após as médias indicam diferenças significativas na deposição de nutrientes entre as estações climáticas para cada componente e área de restauração florestal e área referência ($p < 0,05$); Comparação entre grupos por análise de contraste em modelos lineares generalizados. 42

Tabela 6: Comparação entre as variáveis de caracterização do solo e o índice de área foliar (IAF) ao longo da cronosequência de restauração deste estudo. 48

Tabela 7: Correlação de Spearman entre as variáveis edáficas das áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil. 51

Tabela 8: Análises de regressão múltipla para relacionar o conteúdo de nutrientes da serapilheira aportada com as variáveis ambientais.	52
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA.....	16
2.2. AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA.....	17
2.2.1. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes como indicadores de restauração ecológica.....	18
3. METODOLOGIA.....	20
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2. APORTE DE SERAPILHEIRA	30
3.3. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	31
3.4. VARIÁVEIS EDÁFICAS	32
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. APORTE DE SERAPILHEIRA	34
4.2. VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	47
5. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

O processo de degradação da Floresta Atlântica, oriundo do seu desmatamento desenfreado para urbanização e exploração de recursos naturais com o objetivo de desenvolvimento econômico, resultou na fragmentação dessa vegetação, permanecendo com apenas 12,4 % de remanescentes em todo o bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2021). As degradações geraram impactos significativos sobre as condições climáticas, de saúde e econômicas das populações que vivem sob o domínio desses ecossistemas, bem como para todo o Brasil, uma vez que as áreas compreendidas nesse bioma representam 80% da economia brasileira (PINTO et al., 2009; SOS MATA ATLÂNTICA, 2021).

Além disso, a Floresta Atlântica é considerada um *hotspot*, representando o quarto lugar na lista dos biomas com alta biodiversidade e intensa ameaça (MYERS et al., 2000). Assim, ao longo dos anos foi necessário desenvolver estratégias para mitigar os impactos causados por essa exploração indiscriminada, como legislações que definissem normas para a conservação, proteção, restauração e utilização dos recursos desse bioma (BRASIL, 2006).

A restauração ecológica é o processo de retomada das condições mais próximas as originais levando em consideração aspectos ecológicos, econômicos, sociais e culturais, devolvendo ao ecossistema condições de realizar suas funções de forma autossustentável por meio do restabelecimento da biodiversidade, dos processos ecológicos e serviços ecossistêmicos (BRASIL, 2000; SER, 2004; MARTINS et al., 2015). Esse é o objetivo de organizações como o Instituto Terra, localizado no município de Aimorés, em Minas Gerais, que vem incentivando e efetuando a restauração de áreas degradadas desde 1999, a partir da criação da Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Fazenda Bulcão.

Para realizar a restauração ecológica podem ser adotadas diferentes técnicas, a depender do grau de degradação, tempo de exposição a essas condições, características do entorno e condições econômicas. Independente da técnica utilizada, as áreas em processo de restauração precisam ser avaliadas ao longo dos anos para que através desse monitoramento, seja possível verificar o sucesso e a eficiência da técnica empregada e assim, garantir o avanço sucessional e equilíbrio das áreas em restauração (BRANCALION et al., 2015).

Esse monitoramento é realizado por meio de indicadores como, regeneração natural, chuva de sementes, sobrevivência das plantas, ciclagem de nutrientes, dentre outros (BELLOTTO et al., 2009).

Essa tese compõe o projeto intitulado “Contribuições para restauração da Mata Atlântica”, desenvolvido por Monique Perini e seu orientador o Prof. Dr. José Pires de Lemos Filho no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais.

O objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência da restauração ecológica em trechos de Floresta Atlântica no sudeste de Minas Gerais, por meio do aporte de serapilheira e a relação entre o conteúdo de seus nutrientes e variáveis ambientais. Assim, a hipótese a ser testada é que haja aumento no aporte de serapilheira ao longo da cronossequência e que as áreas mais antigas se assemelhem a área referência.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

A restauração é caracterizada pelo processo de devolver equilíbrio aos ecossistemas degradados, buscando alcançar as condições mais próximas da original e levando em consideração aspectos ecológicos, econômicos e sociais (BRASIL, 2000; SER, 2004).

Esse processo auxilia na mitigação dos impactos ocasionados pelo histórico de degradação dos ecossistemas brasileiros, em especial, da Floresta Atlântica. No período de 2019-2020, o desflorestamento desse domínio aumentou 9% em relação ao período de 2018-2019 e 14% em relação a 2017-2018 (SOS MATA ATLÂNTICA, 2021).

A degradação interfere no desempenho das florestas em fornecer bens e serviços (AZEVEDO et al., 2018), por isso, é importante planejar formas eficientes de restaurar esses locais, levando em consideração além das condições da área degradada, as características do seu entorno (SOUZA; BATISTA, 2004). Do mesmo modo, as estratégias para restaurar as funções da vegetação não devem ser propostas isoladamente, devem considerar também as condições edáficas, ambientais e socioeconômicas (MARTINS et al., 2015).

A eficiência do processo de restauração está relacionada ao desenvolvimento de um projeto integrado (REZENDE et al., 2018) com a utilização de modelos de restauração como, nucleação (COUTINHO et al., 2019), plantio de mudas (KLIPPEL et al., 2015; SILVA et al., 2016) e sistemas agroflorestais (MARTINS et al., 2019, SANTOS et al., 2019).

O modelo de restauração pode ser utilizado de forma exclusiva ou complementar e deve ser adotado de acordo, principalmente, com o grau de degradação da área e custos de implantação, manutenção e monitoramento. (MARTINS, 2016), além das características citadas anteriormente. Por exemplo, em casos de degradações mais severas em grandes áreas e que não apresentam condições de resiliência, a utilização do plantio em aérea total de espécies arbóreas pode apresentar uma maior diversidade porém apresenta um elevado custo (TRENTIN et al., 2018).

O conhecimento sobre restauração avançou ao longo das décadas com o auxílio de estudos e legislações, principalmente sobre a vegetação. No entanto, é preciso compreender mais sobre quais indicadores são eficientes para garantir a avaliação e o monitoramento dos projetos de restauração (BRANCALION et al., 2015; DURIGAN; ENGEL, 2015).

2.2. AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

A avaliação e o monitoramento são etapas fundamentais da restauração ecológica pois é a partir delas que se pode realizar interferências necessárias para garantir o avanço sucessional do ecossistema (BRANCALION et al., 2015), de modo que não se tornem locais com grande influência das áreas degradadas adjacentes (MORES et al., 2020).

Para realizar a avaliação são utilizados indicadores, definidos a partir dos objetivos do projeto de restauração. Esses indicadores devem ser comparados com o comportamento dos mesmos em áreas em equilíbrio, para verificar se o processo de restauração está avançando (BRANCALION et al., 2015).

Ao analisar trabalhos realizados nas décadas de 1980, 1990 e 2000, um tema que se destacou e avançou ao longo dos anos foi a avaliação dos projetos de restauração com uso de indicadores. Inicialmente, os indicadores voltados para a vegetação eram mais estudados, a partir dos anos 2000, indicadores voltados para questões sociais vem se destacando como por exemplo, o valor etnobotânico das espécies (OLIVEIRA; ENGEL, 2017a; OLIVEIRA; ENGEL, 2017b).

Assim, devem ser escolhidos indicadores que caracterizem a área em processo de restauração de forma mais completa, não somente a fisionomia, pois além dos aspectos ecológicos, os parâmetros econômicos definem a aplicabilidade das etapas de avaliação e monitoramento para que não sejam negligenciadas (BELLOTTO et al., 2009).

Os indicadores utilizados na avaliação e no monitoramento de áreas em restauração são parâmetros que analisam as condições de sustentabilidade das áreas ao longo dos anos e devem ser escolhidos de acordo com a fase de restauração em que esses locais se encontram (BELLOTTO et al., 2009). São classificados quanto a sua forma de medição em qualitativos, aqueles que não

são mensuráveis e levam em consideração a observação, por exemplo, a avaliação de serviços ecossistêmicos culturais; e quantitativos, que levam em consideração a medição de parâmetros como, a riqueza de espécies; e quanto a época de avaliação (BELLOTTO et al., 2009; BRANCALION et al., 2015).

No primeiro ano após as ações de restauração, a chamada de fase de implantação, são recomendados indicadores voltados para a verificação do controle da causa da degradação e funcionalidade da técnica utilizada para a restauração. Na fase de pós-implantação (1 a 3 anos), os indicadores devem avaliar o desenvolvimento da área em processo de restauração. Já na fase de ocupação e funcionamento (4 ou mais anos após as ações de restauração), os indicadores de avaliação e monitoramento serão utilizados para analisar o avanço sucessional e retorno do equilíbrio das áreas como, aspectos fisionômicos da vegetação restaurada, da regeneração natural (KUNZ; MARTINS, 2014); da cobertura de gramíneas; e da fauna (VOLPATO et al., 2018), banco de sementes do solo (CALEGARI et al., 2013; KUNZ; MARTINS, 2016), produção de biomassa de serapilheira e ciclagem de nutrientes (MACHADO et al., 2015; KLIPPEL et al., 2016; SILVA et al., 2018; CALDEIRA et al., 2019; CAMPANHARO et al., 2020).

2.2.1. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes como indicadores de restauração ecológica

A serapilheira é todo material orgânico de origem vegetal e/ou animal depositado na superfície do solo e pode ser considerada umas das principais formas de transferência de nutrientes, manutenção da umidade e abrigo para a fauna edáfica, garantindo a sustentabilidade dos ecossistemas (CALDEIRA et al., 2008; CALDEIRA et al., 2010; AGRA; PINA, 2020).

Além da produção, o conteúdo de nutrientes da serapilheira é outra característica importante a ser analisada durante o monitoramento da restauração de áreas degradadas, uma vez que interfere na relação planta-solo-planta e contribui com os processos biogeoquímicos (CALDEIRA et al., 2010)

A produção e decomposição da serapilheira estão relacionadas com fatores bióticos e abióticos principalmente, relacionados as condições da vegetação, como o tipo e estágio sucessional (SCHUMACHER et al., 2011;

MACHADO et al., 2015), variáveis climáticas como, luminosidade, precipitação e temperatura (KLIPPEL et al., 2015; GOMES JÚNIOR et al., 2019), e condições edáficas (GODINHO et al., 2013b).

Por isso, apesar da utilização predominante de variáveis voltadas para as características da vegetação (OLIVEIRA; ENGEL, 2017b), entender a relação dessa vegetação com o solo pode contribuir para a eficiência do monitoramento das áreas em processo de restauração. Essa relação é observada quando, por exemplo, a planta consome os nutrientes do solo para a utilização em seus processos fisiológicos e por meio da serapilheira (composta por frações da planta) que é decomposta, devolve nutrientes e matéria orgânica para o solo, indicando a ciclagem de nutrientes (CALDEIRA et al., 2010).

Portanto, a quantidade e qualidade da serapilheira de áreas em restauração, bem como a ciclagem de seus nutrientes são parâmetros viáveis para a avaliação e o monitoramento (SILVA et al., 2018; SILVA et al., 2019), destacando a importância de comparar os resultados dessas avaliações com outras áreas de florestas conservadas a fim de verificar problemas na relação solo-plantas e conseqüentemente, no avanço sucessional das áreas (MARTINS, 2016).

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Fazenda Bulcão, localizada no município de Aimorés, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. A região é caracterizada por solo tipo Argissolo (SANTOS et al., 2011), clima do tipo Aw, que representa áreas tropicais com inverso seco (ALVARES et al., 2013) e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012), conhecida pela perda de parte das suas folhas durante a estação seca, entre abril e setembro (Figura 1).

