



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Programa de pós-graduação em Ecologia de Biomas tropicais
Laboratório de Ecofisiologia Vegetal

Transposição de solo de mata cria núcleos de vegetação pioneira de cerrado em área de empréstimo

Bárbara Rúbia da Silveira

Orientadora: Profa. Dr. Alessandra Rodrigues Kozovits
Co-orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina T. B. Messias
Co-orientadora: Dra. Thaíse de Oliveira Bahia

Ouro Preto, MG
2020

Bárbara Rúbia da Silveira

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
de Biomas Tropicais da Universidade
Federal de Ouro Preto UFOP como
requisito parcial para a obtenção do
Título de Mestre em Ecologia.

Orientadora Prof.^a Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits

Co-orientadora Prof.^a Dra. Maria Cristina Teixeira Braga Messias

Co-orientadora Dra. Thaíse de Oliveira Bahia

Ouro Preto, MG

Dezembro, 2020.

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S587t Silveira, Bárbara Rúbia da .
Transposição de solo de mata cria núcleos de vegetação pioneira de cerrado em área de empréstimo. [manuscrito] / Bárbara Rúbia da Silveira. - 2020.
59 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits.
Coorientadores: Profa. Dra. Maria Cristina Teixeira Braga Messias, Dra. Thaíse de Oliveira Bahia.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais.
Área de Concentração: Evolução e Funcionamento de Ecossistemas.

1. Florestas - Reprodução. 2. Recuperação de áreas degradadas. 3. Técnicas de nucleação. I. Bahia, Thaíse de Oliveira . II. Kozovits, Alessandra Rodrigues . III. Messias, Maria Cristina Teixeira Braga . IV. Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU 502.3/.7

Bibliotecário(a) Responsável: Celina Brasil Luiz - CRB6-1589



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
BIOMAS TROPICAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bárbara Rúbia da Silveira

Transposição de Solo de Mata Cria Núcleos de Vegetação Pioneira de Cerrado em Área de Empréstimo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia de Biomas Tropicais

Aprovada em 17 de Dezembro de 2020

Membros da banca

Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Fernanda Vieira da Costa - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Fábio Soares de Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 11/04/2022



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Rodrigues Kozovits, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/04/2022, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0309151** e o código CRC **CE9F4095**.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, aos meus pais Mara Márcia e Rubens da Silveira que sempre incentivaram a buscar o melhor e ir atrás dos meus sonhos, independente de quaisquer impasses.

Agradeço também ao meu marido, Rodrigo Sérgio, que nunca me deixou desistir e manteve a paciência e o auxílio emocional em todos os instantes de dedicação à pesquisa.

Ademais, agradeço imensamente:

À professora Alessandra Kozovits pela orientação, paciência, dedicação e conselhos, principalmente no final desta dissertação.

À professora Maria Cristina Messias pela Co-orientação pela ajuda e paciência no Herbário com as identificações das espécies.

À Dra. Thaíse Bahia pela Co-orientação, obrigada por tudo, pelas inúmeras ligações, ajuda, conselhos e carinho que teve por mim, principalmente na estatística.

Aos colegas, professores, Pós-doc e amigos do projeto Fênix, não tenho palavras para demonstrar a gratidão por tudo que vivi nestes 2 anos de mestrado, sou grata pela ajuda, risadas e companheirismo nos campos, pois fiz amigos para vida toda, em especial à Júlia, pela parceria nos campos e cumplicidade, à Beatriz, Paula, Pedro, Yuri e demais.

Aos colegas do Herbário, Professor José Badini, em especial à Viviane pela ajuda na preparação e herborização dos materiais coletados.

Aos colegas do “Biomás 18/1”. Pela parceria e diversos momentos compartilhados.

Aos colegas de laboratório Cecília, Maurílio e Daniela.

Aos demais professores do Biomás, em especial à Prof. Marina Beirão pela ajuda na estatística.

Aos novos amigos que fiz em Ouro Preto, em especial as meninas da casa Dois amores, principalmente à Jessica Paiva, nunca vou esquecer tudo que fez por mim.