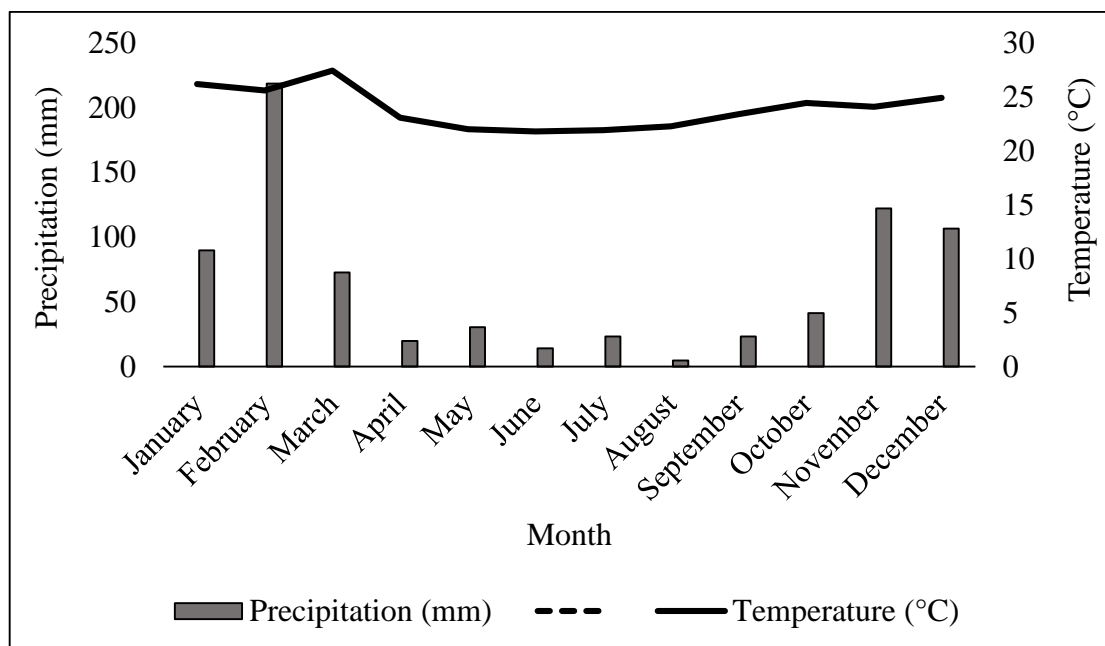


Figura 1. Perfil de precipitação (mm) e temperatura (°C) do período de estudo na região da Floresta Estacional Semidecidual, Aimorés, MG. Fonte: PERINI, 2020, p.109.

A RPPN Fazenda Bulcão foi criada em 1998 com o objetivo de recuperar áreas que foram degradadas por pecuária extensiva, possui 710 ha de extensão e pertence ao Instituto Terra. O processo de restauração florestal da propriedade teve início em 1999, quando a propriedade deixou de ser utilizada para fins de

pastagem e iniciaram os plantios de espécies arbóreas, exóticas e nativas (BASTOS, 2010; PERINI, 2020).

Para esse estudo de cronossequência, foram consideradas quatro áreas da propriedade, sendo três áreas em diferentes épocas de processo de restauração e uma área de referência (Figura 2).

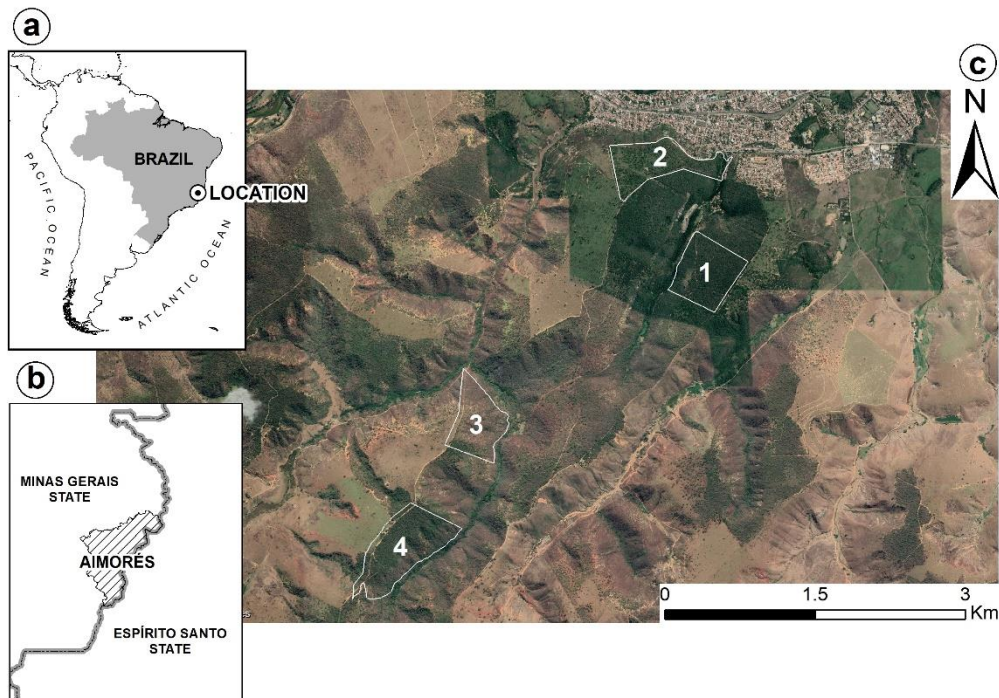


Figura 2. Localização das áreas do estudo na RPPN Fazenda Bulcão, Aimorés, MG. 1. Área em processo de restauração por 20 anos; 2. Área em processo de restauração por 10 anos; 3. Área em processo de restauração por 5 anos; e 4. Área referência.

As áreas em processo de restauração foram preparadas para o plantio de espécies arbóreas por meio da abertura de berços em espaçamento 2m x 2m e coroamento desses locais, bem como, fertilização com 200 gramas de superfosfato simples. A manutenção dos plantios foi realizada, após um ano, com o manejo de formigas e adubação com 100 gramas de NPK 20-5-20 por planta. Após três anos de plantio ocorreu o enriquecimento das áreas com replantio de espécies arbóreas nativas.

Em 2017, foi realizado um levantamento das espécies em cinco parcelas de 20m x 20m dispostas em cada área em processo de restauração e na

referência, sendo amostrados todos os indivíduos com a circunferência a altura do peito (CAP à 1,30m) maior ou igual a 5 cm. As características ecológicas e a densidade absoluta dessas espécies foram caracterizadas conforme Mueller-Dombois; Ellenberg (1974), Moreira et al. (1992), Archanjo et al. (2012), Daronco et al. (2012), Costa (2017), Flora do Brasil (2020) e Lima et al. (2021) (Tabela 1).

Tabela 1: Levantamento das espécies arbóreas com CAP maior ou igual a 5 cm nas áreas em processo de restauração e área referência e suas respectivas características ecológicas. Abundância representa a quantidade de indivíduos nas parcelas 20x20m. NP: Não pioneira, P: Pioneira. FES: espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual. *Espécies fixadoras de nitrogênio.

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
1999	Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anemocoria	NP	1	Nativa	5
	Combretaceae	<i>Terminalia januariensis</i> DC.	Anemocoria	NP	2	-	10
	Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Zoocoria	P	4	Nativa	20
	Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.*	Zoocoria	P	12	Nativa	60
		<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Zoocoria	NP	1	Nativa	5

Continua...

Continuação (Tabela 1)

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
1999		<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld*	Anemocoria	P	1	Nativa	5
		<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.*	Autocoria	P	17	-	85
		<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Anemocoria	P	24	Nativa	120
		<i>Samanea inopinata</i> (Harms) Barneby & J. W. Grimes	Zoocoria	NP	26	-	130
	Malvaceae	<i>Ceiba pubiflora</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	Anemocoria	P	1	Nativa	5
	Phytolaccaceae	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Anemocoria	P	1	Nativa	5
2005	Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anemocoria	NP	2	Nativa	10
		<i>Schinus molle</i> L.	Zoocoria	P	3	Nativa	15
		<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Zoocoria	P	7	Nativa	35

Continua...

Continuação (Tabela 1)

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
2005	Annonaceae	<i>Annona dolabripetala</i> Raddi	Zoocoria	P	6	Nativa	30
	Apocynaceae	<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC.	Zoocoria	P	1	Nativa	5
	Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Zoocoria	NP	2	Nativa	10
	Boraginaceae	<i>Cordia superba</i> Cham.	Anemocoria	P	2	Nativa	10
	Combretaceae	<i>Terminalia januariensis</i> DC.	Anemocoria	NP	7	-	35
	Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Zoocoria	P	3	Nativa	15
		<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Anemocoria	P	1	Nativa	5
		<i>Inga vera</i> Willd.*	Zoocoria	P	1	Nativa	5
	Fabaceae	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima	Autocoria	NP	2	Nativa	10
		<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld*	Anemocoria	P	1	Nativa	5

Continua...

Continuação (Tabela 1)

2005		<i>Myrocarpus fastigiatus</i> Allemão	Anemocoria	NP	2	-	10
	Fabaceae	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	Autocoria	NP	1	-	5
		<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Anemocoria	P	7	Nativa	35
	Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
	Myrtaceae	<i>Campomanesia</i> <i>guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
		<i>Psidium guineense</i> Sw.	Zoocoria	NP	7	Nativa	35
	Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Zoocoria	P	1	Nativa	5
	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Zoocoria	NP	3	Nativa	15
	Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	Zoocoria	P	1	-	5
	Urticaceae	<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Zoocoria	P	1	Nativa	5

Continua...

Continuação (Tabela 1)

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
2012	Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anemocoria	NP	14	Nativa	70
	Boraginaceae	<i>Cordia superba</i> Cham.	Anemocoria	P	6	Nativa	30
	Combretaceae	<i>Terminalia januariensis</i> DC.	Anemocoria	NP	4	-	20
	Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Zoocoria	P	3	Nativa	15
		<i>Anadenanthera peregrina</i> (Benth.) Altschul*	Autocoria	P	1	Nativa	5
		<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.*	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
		<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
	Fabaceae	<i>Inga thibaudiana</i> DC.*	Zoocoria	P	1	-	5
		<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
		<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima	Autocoria	NP	6	Nativa	30

Continua...

Continuação (Tabela 1)

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
2012	Fabaceae	<i>Myrocarpus fastigiatus</i> Allemão	Anemocoria	NP	1	-	5
		<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Anemocoria	P	1	Nativa	5
	Sapindaceae	<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
Referência	Achariaceae	<i>Carpotroche brasiliensis</i> (Raddi) A Gray	Zoocoria	NP	9	-	45
	Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Anemocoria	NP	2	Nativa	10
	Annonaceae	<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Zoocoria	NP	10	Nativa	50
	Combretaceae	<i>Terminalia januariensis</i> DC.	Anemocoria	NP	1	-	5
	Fabaceae	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.*	Anemocoria	P	23	Nativa	115
		<i>Melanoxylon brauna</i> Schott	Anemocoria	NP	2	Nativa	10
		<i>Myrocarpus fastigiatus</i> Allemão	Anemocoria	NP	1	-	5

Continua...

Continuação (Tabela 1)

Área em Restauração	Família	Espécies	Dispersão	Grupo ecológico	Abundância	FES	Densidade Absoluta (ind.ha ⁻¹)
Referência	Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Anemocoria	P	9	Nativa	45
	Lecythidaceae	<i>Lecythis lanceolata</i> Poir.	Zoocoria	NP	3	-	15
	Malvaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	Anemocoria	P	1	-	5
	Myrtaceae	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	Zoocoria	NP	1	Nativa	5
	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Zoocoria	P	13	Nativa	65
	Sapindaceae	<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	Zoocoria	NP	3	Nativa	15
		<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Zoocoria	NP	6	Nativa	30
	Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P.Royen	Zoocoria	NP	2	-	10

A área 1 é caracterizada por plantio de espécies arbóreas realizado em 1999 e, no último levantamento, com aproximadamente 20 anos em processo de restauração ecológica, foram identificadas 11 espécies arbóreas. O processo de restauração da área 2 foi iniciado em 2005 e na época desse levantamento, com aproximadamente 10 anos após o plantio, foram encontradas 23 espécies.

Em 2012, iniciou-se o processo de restauração da área 3. Com 5 anos em processo de restauração, essa área apresentou 13 espécies, com destaque para as espécies da família Fabaceae. No entanto, além de espécies arbóreas, há nessa área o predomínio da *Urochloa brizantha* (PERINI, 2020). A área 4 foi utilizada como referência por ser um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual secundária e sem intervenção antrópica há aproximadamente 40 anos (PERINI, 2020). Nessa área foram amostradas 15 espécies, com predominância das famílias Fabaceae e Sapindaceae.

3.2. APORTE DE SERAPILHEIRA

Para avaliar a biomassa, teor e conteúdo de nutrientes da serapilheira depositada foram instaladas cinco parcelas permanentes com dimensões de 20 m x 20m, contendo duas subparcelas, com um coletor fixo no centro de cada subparcela, totalizando 10 coletores em cada área estudada. Os coletores foram confeccionados com tubos plásticos de PVC, grade de náilon em malha de 2 mm, com dimensões de 0,75 m x 0,75 m (0,5625 m²) e 1 m de altura do solo. As coletas de serapilheira depositada foram realizadas, mensalmente, entre abril de 2017 e janeiro de 2019, totalizando 22 meses de coleta.

Todo o material depositado nos coletores foi colocado em sacos plásticos e identificados. No laboratório, a serapilheira depositada foi seca ao ar livre e separada em 2 frações: F1: folhas, fração contendo folhas verdes, secas, predadas e em estado de decomposição; e F2: em galhos e miscelânea (G+M), contendo galhos de diferentes diâmetros, cascas, material reprodutivo vegetal, restos de animais ou suas fezes e materiais muito fragmentados ou de origem desconhecida.

Após a separação, as frações foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica (0,001 g) para obtenção da massa seca. De posse desses dados, foi calculada a biomassa de cada fração, em cada mês de coleta, por unidade de área (kg ha⁻¹), considerando a quantidade e área dos coletores (0,5625 m²) dispostos em campo.

Para a análise química dos teores dos nutrientes da serapilheira depositada, as amostras mensais de cada fração, de três parcelas em cada área, foram agrupadas em duas estações sendo, verão, o material da deposição entre os meses de outubro a março; e inverno, o material entre os meses de abril a setembro. Esse material foi homogeneizado e triturado em moinho do tipo Willey e peneirado em peneiras de 1 mm de malha (20 mesh), obtendo uma amostra representativa para cada uma das três parcelas em cada área, por estação e de cada fração.

Foram obtidos os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e carbono orgânico (CO) da serapilheira depositada, por meio de análises químicas realizadas no laboratório particular de Análise Agronômica, Ambiental

e Preparo de Soluções Químicas. Para a extração do N foi realizada a digestão sulfúrica com determinação titulométrica. Já os teores dos demais nutrientes, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, foram determinados pela extração ácido nítrico (HNO₃ 65%) e perclórico (HClO₄ 70 %) e o Carbono orgânico por oxidação com bicromato de potássio (TEDESCO et al., 1995; CARMO et al., 2000).

Para obter o conteúdo dos macronutrientes e do CO (kg ha⁻¹ estação⁻¹) da serapilheira depositada foi utilizada a massa seca de cada fração (kg ha⁻¹) por estação e os teores de nutrientes (g kg⁻¹), conforme Equação 1 (CUEVAS; MEDINA, 1986).

$$\text{QNT} = [\text{Nutriente}] \times \text{BSD} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

QNT = Conteúdo de nutrientes (kg ha⁻¹ estação⁻¹);

[Nutriente] = Teor do nutriente na serapilheira (g kg⁻¹);

BSD = Massa seca de serapilheira (kg ha⁻¹ mês⁻¹).

3.3. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

O índice de área foliar (IAF) foi estimado a partir da coleta de fotografias hemisféricas no centro de cada subparcela, mesmo local onde foram alocados os coletores de serapilheira (PERINI, 2020). Essas fotografias foram realizadas com uma câmera digital Nikon Coolpix 5400 posicionada em um tripé, acoplada a uma lente hemisférica (olho de peixe) FC-59, voltada para o dossel, nivelada a uma altura de 1,5 m acima do solo e alinhada ao norte. Cada área foi fotografada em duas estações, seca (julho de 2018) e chuvosa (janeiro de 2018), considerando condições atmosféricas nubladas para manter a uniformidade de iluminação, ou seja, no início da manhã ou no final da tarde. Essas fotografias foram analisadas utilizando o software Gap Light Analyzer (GLA), versão 2.0 (FRAZER et al., 1999; FRAZER et al., 2001).

3.4. VARIÁVEIS EDÁFICAS

Para a amostragem das variáveis edáficas foram instalados cinco transectos dentro de cada área de estudo (PERINI, 2020). Duas amostras simples de solo foram coletadas, na profundidade de 0 - 20 cm, em julho de 2017 (estação seca), em cinco pontos distintos de cada transecto e foram homogeneizadas, formando uma amostra composta, totalizando 25 amostras por área. Essas amostras foram utilizadas para determinar os atributos químicos do solo como, pH em H₂O, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e sódio e matéria orgânica. De posse dos valores obtidos com a análise química foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (t), a capacidade de troca catiônica potencial (T), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m), de acordo com Embrapa (2011).

A umidade do solo foi determinada a partir da amostragem por sonda portátil Fieldscout, utilizando a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) (TEIXEIRA et al., 2005) nos mesmos locais dos transectos anteriormente citados e inserindo os sensores a uma profundidade de 20 cm, em cada área de estudo, consideraram as duas estações, seca (2017) e chuvosa (2017/2018).

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar os efeitos do tempo de restauração (áreas) e os meses do ano no aporte de serapilheira foram utilizados os modelos lineares generalizados (GLM). Nesses modelos, o tempo de restauração e os meses foram considerados como uma variável categórica onde cada local e mês era um nível. As parcelas dentro dos fragmentos restaurados foram inicialmente incluídas em todos os modelos como uma interceptação aleatória.

O conteúdo de serapilheira aportada em cada área foi avaliado por meio do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) em duas dimensões (SILVA et al., 2018). Essas análises foram realizadas comparando os conteúdos de nutrientes da serapilheira entre as áreas com diferentes idades de restauração, por estação.

A avaliação da relação entre o conteúdo total de cada nutriente da serapilheira depositada (N, P, K, Ca, Mg, S e CO₂), variáveis do solo e índice de

área foliar (IAF) foi realizada por análises de regressão múltipla utilizando modelos lineares generalizados (GLM). O conteúdo total de serapilheira depositada foi utilizado como variável resposta, enquanto o IAF e as características do solo foram utilizadas como variáveis explicativas. As variáveis preditoras de solo tiveram sua colinearidade avaliada utilizando o coeficiente de correlação de Spearman ($r < 0,6$) e as variáveis correlacionadas não compuseram simultaneamente nenhum dos modelos elaborados. Para determinar as variáveis mais explicativas no modelo, foi utilizado o Akaike Information Criterion (AIC) de segunda ordem, em que menor valor AIC representa o melhor modelo (NIINEMETS, 2015; SOUZA et al., 2018; SOUZA et al., 2019). Essas análises foram realizadas usando funções implementadas nos pacotes 'AICcmodavg' e 'psych'.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. APORTE DE SERAPILHEIRA

A produção total de serapilheira aportada para o ano 1 foi de 10503,38 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para a área com 5 anos em restauração, 5806,49 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para a área de 10 anos, 22710,76kg ha⁻¹ ano⁻¹ na área de 20 anos e 24879,73 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na área referência. Considerando a produção de serapilheira sazonal, foi possível constatar que não há diferença entre as áreas de 5 e 10 anos em processo de restauração ecológica. Já a produção na área com 20 anos em restauração diferiu das iniciais e foi semelhante ao fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (referência), apresentando as maiores produções de serapilheira aportada (Tabela 2).

Tabela 2: Produção de serapilheira sazonal (kg.ha⁻¹) por fração entre abril de 2017 e janeiro de 2019 em áreas de 5, 10 e 20 anos em processo de restauração florestal e fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (referência). Letras diferentes após os valores totais indicam diferenças significativas entre as áreas de restauração florestal e da área referência na análise de contraste em modelos lineares generalizados (P <0,05).

Estação	Fração da serapilheira	5 anos	10 anos	20 anos	Referência
Seca (2017)	Folha	4957,42a	2355,54a	12412,09b	13998,67b
	Galhos + Miscelânea	1864,35a	1650,84a	1718,67a	1968,18a
	Total	6786,40a	4006,49a	14130,76b	15910,13b
Chuvosa (2017/18)	Folha	2027,11a	1223,29a	6126,31b	5475,20b
	Galhos + Miscelânea	1387,82a	576,71a	2453,69b	3329,60b
	Total	3716,98a	1800a	8580a	8969,60a
Seca (2018)	Folha	6636,89a	4000,44a	13564,62b	16305,24b
	Galhos + Miscelânea	1350,04a	941,78a	1868,71a	2355,64a
	Total	7797,87a	4942,22a	15433,33b	18711,64b
Chuvosa (2018/19)	Folha	1317,78a	525,16b	2757,51b	5677,87c
	Galhos + Miscelânea	538,84a	94,58a	1672,27a	3721,78b
	Total	2055,11a	619,73a	4429,78a	9393,42b

A produção anual de serapilheira desse estudo aumentou ao longo da cronossequência, assim como foi observado em outros trabalhos realizados no mesmo tipo de vegetação e em fragmentos em processo de restauração como o de Machado et al (2015) que avaliaram áreas em diferentes estádios sucessionais, com 20, 25 e 65 anos em processo de restauração, sob domínio de Floresta Estacional Semidecidual no Rio de Janeiro e a produção total anual de serapilheira aportada foi de 7470 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, 8960 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 14700 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente.

O aumento da produção de serapilheira com o avanço do processo sucessionar sinaliza a evolução na restauração da área, assim, a área com idade avançada de restauração (20 anos) fornece mais biomassa do que as áreas com menor tempo em restauração (5 e 10 anos). Esse comportamento pode ser explicado em decorrência da tendência de equilíbrio no processo de ciclagem de nutrientes com o passar dos anos (SILVA et al., 2018), do mesmo modo que foi observado em outros estudos realizados em áreas em processo de restauração e fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais (PEZZATTO; WISNIEWSKI, 2006; MENEZES et al., 2010; MACHADO et al., 2015).

Conforme o avanço do processo de restauração espera-se que ocorram alterações no ecossistema para garantir o equilíbrio como, disponibilidade de nutrientes, aumento da cobertura de copa em decorrência do aumento da densidade e área basal das espécies (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001; CHAZDON, 2012). Sendo assim, a densidade pode influenciar o aporte de serapilheira (CELENTANO et al., 2011). No presente trabalho, a densidade aumentou conforme o avanço do processos de restauração ecológica, estimando-se 205 indivíduos.ha⁻¹ para a área com 5 anos em restauração, 315 indivíduos.ha⁻¹ para a área com 10 anos, 450 indivíduos.ha⁻¹ para a área com 20 anos e 430 indivíduos.ha⁻¹ para a área referência, o que possivelmente poderia explicar o aumento da produção da serapilheira ao longo da cronossequência.

Ao analisar a contribuição dos componentes no aporte de serapilheira foi possível verificar o destaque para a fração folha, representando valores acima de 60 %, exceto para a área com 5 anos de restauração, na estação chuvosa (Tabela 3). Essa alteração pode ser explicada devido a área com 5 anos em restauração ter a predominância de gramíneas em sua chuva de sementes

(PERINI, 2020), proporcionando maior aporte de biomassa na fração galhos mais miscelânea.

Tabela 3: Contribuição, em porcentagem, dos componentes folhas e galhos e miscelânea no aporte de serapilheira sazonal nas áreas de 5, 10 e 20 anos em processo de restauração florestal e na área referência.

Área em restauração	Estação			
	Seca		Chuvosa	
	Folhas (%)	(G+M) (%)	Folhas (%)	(G+M) (%)
5 anos	79,08	20,92	51,87	48,13
10 anos	69,86	30,14	69,18	30,82
20 anos	87,86	12,14	71,77	28,23
Referência	87,56	12,44	62,42	37,58

G+M: Denominam a fração composta pela junção de galhos e miscelânea.