Agradeço a Cemig S/A pelo apoio, a bolsa de estudos, ao projeto Fênix pela parceria e a Universidade Federal de Ouro Preto, ao Programa de Pós-graduação de Biomás Tropicais.

Consoante aos sinceros agradecimentos, explícito, mais uma vez, que nada seria possível sem o auxílio indispensável de cada um de vocês. Obrigada!

SUMÁRIO

Introdução Geral	7
Referências	11
CAPÍTULO 1 – TRANSPOSIÇÃO DE SOLO DE MATA CRIA NÚCLEOS DE VEGETAÇÃO PIONEIRA DE CERRADO	14
RESUMO	14
Introdução	16
Material e Método	18
Resultados	23
Discussão	29
Conclusão	32
Referências	33
CAPÍTULO 2 – FLORESTAS TROPICAIS PODEM SER DOADORAS SUSTENTÁVEIS DE <i>TOPSOIL</i> E SERAPILHEIRA PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS?	38
RESUMO	38
Introdução	40
Materiais e Métodos	42
Resultados	47
Discussão	51
Conclusão	53
Referências	54

Índice das figuras

Capítulo 1

- Figura 1a: Imagem de satélite da região onde está inserida a UHE – Emborcação, destacando (seta) a área de empréstimo onde foi realizado o estudo, adjacente à área degradada onde foi removida a vegetação e os horizontes superficiais do solo. Fonte: Adaptado de Google Maps 2020, **1b**: Área de empréstimo imagem Google Earth 2020. 18
- Figura 2: Imagem da área de estudo A: área degradada com solo exposto e com escassez de vegetação. B: área degradada margeada por pequenos fragmentos florestais e área de plantios agrícolas..... 19
- Figura 3: Imagem de satélite da área de empréstimo onde foram instalados os experimentos mostrando o esquema com os 3 tratamentos, cada cor destacando as 12 parcelas por tratamento. O fragmento florestal no centro da imagem é utilizado como área de referência de onde foi retirado o *topsoil*..... 21
- Figura 4: Parcelas doadoras de *topsoil* e com os tratamentos: A: Área de referência doadora de *topsoil*; B: Parcela do tratamento que recebeu a transposição de *topsoil*; C: Parcela do tratamento com capina manual; D: Parcela do tratamento controle sem nenhuma interferência..... 21
- Figura 5: Médias e desvio padrão de riqueza de espécies (A) e abundância de indivíduos (B) regenerantes nos tratamentos com adição de *topsoil* (TS), capina (CC) e controle (C), um ano após a instalação experimental, em uma área degradada por empréstimo de solo para construção de barragem de hidrelétrica em Catalão, Goiás, Brasil. Médias destacadas com letras diferentes diferem entre si a 5% de probabilidade..... 26
- Figura 6: Formas de vida amostradas nos diferentes tratamentos Espectro Florístico inicial e Espectro vegetacional (1 mês de amostragem), Espectro Florístico e Espectro vegetacional (após 1 ano de instalação do experimento) CAM= Camefitas HEM= Hemicriptófitas, PAN= Fanerófitas, e TER= Terófitas, Tratamentos: TS = com *topsoil*; CC = com capina; C = controle. 28
- Figura 7: Análise da composição florística nas parcelas (símbolos) e das propriedades químicas do solo (vetores) por tratamento/bloco amostrados na área degradada por empréstimo de solo (N = 108). Matéria (MO), pH e fertilidade.29

Índice das figuras

Capítulo 2

Figura 1: Imagem da área da UHE – Emborcação, destacando-se a área de empréstimo degradada em vermelho e em verde, área de fragmentos florestais onde foi realizado o estudo. Fonte: Google Maps.	43
Figura 2: Fragmento (área de referência) onde ocorre o estudo no entorno da área degradada para construção da UHE- Emborcação. A: Interior do fragmento que é a área de referência. B: Fragmento em destaque no entorno da área degradada margeada por área de monocultura.	44
Figura 3: Área de estudo no entorno de uma área degradada para construção da UHE- Emborcação mostrando os 3 blocos instalados. Os destaques com cores diferentes indicam as parcelas dos dois tratamentos: em laranja onde houve remoção de <i>topsoil</i> e em verde o controle onde não houve intervenção.....	45
Figura 4: Destaque das parcelas dos dois tratamentos. Em A: área onde houve remoção de 10 cm de <i>topsoil</i> . Em B: o tratamento controle sem nenhuma intervenção.....	46
Figura 5: Médias e desvio padrão da abundância (A) e riqueza de espécies (B) de indivíduos regenerantes/m ² nos tratamentos com remoção do <i>topsoil</i> e controle na área do fragmento estudado.....	49
Figura 6: Médias e desvio padrão da quantidade (g) de serapilheira coletada dentro das parcelas doadoras de <i>topsoil</i> nos blocos nas áreas de fragmentos florestais.	49
Figura 7: Abundância e Riqueza em função da quantidade de serapilheira(g) depositada nas parcelas onde houve remoção de <i>topsoil</i> no fragmento Florestal estudado.	50
Figura 8: Análise da composição florística nas parcelas (símbolos) por tratamentos amostrados na área de fragmentos florestais, Remoção do <i>topsoil</i> e o Controle.....	51

Índice das Tabelas

Capítulo 1

Tabela 1: Lista de espécies e respectivas formas de vida (FV) e valor de importância (IV) inventariadas após 1 ano da instalação experimental em uma área de cerrado degradada pelo empréstimo de solo, com os tratamentos de deposição de <i>Topsoil</i> (TS), Capina (CC), Controle (C).	23 - 24
Tabela 2: Abundância, Riqueza, Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equabilidade de Pielou (J') dos regenerantes nos tratamentos de uma área degradada por empréstimo de solo. Tratamento: adição de <i>Topsoil</i> (TS), Capina (CC) e Controle (C).....	26
Tabela 3: Lista de espécies com os parâmetros fitossociológicos com o valor de importância (IV) de cada espécie nos diferentes tratamentos <i>Topsoil</i> (TS), Capina (CC), Controle (C), FA = Frequência absoluta; FR = Frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = Dominância Relativa; IV= Índice de valor de importância.....	27

Capítulo 2

Tabela 1: Abundância de indivíduos e riqueza de espécies de regenerantes nas áreas de fragmentos florestais nos tratamentos de remoção do <i>topsoil</i> e controle, e rebrota ao longo do tempo de um ano. (Rebrota 1: novembro 2018; rebrota 2: janeiro de 2019; rebrota 3: maio de 2019; rebrota t: Total de rebrotas com 1 ano de estudo).	48
Tabela 2: Lista de espécies e respectivas famílias e abundância apresentada de regenerantes nas áreas de fragmentos florestais com os tratamentos remoção do <i>topsoil</i> e controle, perfazendo, (Foram identificadas 13 espécies identificadas e 64 morfotipos).	48

INTRODUÇÃO GERAL

A primeira experiência de recuperação de áreas degradadas no Brasil em 1886 foi realizada na floresta da Tijuca, Rio de Janeiro. À época, realizou-se o plantio de mudas de espécies nativas e exóticas de maneira empírica, dada à ausência de estudos e publicações sobre o tema (Boaventura et al. 2019). Atualmente, várias técnicas de recuperação de áreas degradadas por diferentes tipos de ações antrópicas, já foram ou vêm sendo testadas em estudos de curto e longo prazo (Alves & Souza 2008; Durigan et al. 2011). O tipo e o grau da degradação ambiental determinam as ações a serem realizadas (Almeida 2016).

A maior parte da experiência mundial acumulada refere-se às tentativas de revegetação de áreas florestais sobre solos superficiais ainda presentes, mesmo que degradados em diferentes graus (Kobiyama et al. 2001). Os esforços históricos têm gerado protocolos que garantem o sucesso, de maneira geral, em empreendimentos de revegetação e não à de recuperação de serviços ambientais, tais como redução da erosão do solo, barreiras de vento, de som e visuais, atração de fauna, produção de recursos madeireiros e não madeireiros e produção de sombra, entre outros (Souza et al. 2016). Por outro lado, quando a meta é a restauração do ecossistema, ou seja, de todas as suas funcionalidades, ainda há incógnitas a serem respondidas (Durigan et al. 2010).