Outros autores corroboram com os resultados encontrados nesse estudo, confirmando a expressiva contribuição das folhas no aporte de serapilheira como, Machado et al. (2015) ao avaliarem três áreas sob floresta secundária em diferentes estádios de sucessão (inicial, médio e avançado) no município de Pinheiral, RJ, cuja vegetação original era Floresta Estacional Semidecidual Submontana, constataram a contribuição da fração folha com mais de 60 % no aporte de serapilheira. Assim como no estudo de Schumacher et al. (2011), em um fragmento de Floresta Estacional Decidual no município de Itaara, RS, em que as folhas contribuíram com 63,2 % da serapilheira. Já Pimenta et al (2011) encontraram valores superiores para a contribuição da fração folha em vegetação primária de Floresta Estacional Semidecidual (79 %) e em um reflorestamento de espécies nativas adjacente, com 18 anos e, ainda maior, foi a contribuição (89 %) obtida por Godinho et al. (2013a) ao avaliarem um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana no ES, no entanto a fração folha foi estudada em conjunto com a miscelânea.

De fato, a folha é o componente de maior relevância na serapilheira e sua importância está relacionada a sensibilidade em perceber as alterações do ambiente em função da sazonalidade, além de fornecer informações fisiológicas

das espécies e conseqüentemente dados sobre a ciclagem de nutrientes (LIU et al., 2004; FERREIRA et al., 2014). Assim, o esperado é que a fração folha se destaque ao longo do avanço do processo sucessional, por isso, quando são as outras frações, como a miscelânea, que apresentam maiores valores pode ser uma resposta a influência de fatores de degradação como o excesso de sementes de gramíneas.

Além disso, ao analisar a deposição de serapilheira ao longo dos meses, foi possível identificar diferenças entre áreas, uma vez que houveram interações significativas entre as variáveis explicativas “áreas * meses”, confirmando a sazonalidade da área de estudo, independente das frações analisadas (Tabela 4).

Tabela 4: Resumo dos modelos mínimos utilizados para avaliar a variação da produção de serapilheira por fração entre as áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e a área referência e entre os meses de abril de 2017 e janeiro de 2019.

Variável resposta	Variável exploratória	Erro de distribuição	df	Desvio	Residual d.f.	Desvio residual	F	P
Folhas	Áreas	Gaussian	3	6,86E+06	436	4,91E+07	38,61	<0,001
	Meses	Gaussian	21	6,03E+06	415	4,31E+07	4,85	<0,001
	Áreas*Meses	Gaussian	63	2,23E+07	352	2,08E+07	5,96	<0,001
Galhos + Miscelânea	Áreas	Gaussian	3	3,36E+05	436	2,57E+06	28,34	<0,001
	Meses	Gaussian	21	3,57E+05	415	2,21E+06	4,29	<0,001
	Áreas*Meses	Gaussian	63	8,22E+05	352	1,39E+06	3,30	<0,001
Total literfall	Áreas	Gaussian	3	1,01E+07	436	5,38E+07	50,55	<0,001
	Meses	Gaussian	21	6,08E+06	415	4,77E+07	4,34	<0,001
	Áreas*Meses	Gaussian	63	2,43E+07	352	2,35E+07	5,77	<0,001

O pico de deposição de folhas na área com 20 anos em restauração ocorreu nos meses de maio de 2017 e abril de 2018, em contrapartida para as demais áreas o pico de deposição foi em julho, sendo que a deposição de folhas seguiu elevada por julho e agosto (Figura 3A).

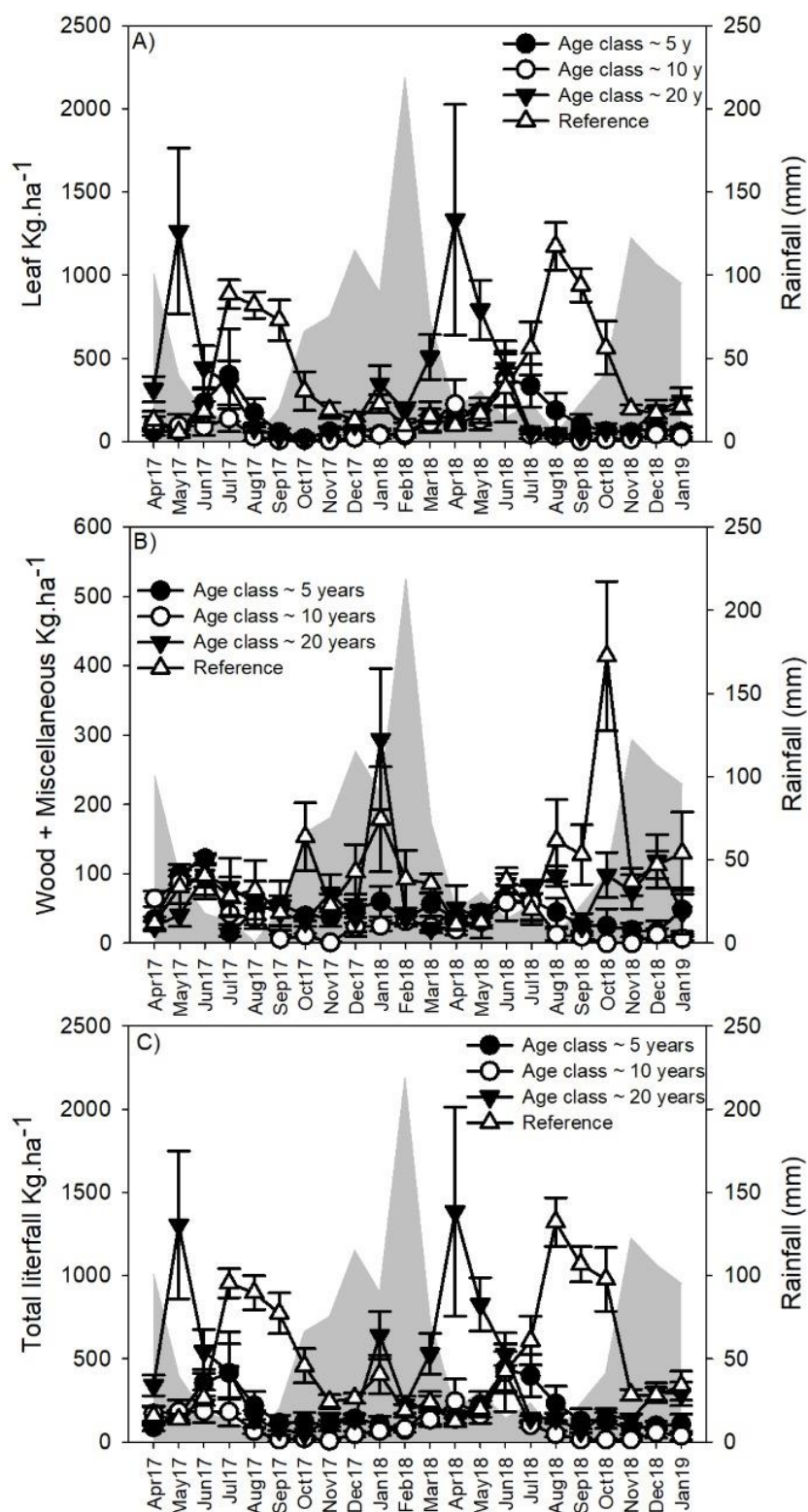


Figura 3: Produção sazonal de serapilheira (Kg.ha⁻¹) por componente (A- Folha; B-Galhos + Miscelânea e C-Total) entre abril de 2017 e janeiro de 2019 nas áreas de 5, 10 e 20 anos em restauração florestal e na área referência.

De modo geral, os maiores valores de deposição da serapilheira foram observados na estação seca o que pode estar relacionado com uma importante estratégia fisiológica das plantas de senescência das folhas para evitar a perda de água por transpiração, em resposta ao estresse hídrico nesse período ocasionado pelas baixas precipitações (MACHADO et al., 2015; LONDE et al., 2016).

Outros estudos evidenciaram esse comportamento sazonal do maior aporte de serapilheira ao final da estação seca como, Godinho et al. (2013a) que ao avaliarem um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Espírito Santo identificaram maiores valores de deposição nos meses dezembro, setembro e outubro. Na mesma área, Gomes Júnior (2017) verificou, alguns anos depois, padrão sazonal com o período de maior aporte entre julho e outubro. Já Toscan et al. (2017) observaram produções mais elevadas de serapilheira em agosto e setembro, ao analisarem um fragmento florestal no oeste do Paraná sob domínio de Floresta Estacional Semidecidual. Para Machado et al. (2015), a sazonalidade no aporte de serapilheira foi observada no fragmento de floresta em estágio avançado (65 anos em sucessão), com picos de deposição nos meses de setembro, novembro, dezembro e janeiro. Já as áreas em estágio inicial (20 anos) e médio (25 anos) apresentaram aporte mais homogêneo ao longo do ano.

Ao analisar o conteúdo de macronutrientes e carbono orgânico da serapilheira depositada foi constatado o aumento ao longo da cronossequência em estudo, aproximando a área de 20 anos com a área referência e diferindo das áreas mais jovens (5 e 10 anos), com maior aporte de nutrientes na estação seca, assim como, o comportamento observado para a deposição de biomassa da serapilheira (Tabela 5).

Tabela 5: Conteúdo sazonal de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por fração (folhas, galhos+miscelânea e total) entre abril de 2017 e janeiro de 2019 em áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e área referência. Os valores médios são apresentados. Letras minúsculas diferentes após as médias indicam diferenças significativas na deposição de nutrientes entre áreas de restauração florestal e área referência por estação climática ($p < 0,05$); Letras maiúsculas diferentes após as médias indicam diferenças significativas na deposição de nutrientes entre as estações climáticas para cada componente e área de restauração florestal e área referência ($p < 0,05$); Comparação entre grupos por análise de contraste em modelos lineares generalizados.

Conteúdo de nutrientes nas folhas								
Estação	Áreas	N	P	K	Ca	Mg	S	CO
Seca (2017)	5 anos	6,45aB	0,35aB	2,05aB	4,55aB	1,05aB	0,43aB	116,05aB
	10 anos	11,53bB	0,49aB	4,48aB	13,76bB	2,55bB	0,60aB	330,15aB
	20 anos	35,62cB	1,24bB	9,92bB	19,36bB	5,56cB	2,01bB	699,21bB
	Referência	43,50dB	0,96bB	10,70bB	21,88bB	5,30cB	2,49bB	980,13bB
Chuvosa (2017/18)	5 anos	0,51aA	0,02aA	0,12aA	0,20aA	0,08aA	0,02aA	8,98aA
	10 anos	0,88aA	0,04bA	0,28bA	0,44aA	0,11aA	0,04aA	15,50aA
	20 anos	2,35bA	0,09cA	0,38cA	0,92bA	0,26bA	0,12bA	25,78bA
	Referência	2,54bA	0,09cA	0,47cA	0,68bA	0,21bA	0,10bA	38,21cA
Seca (2018)	5 anos	10,81aC	0,52aC	3,89aC	8,00aC	1,74aC	0,60aB	218,97aC
	10 anos	16,93aC	0,74aB	7,84bC	15,83bB	3,34bB	0,84aC	375,39aB
	20 anos	37,61bB	1,42bB	8,95bB	21,30bB	5,89cB	2,00bB	699,14bB
	Referência	52,57cC	1,54bC	18,69cC	17,58bB	6,62cB	3,03bC	1137,97bB
Chuvosa (2018/19)	5 anos	0,62aA	0,04aA	0,14aA	0,21aA	0,09aA	0,03aA	6,66aA
	10 anos	0,66aA	0,05aA	0,23aA	0,17aA	0,08aA	0,02aA	9,01aA
	20 anos	2,52bA	0,11bA	0,53bA	0,75bA	0,26bA	0,11bA	41,79bA
	Referência	3,07bA	0,12bA	0,51bA	0,93bA	0,31bA	0,13bA	40,88bA

Continua...