Tentativas de recuperação ou restauração de ecossistemas não florestais são bem menos representadas na literatura e o desafio é ainda maior em áreas degradadas cujos horizontes superficiais do solo foram completamente perdidos (Alves & Souza 2008; Machado et al. 2013). Segundo o documento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO 2015), estima-se que 33% dos solos do mundo estão em processo de degradação ou já estão degradados completamente, e cerca de 50% dos solos latino-americanos estão em processo de degradação. As principais consequências são erosão, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, além da perda da biodiversidade (FAO 2015). No Brasil, além das atividades agropecuárias, industriais e de mineração, o setor de geração de energia elétrica também contribui significativamente com a degradação de áreas naturais (Alves & Souza 2012). O crescimento econômico do país é co-dependente da capacidade de geração de energia, e o Brasil é um país em desenvolvimento em constante expansão (Boaventura et al. 2019). Para a construção das usinas hidrelétricas é necessária à retirada de grandes

volumes de solo, demandando assim uma ou mais áreas de empréstimos (Alves & Souza 2012). Essas áreas de empréstimo apresentam elevado grau de degradação, pois, além da supressão total da vegetação, perdem camadas orgânicas dos solos, micro e mesofauna associada, banco de sementes e propriedades físicas necessárias para o estabelecimento de plântulas e resiliência para promover sucessão ecológica (Engel & Parrota 2003).

Muitas usinas hidrelétricas no Brasil foram construídas nas décadas de 1970 e 1980, quando não havia legislação voltada para a recuperação eficiente das áreas degradadas (Moretto et al. 2012). Somente em 1986 foram criadas resoluções (CONAMA 001/1986) exigindo a elaboração dos Estudos de Impactos Ambientais e o Relatório de Impactos ao Meio Ambiente (EIA/RIMA). Anos depois, a temática da recuperação de áreas degradadas passou a integrar as agendas obrigatórias das políticas de grande parte dos países do mundo, assumindo papel estratégico para garantir serviços imprescindíveis para a manutenção ou melhoria da qualidade de vida das populações humanas (Boaventura et al. 2019).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019), ao assinar o Acordo de Paris, o Brasil comprometeu-se a recuperar cerca de 12 milhões de hectares de vegetação de áreas degradadas até 2030. Essa meta é de difícil cumprimento devido à grande diversidade de condições de degradação, mudanças de uso da terra e carência de conhecimento para lidar com todos os ecossistemas impactados (Butchart et al. 2010), especialmente quando as camadas orgânicas de solo não estão mais presentes. Além desses fatos, soma-se a este empecilho a recente política brasileira de desprezo ao conhecimento científico, negligenciando o meio ambiente e priorizando a geração de capital.

A recuperação de áreas degradadas tem maior chance de sucesso quando o solo está menos impactado (Alves et al. 2007). Em áreas onde os horizontes orgânicos ou organo-minerais do solo foram perdidos, as condições da superfície exposta podem ser impeditivas para o retorno espontâneo da vegetação (Machado et al. 2013; Figueiredo et al. 2018; Onésimo et al. 2020; Rocha et al. 2020). Para acelerar o processo de revegetação/restauração é necessário criar condições iniciais que permitam a germinação, o enraizamento e estabelecimento das plantas (Alves et al. 2007). Além disso, os métodos para restauração ecológica desses ambientes devem proporcionar cobertura da superfície garantindo diversidade florística e funcional, capazes de restituir

os processos de ciclagem de nutrientes, de agregação das partículas de solo, formação de banco de sementes, atração de espécies da fauna e a promoção de interações que favoreçam a regeneração natural e os processos de sucessão ecológica (Ferreira et al. 2015; Figueiredo et al. 2018; Rocha et al. 2020; Onésimo et al. 2020)