Continuação (Tabela 8)

Conteúdo de nutrientes nos Galhos+Miscelânea								
Estação	Áreas	N	P	K	Ca	Mg	S	CO
Seca (2017)	5 anos	6,09aC	0,50bC	1,55aC	1,61aB	0,52aC	0,33aC	123,50bC
	10 anos	5,40aC	0,47bB	1,36aB	3,57bB	0,84aB	0,27aC	160,73bC
	20 anos	8,85bB	0,47bB	1,85bB	0,93aA	0,59aB	0,38bB	77,62aB
	Referência	5,14aB	0,21aB	1,23aB	3,92bB	0,64aB	0,24aB	96,06aB
Chuvosa (2017/18)	5 anos	0,18aA	0,02aA	0,04aA	0,05aA	0,02aA	0,01aA	2,84aA
	10 anos	0,52bA	0,03aA	0,14bA	0,26bA	0,06bA	0,02aA	8,90bA
	20 anos	0,97cA	0,05bA	0,21bA	0,31bA	0,10cA	0,05bA	11,84bA
	Referência	1,41dA	0,06bA	0,26bA	0,51cA	0,11cA	0,06bA	20,33cA
Seca (2018)	5 anos	2,40aB	0,14aB	0,69aB	1,55aB	0,27aB	0,13aB	67,01aB
	10 anos	3,81aB	0,29aB	1,50aB	3,48bB	0,82bB	0,15aB	59,73aB
	20 anos	8,74bB	0,66bC	1,82aB	1,43aB	0,77bC	0,48cB	117,63bC
	Referência	7,86bC	0,40cC	3,19bC	2,81aB	0,86bB	0,39bC	164,41bB
Chuvosa (2018/19)	5 anos	0,17aA	0,01aA	0,04aA	0,05aA	0,02aA	0,01aA	4,08aA
	10 anos	0,63bA	0,02aA	0,13aA	0,32bA	0,05bA	0,02aA	7,61aA
	20 anos	0,75bA	0,04bA	0,19bA	0,40bA	0,09cA	0,04bA	12,60bA
	Referência	1,17cA	0,04bA	0,22bA	0,84cA	0,14dA	0,05bA	21,21cA

Continua...

Continuação (Tabela 8)

Conteúdo total de nutrientes								
Estação	Áreas	N	P	K	Ca	Mg	S	CO
Seca (2017)	5 anos	12,54aB	0,86aC	3,59aB	6,16aB	1,58aB	0,76aB	239,54aB
	10 anos	16,93aB	0,96aB	5,84aB	17,34bB	3,39bB	0,88aB	490,87aC
	20 anos	44,47bB	1,71bB	11,77bB	20,30bB	6,15cB	2,39bB	776,83bB
	Referência	48,63bB	1,17aB	11,93bB	25,79bB	5,94cB	2,73bB	1076,19bB
Chuvosa (2017/18)	5 anos	0,70aA	0,04aA	0,16aA	0,24aA	0,10aA	0,03aA	11,82aA
	10 anos	1,40bA	0,07bA	0,41bA	0,70bA	0,16aA	0,06aA	24,40bA
	20 anos	3,32cB	0,15cA	0,59cA	1,23cA	0,36bA	0,17bA	37,61cA
	Referência	3,95dA	0,15cA	0,73cA	1,18cA	0,31bA	0,15bA	58,54dA
Seca (2018)	5 anos	13,21aB	0,66aB	4,58aB	9,55aC	2,01aB	0,73aB	285,98aB
	10 anos	20,74bB	1,03bB	9,34bC	19,30bB	4,16bB	0,99aB	435,12aB
	20 anos	46,35cB	2,09cC	10,77bB	22,73bB	6,66cB	2,47bB	816,77bB
	Referência	60,43dC	1,94cC	21,88cC	20,39bB	7,48cB	3,41cC	1302,38bB
Chuvosa (2018/19)	5 anos	0,79aA	0,05aA	0,17aA	0,27aA	0,11aA	0,04aA	10,74aA
	10 anos	1,29aA	0,07aA	0,37aA	0,49aA	0,13aA	0,04aA	16,62aA
	20 anos	3,27bB	0,15bA	0,71bA	1,15bA	0,35bA	0,15bA	54,40bA
	Referência	4,24cA	0,16bA	0,73bA	1,77bA	0,45bA	0,18cA	62,08bA

A ordem do conteúdo de macronutrientes na fração folhas da serapilheira aportada para as áreas em estudo foi N>Ca>K>Mg>S>P, exceto a área de 10 anos em restauração que inverteu a ordem entre N e Ca. Já para o componente galhos+miscelânea, a inversão ocorreu entre os nutrientes P e S (N>Ca>K > Mg >P>S). O conteúdo total acompanhou o comportamento das folhas na estação seca e dos G+M na estação chuvosa.

O aumento da deposição de nutrientes ao longo dos anos, seguindo o avanço sucessional, pode ser explicado pelo aporte de serapilheira e pela composição e dinâmica das espécies existentes nas áreas (AMAZONAS et al., 2011; MACHADO et al., 2015). O nitrogênio, por exemplo, é um macronutriente relevante na composição dos tecidos vegetais por fazer parte da clorofila e é encontrado em altas concentrações em espécies da família Fabaceae (MACHADO et al., 2016, BIGHI et al., 2021).

As áreas de 20 anos em restauração e referência apresentaram elevada quantidade de indivíduos de espécies pioneiras da família Fabaceae como, *Inga vera* (12 indivíduos), *Mimosa caesalpinifolia* (17), *Peltophorum dubium* (24) e *Dalbergia nigra* (23), *Peltophorum dubium* (9), respectivamente. Essa composição de espécies aliada ao maior aporte de serapilheira podem justificar o aumento do conteúdo desse nutriente em áreas em maior estágio sucessional.

O cálcio foi outro macronutriente que se destacou na serapilheira, aumentando conforme o avanço da cronossequência. Esse nutriente possui, naturalmente, baixa mobilidade nas plantas e conseqüentemente ciclagem lenta, sendo encontrado em elevadas quantidades na serapilheira depositada (KÖNIG et al., 2002). No entanto, em áreas de sucessão inicial as plantas tendem a ciclar mais nutrientes em decorrência da sua necessidade para desenvolvimento fisiológico, concentrando menos nutrientes na serapilheira do que áreas em equilíbrio.

Já o fósforo é um macronutriente de alta mobilidade nas plantas, o que facilita o seu processo de redistribuição e sua utilização nos processos metabólicos das espécies. Assim, o vegetal utiliza a estratégia de transferir esse nutriente para outras partes da planta antes do processo de perda das folhas, o que justifica a menor concentração de P na serapilheira depositada (SCHUMACHER et al., 2004; MACHADO et al., 2016).

O ranking do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) em duas dimensões mostrou aproximação na deposição dos nutrientes entre a área de restauração florestal mais antiga (20 anos em restauração) e a área referência, que quando comparadas aos pares não diferiram estatisticamente ($F(3,44) = 8,88, P = 0,07$). Essas áreas foram estatisticamente diferentes das áreas mais jovens (5 e 10 anos de restauração), validando as informações mencionadas anteriormente de que há um avanço sucessional ao longo da cronossequência, levando em consideração a serapilheira como indicador (Figura 4).

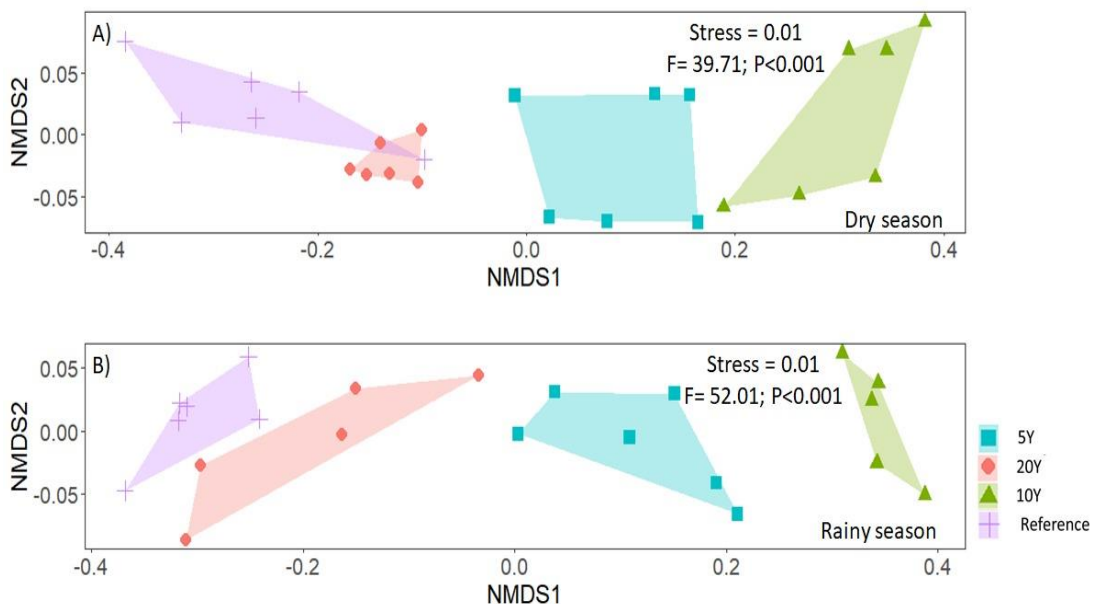


Figura 4: Análise de composição (NMDS) para avaliar a deposição de nutrientes nas áreas de 5, 10 e 20 anos de restauração florestal e área referência, no município de Aimorés, MG. Sendo A) A deposição de nutrientes na estação seca e B) na estação chuvosa.

Áreas em processo inicial de restauração tendem a depositar menor quantidade de serapilheira e além disso, utilizam os nutrientes dessa serapilheira para atividades de crescimento das plantas e conseqüentemente recuperação da degradação ocorrida, por isso, o conteúdo de nutrientes da serapilheira de áreas com essas características são menores. Enquanto que, as áreas em estágio mais avançado de sucessão por apresentarem maior equilíbrio, tendem

a um maior aporte e conteúdo de nutrientes da serapilheira (AIDAR; JOLY, 2003).

A análise da serapilheira traz respostas importantes sobre a relação entre as espécies e o ambiente e sua variação entre as áreas em processo de restauração pode ser explicada pelo seu histórico de degradação, composição de espécies vegetais e a forma como essas espécies absorvem e utilizam os nutrientes disponíveis nas áreas (HAN et al., 2011; FERREIRA et al., 2014). Por isso, além do aporte e conteúdo de nutrientes da serapilheira é importante analisar a sua relação com as variáveis edáficas e ambientais.

4.2. VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CICLAGEM DE NUTRIENTES

Ao avaliar a relação entre variáveis edáficas e o índice de área foliar com os nutrientes da serapilheira foi possível identificar que com o avanço do processo sucessional houve o aumento da acidez e uma diminuição dos nutrientes disponíveis no solo (exceto o P), comportamento inverso ao do conteúdo de nutrientes presentes na serapilheira depositada (Tabela 6).

A umidade do solo, na estação úmida, tende a aumentar ao longo da cronossequência estudada, aproximando as áreas de 20 anos em restauração e referência. Já na estação seca, as áreas iniciais apresentaram valores médios de umidade do solo e se igualaram estatisticamente entre si. O índice de área foliar apresentou maior valor na área referência durante a estação seca, diferindo das demais áreas analisadas. Já na estação chuvosa, a área com o maior valor para esse índice foi a área com 20 anos em restauração.

Tabela 6: Comparação entre as variáveis de caracterização do solo e o índice de área foliar (IAF) ao longo da cronosequência de restauração deste estudo.