Uma importante técnica de restauração ecológica é a transposição de camadas superficiais de solo (*topsoil*) de áreas de referência para deposição sobre a superfície de áreas degradadas (Daronco et al. 2013; Pilon et al. 2018). A deposição de *topsoil* quase sempre ocorre em sistema de parcelas, criando ilhas, ou núcleos de vegetação na área degradada (Ferreira & Vieira 2017), que podem aumentar a heterogeneidade ambiental, favorecer o recrutamento, bancos de sementes no local e a chegada de novas espécies da flora (Reis et al. 2010). Porém, a transposição de *topsoil* raramente é utilizada na recuperação de extensas áreas degradadas, pois o volume de *topsoil* disponível muitas vezes é insuficiente (Pilon et al. 2018). Além disso, idealisticamente, a área doadora de *topsoil* deveria ser um habitat de referência próximo à área a ser restaurada (Pilon et al. 2018), a fim de garantir elementos da microbiota e do banco de sementes para a restauração. Entretanto, a procedência desse material alócto nem sempre é conhecida (Reis et al. 2010).

No Brasil, grandes quantidades de solo são comercializadas por empresas de construção civil que retiram o material de obras como terraplanagem, escavações e pavimentação de áreas já degradadas, de acordo com a norma da Resolução CONAMA 307/2002. Para uso no cultivo de plantas há a necessidade de adição de adubos químicos ou orgânicos e outros corretivos no solo em áreas degradadas (Pilon et al. 2018). Em situações mais raras e dispendiosas é possível comprar grandes quantidades de camadas orgânicas do solo, porém esse material foi retirado de algum local em estágio sucessional mais avançado gerando outras áreas impactadas ao ceder grandes volumes de solos orgânicos (Daronco et al. 2013). Além disso, a técnica de uso de *topsoil* alóctone pode trazer banco de sementes e elementos da microfauna distintos e exótico sem relação à área a ser restaurada, provocando novos danos ambientais (Silva & Bates 2002), levando à resultados indesejáveis para o processo de restauração ambiental (Silva & Bates 2002).

Alternativamente, o *topsoil* é rico em microrganismos nativos inoculantes, além de banco de sementes, e facilita a iniciação dos processos de estabelecimento e crescimento de espécies nativas do sistema a ser recuperado, mesmo quando utilizado

em pequeno volume retirado de área de referência (Figueiredo et al. 2018). Um estudo comprovou que pequeno volume de *topsoil* retirado de área de referência misturado à volumes de horizonte C de áreas impactadas pela mineração de bauxita, foi capaz de aumentar significativamente o crescimento e estabelecimento de plantas jovens de uma espécie nativa dos campos rupestres ferruginosos (Figueiredo et al. 2018). Tal resultado sugere que a mistura de pequena quantidade de *topsoil* de área de referência com outros solos disponíveis possa trazer os microrganismos nativos inoculantes, além de banco de sementes, para o sistema, acelerando a iniciação dos processos que facilitarão o estabelecimento de espécies nativas do sistema a ser recuperado (Figueiredo et al. 2018). Se tal premissa for confirmada, poderiam ser retirados pequenos volumes de *topsoil* de áreas de referência que já seriam suficientes para iniciar nucleações em áreas degradadas, causando impacto mínimo nas novas áreas de empréstimo geradas pela doação de *topsoil*. Com isso são formadas duas perspectivas que são base para este estudo: (i) uma área degradada que recebe *topsoil* propiciando a sucessão ecológica com vistas à sua recuperação e (ii) uma área referência (remanescentes de vegetação nativa) que seria minimamente impactada pela doação do *topsoil*.

No presente estudo, objetivou-se a testar (1) se o uso de solo comercial com fina camada de *topsoil* (10 cm) retirado de área doadora (área de referência) favorece de maneira efetiva os processos de regeneração natural em uma área degradada (área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Emborcação), e (2) se a impacto da retirada de *topsoil* (10 cm de profundidade) de pequenas parcelas (1 m²) esparsas na área doadora. Para avaliar o sucesso desse método de tentativa de nucleação na área degradada, e do possível impacto na área de referência, avaliamos a abundância, riqueza e diversidade da comunidade vegetal regenerante. Esperamos que as parcelas doadoras do solo sejam rapidamente preenchidas com serapilheira depositada pela vegetação local e pelo carreamento superficial em períodos de chuva, e também que sejam colonizadas pelas raízes superficiais, meso e microfauna de solos, sendo abastecidas pela chuva de sementes das matrizes circundantes, aumentando as chances de regeneração natural.