Áreas	5 anos	10 anos	20 anos	Referência
<i>Solo</i>				
pH em H ₂ O	5,96 (0,13)d	5,50 (0,19)c	5,12 (0,08)b	4,56 (0,03)a
P-Mehlich (mg/dm ³)	4,24 (1,77)a	3,96 (1,22)a	6,24 (3,70)b	4,20 (0,32)a
K (mg/dm ³)	95,36 (8,00)c	77,24 (8,67)d	64,80 (7,94)b	40,56 (1,37)a
Na (cmolc/dm ³)	38,52 (3,38)c	31,32 (3,01)b	28,00 (4,69)b	17,56 (0,52)a
Ca (cmolc/dm ³)	2,17 (0,60)c	1,12 (0,24)b	0,74 (0,18)a	0,52 (0,05)a
Mg (cmolc/dm ³)	0,52 (0,19)c	0,29 (0,06)b	0,19 (0,03)a	0,11 (0,01)a
SB (cmolc/dm ³)	3,10 (0,77)c	1,75 (0,33)b	1,22 (0,23)a	0,80 (0,07)a
t	3,10 (0,77)c	1,95 (0,24)a	1,66 (0,18)a	2,07 (0,33)b
T	5,24 (0,69)b	4,30 (0,13)a	4,31 (0,26)a	7,23 (0,34)c
V	58,17 (7,59)d	40,33 (6,81)c	28,09 (3,60)b	11,12 (0,54)a
Matéria orgânica (dag/kg ⁻¹)	2,28 (0,20)b	1,55 (0,18)a	1,56 (0,23)a	2,26 (0,14)b
<i>Estação seca</i>				
IAF	0,56 (0,48)a	0,22 (0,23)a	0,56 (0,14)a	1,11 (0,33)b
Umidade do solo	5,18 (0,31)b	5,45 (0,33)b	4,35 (0,33)a	5,87 (0,16)c
<i>Estação chuvosa</i>				
IAF	0,91 (0,42)b	0,30 (0,20)a	1,62 (0,30)c	1,36 (0,51)b
Umidade do solo	7,42 (0,37)a	9,62 (0,33)c	8,81 (0,34)b	9,08 (0,29)b

Observação: SB = soma de bases; T = capacidade de troca catiônica; t = capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases. São apresentados os valores médios e o desvio padrão (entre parênteses) para as variáveis do solo. Letras diferentes após a média e o desvio padrão indicam diferenças significativas entre as áreas na análise de contraste em modelos lineares generalizados ($p < 0,05$). Adaptado de Perini (2020).

O aumento da acidez do solo ao longo da cronosequência pode ser explicado pela diminuição dos nutrientes, uma vez que o pH está associado a quantidade de bases trocáveis (RIBEIRO et al., 1999). Essa diminuição dos nutrientes do solo está relacionada com a sua perda por lixiviação ou em decorrência do aumento da serapilheira depositada e sua lenta decomposição ao longo do avanço sucessional, conforme necessidade nutricional das espécies e ação dos organismos do solo (VITOUSEK; SANFORD JUNIOR, 1986; BAUTISTA-CRUZ; CASTILLO, 2005). Assim, a vegetação, por meio de suas raízes finas, pode absorver os nutrientes mineralizados da camada orgânica antes deles se tornarem disponíveis no solo (GODINHO et al., 2013b).

O conteúdo de matéria orgânica do solo também é influenciado pelo aporte e conteúdo de serapilheira, uma vez que é através da queda do material

senescente e sua posterior decomposição que os nutrientes e carbono orgânico são transferidos para o solo (CALDEIRA et al., 2008; GOMES JÚNIOR et al., 2019). Esse fato foi constatado ao verificar que as áreas com 10 e 20 anos em processo de restauração apresentaram menores valores de matéria orgânica, diferindo da área referência desse estudo que apresentou valores mais elevados.

A decomposição da serapilheira por meio da ação dos organismos do solo fornecem acréscimo no conteúdo da matéria orgânica tanto em plantios homogêneos quanto em áreas em processo de restauração (BELLOTE et al., 2008; MENEZES et al 2010), e a velocidade desse processo tende a se relacionar com o avanço sucessional e sofrer interferência do efeito de borda (PEREIRA et al., 2013). Deste modo, as áreas com maior aporte tendem a fornecer mais material a ser decomposto e acrescido a matéria orgânica do solo mas, é importante verificar a dinâmica do processo de decomposição da serapilheira nas áreas em restauração.

Apesar de aportar menos serapilheira, a área com 5 anos em processo de restauração se igualou a área referência e diferiu das demais, apresentando maior valor de matéria orgânica do solo. Esse comportamento pode estar relacionado a predominância de *Urochloa brizantha* e sua alta produção de biomassa nessa área (OLIVEIRA et al., 2015). Além da matéria orgânica, a área em estágio inicial de restauração apresentou também maior quantidade de nutrientes no solo. Espécies do gênero *Urochloa* são comumente utilizadas para melhorar as condições de fertilidade do solo por meio da retirada de nutrientes em profundidade e disponibilização nas camadas superficiais do solo (OLIVEIRA et al., 2015).

Ao analisar o índice de área foliar (IAF) foi possível identificar um aumento em seus valores durante a estação chuvosa quando comparada a estação seca, uma vez que há maior disponibilidade hídrica no solo e as plantas aproveitam para absorver e utilizar no seu crescimento e formação do seu dossel (DE PAULA; LEMOS FILHO 2001; BIUDES et al., 2014; IVO et al., 2018).

Apesar de áreas em processo de restauração mais jovens tenderem a apresentar espécies pioneiras que possuem rápido crescimento e conseqüentemente um maior recobrimento do solo em função do desenvolvimento do dossel da vegetação, nesse estudo, a área em restauração

mais avançada (20 anos) foi a que apresentou o maior IAF, na estação chuvosa (PERINI, 2020).

Esse resultado pode estar relacionado com o maior número de indivíduos presentes na área com 20 anos em restauração, o que favorece a formação das folhas e assim, o desenvolvimento do dossel florestal, resultando em maiores valores de IAF (CAMPOE et al., 2010).

Já na estação seca, a disponibilidade hídrica diminui e as áreas que possuem mais indivíduos e gramíneas em abundância podem apresentar competição por água e nutrientes (KLIPPEL et al., 2015), com tendência a apresentar menor produção de folhas e conseqüentemente menor IAF. Esse fato pode ajudar a explicar os menores valores de IAF nas áreas em processo de restauração quando comparadas com a área referência durante a estação seca.

Além disso, foi observada, na área referência, elevada abundância da espécie *Casearia sylvestris* Sw. (13 indivíduos) que é caracterizada como uma espécie perenifólia, com o padrão de manter suas folhas durante todo o ano (CORADIN et al., 2011). Em Florestas Estacionais Semidecíduais, as espécies com perda de folhas na estação seca representam entre 20 e 50% (IBGE, 2012), logo a presença de espécies perenifólias pode favorecer o maior valor IAF em relação as demais áreas em estudo.

As variáveis do solo tiveram sua colinearidade analisada (Tabela 7) e a análise de regressão múltipla das áreas em estudo detectou aquelas que melhor explicaram a relação entre o conteúdo de nutrientes da serapilheira depositada e as variáveis ambientais, para as diferentes estações (Tabela 8 e Figura 5 e 6).

Tabela 7: Correlação de Spearman entre as variáveis edáficas das áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil.

Variáveis	pH	P	K	Na	Ca	Mg	SB	t	T	V	MO
pH em H ₂ O	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P-Mehlich (mg/dm ³)	-0.06	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K (mg/dm ³)	0.97*	-0.01	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Na (cmolc/dm ³)	0.95*	0.05	0.99*	1.00	-	-	-	-	-	-	-
Ca (cmolc/dm ³)	0.89*	0.00	0.85*	0.84*	1.00	-	-	-	-	-	-
Mg (cmolc/dm ³)	0.88*	-0.06	0.80*	0.78*	0.95*	1.00	-	-	-	-	-
SB (cmolc/dm ³)	0.91*	-0.01	0.87*	0.86*	1.00*	0.96*	1.00	-	-	-	-
t	0.60*	-0.01	0.56*	0.55*	0.89*	0.83*	0.86*	1.00	-	-	-
T	-0.53*	-0.06	-0.56*	-0.56*	-0.13	-0.20	-0.19	0.27	1.00	-	-
V	0.99*	-0.03	0.96*	0.95*	0.93*	0.92*	0.95*	0.68*	-0.46*	1.00	-
Matéria orgânica (dag/kg ⁻¹)	0.02	0.01	-0.05	-0.08	0.39	0.33	0.34	0.69*	0.75*	0.10	1.00

Obs: SB = soma de bases; T = capacidade de troca catiônica; t = capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por base. * p < 0.05.

Fonte: Adaptado de Perini (2020).

Tabela 8: Análises de regressão múltipla para relacionar o conteúdo de nutrientes da serapilheira aportada com as variáveis ambientais.

Regressão	N	AIC	R²	F	P
<i>Estação seca</i>					
N = 166,85 – 25,86 pH	12	94,55	0,61	17,94	<0,01
P = 3,39 – 0,42 umidade do solo	12	5,17	0,51	12,56	<0,01
K = 37,14 – 5,48 pH	12	65,79	0,42	8,84	<0,01
Ca = -2,84 + 3,93 T	12	83,40	0,35	6,91	<0,05
Mg = 16,76 – 2,38 pH	12	50,95	0,30	5,71	<0,05
S = 9,13 – 1,41 pH	12	26,94	0,56	14,97	<0,01
CO = -367,78 + 196,52 T	12	171,17	0,49	11,55	<0,01
<i>Estação chuvosa</i>					
N = 13,19 – 0,06 pH	12	36,53	0,55	14,33	<0,01
P = 0,31 + 0,04 LAI – 0,05 pH	12	-45,16	0,61	9,66	<0,01
K = -0,16 + 0,21 LAI – 0,08 pH	12	-9,81	0,67	12,39	<0,01
Ca = 1,19 + 0,62 LAI	12	5,89	0,67	23,36	<0,001
Mg = 0,59 + 0,10 LAI – 0,09 pH	12	-23,65	0,57	8,26	<0,01
S = 0,36 + 0,05 LAI – 0,06 pH	12	-39,90	0,61	9,79	<0,01
CO = -21,32 + 10,55 T	12	98,98	0,53	13,64	<0,01

pH = pH em H₂O; LAI = Índice de área foliar

O conteúdo dos nutrientes N, P, K, Mg e S da serapilheira foram associados negativamente ao pH do solo (Figuras 5a, 5c, 5h e 5j). Com relação ao índice de área foliar (IAF), P, K, Ca, Mg e S se relacionaram positivamente (Figuras 5b, 5d, 5f, 5g, 5i) e CO se relacionou positivamente com capacidade de troca catiônica (T) (Figura 5k). Assim, pela análise de regressão múltipla, foi possível destacar o pH e a capacidade de troca catiônica (T) do solo e o IAF como as variáveis que melhor explicaram o comportamento do conteúdo de nutrientes depositados pela serapilheira durante a estação chuvosa.

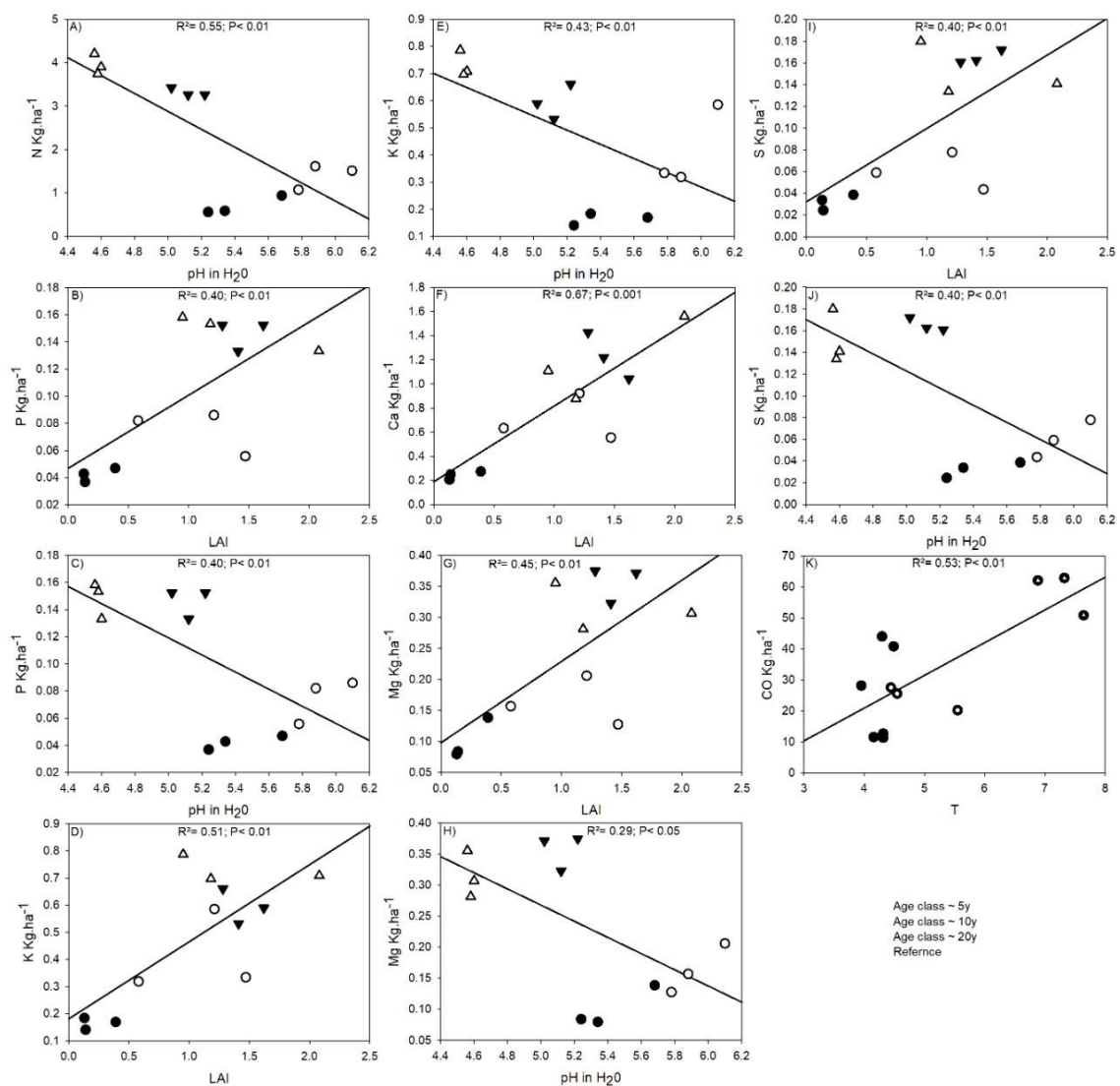


Figura 5: Resultados da análise de regressão múltipla com as variáveis ambientais que melhor explicam o conteúdo de serapilheira aportada na estação chuvosa nas áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil. Sendo: A) a relação entre N da serapilheira e pH do solo; B) P da serapilheira e IAF; C) P da serapilheira e pH do solo; D) K da serapilheira e IAF; E) K da serapilheira e pH do solo; F) Ca da serapilheira e IAF;

G) Mg da serapilheira e IAF; H) Mg da serapilheira e pH do solo; I) S da serapilheira e IAF; J) S da serapilheira e pH do solo; K) CO da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T).

Já no período seco, a análise de regressão múltipla, destacou o pH e a umidade do solo, bem como a capacidade de troca catiônica (T) como as variáveis de maior influência no conteúdo de nutrientes da serapilheira, sendo que, N, K, S e Mg foram negativamente associadas ao pH (Figuras 6a, 6c, 6e e 6f), P negativamente a umidade do solo (Figura 6b) e Ca e CO positivamente a T (Figuras 6d e 6g).

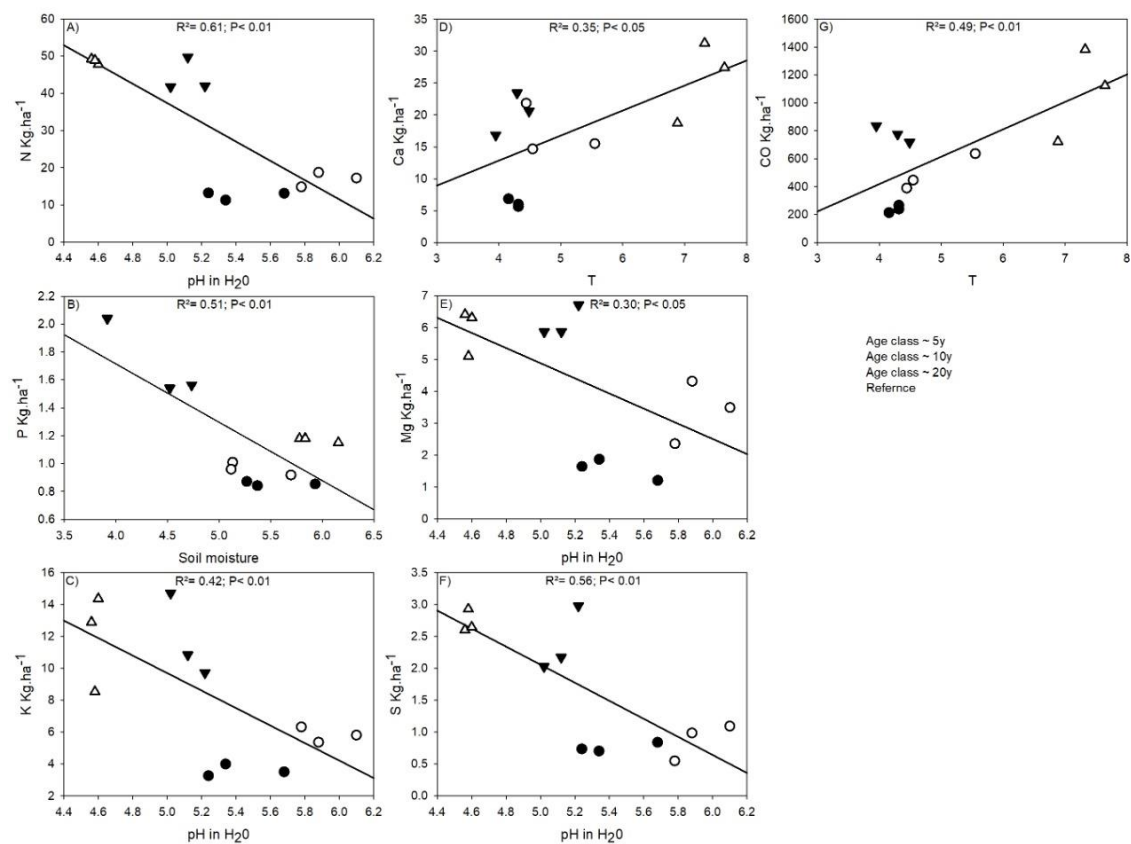


Figura 6: Resultados da análise de regressão múltipla com as variáveis ambientais que melhor explicam o conteúdo de serapilheira aportada na estação seca nas áreas em restauração florestal e a área referência na RPPN Fazenda Bulcão, sudeste do Brasil. Sendo: A) a relação entre N da serapilheira e pH do solo; B) P da serapilheira e umidade do solo; C) K da serapilheira e pH do solo; D) Ca da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T); E) Mg da serapilheira e pH do solo; F) S da serapilheira e pH do solo; G) CO da serapilheira e capacidade de troca catiônica (T).

Os resultados da análise de regressão múltipla reforçam a relação existente, e já discutida nesse trabalho, entre o conteúdo de nutrientes da

serapilheira, acidez do solo e índice de área foliar, uma vez que foi constatada a diminuição do pH do solo conforme o aumento do conteúdo de nutrientes da serapilheira depositada favorecido pela cobertura foliar das áreas ao longo da cronosequência.

Foi observado, também, a diminuição do fósforo da serapilheira com o aumento da umidade do solo, que pode ser em resposta ao favorecimento do microclima das áreas e consequente atuação dos organismos na decomposição do material vegetal, disponibilizando a forma orgânica do fósforo para a solução do solo após o processo de mineralização (CARVALHO, 2011; OLIVEIRA et al., 2015).

Outros trabalhos também constataram essa relação entre a serapilheira depositada e as variáveis ambientais e sua influência no desenvolvimento das áreas em restauração ao longo da cronosequência como os de Camara et al. (2018) que ao avaliarem a relação entre o solo e a serapilheira de plantios de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill e L. A. S. Johnson instalados em 1991 e 1968 (jovem e maduro, respectivamente), no RJ, constataram a diminuição do pH do solo com o avanço do estágio sucessional da área e consequentemente maior aporte de serapilheira.

Além de variáveis edáficas, outros estudos relacionam o aporte de serapilheira com variáveis climáticas e ambientais como o trabalho realizado por Silva e colaboradores (2018) em áreas de Floresta Primária (PF) e Floresta Secundária com 25, 15 e 5 anos de regeneração no município de Uruará, sudoeste do Pará. Os autores observaram que as variáveis temperatura, cobertura do dossel, circunferência da árvore, densidade da árvore, umidade e precipitação explicaram a produção total de serapilheira nas áreas de estudo.

5. CONCLUSÕES

O resultados apresentados nesse estudo indicaram um avanço no processo de restauração ecológica em áreas de Floresta Atlântica, a partir da análise do aporte de serapilheira, uma vez que a produção e o conteúdo desse material na área mais antiga foram maiores e se igualaram, estatisticamente, ao fragmento referência. Ou seja, após 20 anos em processo de restauração a área já equivale, em termos de produção e conteúdo de nutrientes da serapilheira, a florestas secundárias em estágio avançado de regeneração.

No entanto, sugere-se que estudos complementares sobre a composição da vegetação e de dinâmica da serapilheira sejam realizados para fornecer um monitoramento mais abrangente sobre as áreas e seus processos. Assim, a restauração de outras áreas de Floresta Atlântica será estimulada e as legislações vigentes poderão ser cumpridas além de, principalmente, mitigar os impactos ocasionados por degradações.

Esse estudo poderá subsidiar ações de interferência ou manutenção nas áreas pela equipe gestora da RPPN e também reforçar junto a sociedade a importância dos processos de restauração, consolidando a utilização da produção de serapilheira como um indicador capaz de inferir sobre a relação solo-planta e conseqüentemente sobre o equilíbrio da vegetação.

REFERÊNCIAS

- AGRA, A. C.; PINA, W. da C. Insetos como Bioindicadores de Áreas Degradadas ou em Processo de Restauração no Bioma Caatinga, **Ensaio e Ciência**, v. 24, n. 5 esp, p. 630-635, 2020.
- AIDAR, M. P. M.; JOLY, C. A. Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. Ex Benth. - Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 2, p.193-202, 2003.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMAZONAS, N.T.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C.; RODRIGUES, R.R. Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 262, p. 1551-1557, 2011.
- ARCHANJO, K. M. P. de A.; SILVA, G. F. da; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B. Estrutura do componente arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 145 - 160, jan./mar. 2012.
- AZEVEDO, A. D. de; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. dos S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.
- BASTOS, S. de C. **Aplicação de indicadores de avaliação e monitoramento em um projeto de restauração florestal, Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Fazenda Bulcão, Aimorés, MG**. 2010. 131 p. Dissertação. (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- BAUTISTA-CRUZ, A.; DEL CASTILLO, R. F. Soil Changes During Secondary Succession in a Tropical Montane Cloud Forest Area. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 3, p. 906, 2005.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. da. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.31-41, 2008.
- BELLOTTO, A.; VIANI, R. A. G.; NAVE, A. G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Ed.) **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**, São Paulo: LERF/ESALQ :Instituto BioAtlântica, 2009, p.128 -146.

- BIGHI, K. N.; PAULA, R. R.; CALDEIRA, M. V. W.; BURAK, D. L.; SÁ MENDONÇA, E. de; SOUZA, P. H. de; DELARMELENA, W. M.; BALIEIRO, F. de C. Nitrogen Pools in Tropical Plantations of N₂-Fixing and Non-N₂-Fixing Legume Trees under Different Tree Stand Densities. **Nitrogen**, n.2, p. 86–98, 2021.
- BIUDES, M. S.; SOUZA, M. C.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. de M.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. de S. Modelling gross primary production of a tropical semi-deciduous forest in the southern Amazon Basin. *International Journal of Remote Sensing*, v. 35, n. 4, p. 1540-1562, 2014.
- BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. (Ed) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, p. 262-292, 2015.
- BRASIL. **Lei nº 11.428** de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2006.
- BRASIL. **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. Brasília, DF, jul 2000.
- CALDEIRA, M. V. W.; GODINHO, T. DE O.; MOREIRA, F. L.; CAMPANHARO, I. F.; CASTRO, K. C.; MENDONÇA, A. R. de; TRAZZI, P. A. Litter as an Ecological Indicator of Forest Restoration Processes in a Dense Ombrophylous Lowland Forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. e20180411, 2019.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; GONÇALVES, E. O.; GODINHO, T. de O. Ciclagem de nutrientes, via deposição e acúmulo de serapilheira, em ecossistemas florestais. In: CHICHORRO, J. F.; GARCIA, G. O.; BAUER, M. O.; CALDEIRA, M. V. W. (Ed.). **Tópicos em ciências florestais**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010. p. 57-82.
- CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; CAMPOS, L. C.; SILVA, E.; GLERIANI, J. M. Avaliação do banco de sementes do solo para fins de restauração florestal em Carandaí, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.871-880, 2013.
- CAMARA, R.; SILVA, V. D.; DELAQUA, G. C. G.; LISBÔA, C. P.; VILLELA, D. M. Relação entre sucessão secundária, solo e serapilheira em uma Reserva Biológica no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 674-686, 2018

CAMPANHARO, I. F.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Effects of forest restoration techniques on community diversity and aboveground biomass on area affected by mining tailings in Mariana, southeastern Brazil. **Research in Ecology**, v. 02, n. 04, 2020.

CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; MENDES, J. C. T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1808–1814, 2010.

CARMO, C. A. F. DE S. DO et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: 2000

CARVALHO, D. da S. **Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. 2011. 45p. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011

CELENTANO, D.; ZAHAWI, R.A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R.J.; HOLL, K.D. Litter dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. **Biotropica**, East Anglia, v. 43, p. 279-287, 2011.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém, v. 7, p. 195-218, 2012.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: MMA, 2011. 934p.

COSTA, T. L. da. **Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas arbóreas em diferentes formações vegetais de Pernambuco**. 2017. 121f. Tese. (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

COUTINHO, P. R. de O. dos S.; VALCARCEL, R.; RODRIGUES, P. J. F. P.; BRAGA, J. M. A. Restauração passiva em pastagens abandonadas a partir de núcleos de vegetação na Mata Atlântica, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1307-1323, jul./set. 2019.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian Forest ecosystems. In. Nutrient flux in the fine litterfall and efficiency of nutrient utilization. **Ecologia**, v. 68, p. 466-472, 1986.

DARONCO, C.; DE MELO, A. C. G.; MACHADO, J. A. R. Consórcio de espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual com mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) para restauração de mata ciliar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.291-299, 2012.

DE PAULA, S. A.; LEMOS FILHO, J. P. de. Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte, MG. **Revista brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4 (suplemento), p. 545-551, 2001.

DURIGAN, G.; ENGEL, V. L. Restauração de ecossistemas no Brasil: Onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S. V. (Ed) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, p. 42-69, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, M., SILVA, J.L., PEREIRA, E., LAMANO-FERREIRA, A. Litter fall production and decomposition in a fragment of secondary Atlantic Forest of São Paulo, SP, southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 38, p. 591–600, 2014.

FLORA DO BRASIL 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 01 set. 2021

FRAZER, G. W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. **Gap Light Analyzer (GLA)**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. Versão 2.0. New York: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Institute of Ecosystem Studies, 1999, 36 p.

FRAZER, G. W.; FOURNIER, R. A.; TROFYMOW, J. A.; HALL, R. J. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 109, p. 249-263, 2001.

GODINHO, T. de O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A. de; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013a

GODINHO, T. de O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; VIERA, M. Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.1, n.3, p.97-109, set./dez., 2013b

GOMES JÚNIOR, D. **Dinâmica da serapilheira em fragmento de Floresta Atlântica, ES**. 2017. 100f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.

GOMES JÚNIOR, D.; CALDEIRA, M. V. W.; KLIPPEL, V. H.; SÁ MENDONÇA, E. de; DELARMELINA, W. M.; GODINHO, T. de O.; ROCHA, R. L. F. Decomposition of Leaf Litter in Semideciduous Submontane Forest, in The

Southern State of Espírito Santo **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. e20180400, 2019.

GUARIGUATA, M.R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 148, p. 85-206, 2001.

HAN, W.X.; FANG, J.Y.; REICH, P.B.; WOODWARD, F.I.; WANG, Z.H.. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. **Ecological Letters**, v.14, p.788-796, 2011.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012, 271p.

IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, V. M. Influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado mato-grossense. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 4, p. 364-369, 2018.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; SILVA, G. F. da; CALDEIRA, M. V. W.; PIMENTA, L. R.; TOLEDO, J. V. Avaliação de métodos de restauração florestal de mata de tabuleiros-ES. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.69-79, 2015.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, G. F. da; CASTRO, K. C. Acúmulo de serapilheira e nutrientes em área com diferentes metodologias de Restauração Florestal. **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 241-250, 2016.

KÖNIG, F. G. SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; SELIN, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 429-435, 2002.

KUNZ, S. H.; MARTINS, S. V. Regeneração natural de Floresta Estacional Semidecidual em diferentes estágios sucessionais (Zona da Mata, MG, Brasil). **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 111 - 124, 2014.

KUNZ, S. H.; MARTINS, S. V. Soil seed bank in Seasonal Semideciduous Forest and abandoned pasture. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.6, p.991-1001, 2016.

LIMA, K. D. R. de; CORREIA, M. E. F.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Regeneração natural após 13 anos de plantio com espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio em Valença, no estado do Rio de Janeiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 2, abr./jun., 2021

LIU, C., WESTMAN, C.J., BERG, B., KUTSCH, W., WANG, G.Z., MAN, R. ILVESNIEMI, H. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, p. 105–114, 2004

LONDE, V.; SOUSA, H.; KOZOVITS, A. Litterfall as an indicator of productivity and recovery of ecological functions in a rehabilitated riparian forest at Das Velhas River, southeast Brazil. **Tropical Ecology**, v. 57, p. 355–360, 2016

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R. D.; SANTOS, L. L. dos; MENEZES, C. E. G. Ciclagem de nutrientes em diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do rio Paraíba do Sul, RJ **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 31, n. 4, p. 1222-1237, 2015.

MACHADO, M. R.; SAMPAIO, P. T. B.; FERRAZ, J.; CAMARA, R.; PEREIRA, M, G.; Nutrient retranslocation in forest species in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 38, n. 1, p. 93-101, 2016.

MARTINS, E. M.; SILVA, E. R. da; CAMPELLO, E. F. C.; LIMA, S. S. de; NOBRE, C. P.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S. de. O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 632-648, abr./jun. 2019.

MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T. M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, S. V. (Ed) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, p. 19-41, 2015.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2016, 266p.

MENEZES, C.E.G.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; ANJOS, L.H.C.; PAULA, R.R.; SOUZA, M.E. 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, p. 439-452, 2010.

MOREIRA, F. M. de S.; SILVA, M. F. da; FARIA, S. M. de. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region of Brazil. **New Phytologist**, v.121, n.4, p.563-570, 1992.

MORES, G. J.; SPADETO, C.; DIAS, P. B.; SANTOS, A. R. dos; KUNZ, S. H. Natural regeneration of woody and herbaceous species in ecological restoration areas in the Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, n.4, p. e8160, 2020.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B. Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403: 845-853, 2000.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: J. Wiley Sons. 1974. 547 p.

NIINEMETS, Ü. Is there a species spectrum within the world-wide leaf economics spectrum? Major variations in leaf functional traits in the Mediterranean sclerophyll *Quercus ilex*. **New Phytologist**, v. 205, p. 79–96, 2015.

OLIVEIRA, R. E. de; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. **Scientia Plena**, v. 13, n. 12, 2017a.

OLIVEIRA, R. E. de; ENGEL, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 40-48, 2017b.

OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; BORGHI, E.; CECCON, G.; CASTRO, G. S. A. Atributos da Braquiária como Condicionador de Solos sob Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.) **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015, p. 333-354.

PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; AMORIM, T. de A.; MENEZES, C. E. G. Decomposição da serapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de Floresta Atlântica. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1317-1327, 2013.

PERINI, M. **Contribuições para restauração da Mata Atlântica**. 2020. 149p. Tese. (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

PEZZATTO, A.W.; WISNIEWSKI, C. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da Floresta Estacional Semidecidual no oeste do Paraná. **Floresta**, Paraná, v. 36, p. 111-120, 2006.

PIMENTA, J.A.; ROSSI, L.B.; TOREZAN, J.M.D.; CAVALHEIRO, A.L.; BIANCHINI, E. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 25, p. 53-57, 2011.

PINTO, L. P.; HIROTA, M.; CALMON, M.; RODRIGUES, R. R.; ROCHA, R. A mata atlântica - o documento: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Ed.) **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**, São Paulo: LERF/ESALQ :Instituto BioAtlântica, 2009, p. 9-10.

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, p. 208–214, 2018.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. **Recomendação de uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

SANTOS, F. A. M. dos; LELES, P. S. dos S.; SANTANA, J. E. da S.; RIBEIRO, J. G.; RESENDE, A. S. de. Consórcio de espécies arbóreas com leguminosas herbáceas como estratégia para restauração florestal. **Advances in Forestry Science** Cuiabá, v.6, n.2, p.589-593, 2019.

SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.) 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123772/1/DOC-130-O-novo-mapa-de-solos-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de araucaria angustifolia (bertol.) kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista da arvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; MARAFIGA, J. M.; VIERA, M.; SZYMCZAK, D. A. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmento de floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 479–486, 2011.

SER. SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. 2004. Disponível em: <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration>. Acesso em: 13 jun. 2021.

SILVA, K. de A.; MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; DEMOLINARI, R. de A.; LOPES, A. T. Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 309-319, 2016.

SILVA, W.B.; PÉRICO, E.; DALZUCHIO, M.S.; SANTOS, M.; CAJAIBA, R.L. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 429, p. 189-197, 2018.

SILVA, W. B. da; PÉRICO, E.; CAJAIBA, R. L.; Composição de nutrientes na serapilheira em diferentes coberturas florestais no estado do Pará, norte do Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 1, 2019.

SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. – São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73p.

SOUZA, F. M. de, BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure **Forest Ecology and Management**, v. 191, p. 185–200, 2004.

SOUZA, M. L.; DUARTE, A. A.; LOVATO M.B.; FAGUNDES, M.; VALLADARES, F.; LEMOS-FILHO J.P. Climatic factors shaping intraspecific leaf trait variation of a neotropical tree along a rainfall gradient. **PLOS ONE**, v.13, p. 1–20, 2018.

SOUZA, M. L.; LOVATO, M. B.; FAGUNDES, M.; VALLADARES, F.; LEMOS-FILHO, J. P. Soil fertility and rainfall during specific phenological phases affect seed trait variation in a widely distributed Neotropical tree, *Copaifera langsdorffii*. **American Journal of Botany** [online], 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajb2.1333>. Acesso em: 20 jun. 2021.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Rev. Ampl., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 29, n. 2, 2005.

TOSCAN, M. A. G.; GUIMARÃES, A. T. B.; TEMPONI, L. G. Caracterização da produção de serapilheira e da chuva de Sementes em uma reserva de Floresta Estacional Semidecidual, Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 415-427, 2017.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JUNIOR, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, 1986.

VOLPATO, G. H.; MIRANDA NETO, A.; MARTINS, S. V. Avifauna como bioindicadora para avaliação da restauração florestal: estudo de caso em uma floresta restaurada com 40 anos em Viçosa – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 336-344, jan.- mar., 2018.