REFERÊNCIAS

- Almeida DS (2016) Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3ª ed. Revista Ilhéus/BA: Editus, p. 18-21, 32-39 e 140-158.
- Alves MC, Nascimento V, Souza ZM (2012) Recuperação em área de empréstimo usada construção de usina hidrelétrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16 (8): 887-893p.
- Alves MC & Souza ZM (2008) Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretiva. Revista Brasileira de Ciência do solo, 32, 2505-2516p.
- Alves MC, Akihiro-Sanches SLG, Suzuki LEAS (2007) Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 31(4): 617-625p.
- Boaventura KJ, Cunha EL, Silva SD (2019) Recuperação de áreas degradadas no Brasil: conceito, história e perspectivas. Tecnia, 4, (1).
- Butchart SHM, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JPW, Almond REA, Watson R (2010) Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. Science, 328(5982): 1164–1168p.
- Daronco C, Melo CA, Durigan GH (2013) Ecossistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região de Cerrado. Assis, SP, Brasil 40(3): 485-498p.
- Durigan G, Melo AC, Boas OV, Contieri WA, Ramos VS (2011) Manual para recuperação da vegetação de cerrado. 3.ed. 3.ed. rev. e atual São Paulo: SMA, 19 p.
- Durigan G, Engel VL, Torenzan JM, Melo ACG, Marques MCM, Martins SV, Reis A, Scarano FR (2010) Normas Jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas. Revista Árvore, Viçosa-MG, 34(3): 471-485p.
- Engel VL & Parrota JA (2003) Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In Restauração ecológica de ecossistemas naturais (P. Y.

- Kageyama, R.E. Oliveira, L.F.D. Moraes, V.L. Engel & F.B. Gandarra, eds).
Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas Florestais, Botucatu, 1-26p.
- FAO ITPS (2015) Status of the world's soil resources (SWSR)—main report. Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils. Rome, Italy, v. 650.
- Ferreira MC & Vieira DLM (2017) *Topsoil* for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological Engineering* 103: 1-12p.
- Ferreira MC, Walter BMT, Vieira DLM (2015) *Topsoil* translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*. *Ecol.* 23: 723–728p.
- Figueiredo MA, Diniz AP, Abreu AT, Messias MCT, Kozovits AR (2018) Growing *Periandra mediterranea* on post-mining substrate: native Fabaceae with potential for revegetation of degraded rupestrian grasslands in Brazil. *Acta Botanica Brasilica* - 32(2): 232-239p.
- Machado NAM Leite MGP, Figueiredo MA, Kozovits AR (2013) Growing *Eremanthus erythropappus* in crushed laterite: A promising alternative to *topsoil* for bauxite-mine revegetation. *Journal of Environmental Management* 129:149-156p.
- Ministério do Meio Ambiente Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso: março de 2020.
- Moretto EM, Gomes CS, Roquetti DR, Jordao CO (2012) Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. *Ambiente & sociedade*. [online], 15(3 141 – 164p.).
- Onésimo CMG, Dias DD, Beirão MV, Kozovits AR, Messias MCTB (2020) Ecological succession in áreas degraded by Bauxite mining indicates successful use of *topsoil*. *Restoration ecology*.
- Pilon NAL, Buisson E, Durigan G (2018) Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by *topsoil* and hay transfer, *Restoration Ecology*, 26(1): 73–81p.
- Kobiyama M, Minella JPG, Fabris R (2001) Áreas degradadas e sua recuperação. *Informe agropecuário, BH*. 22(210):10-17p.
- Reis A. Tres DR, Bechara FC, Tres DR (2010) Nucleation in tropical ecological restoration *Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 67(2):244-250p.

Resolução CONAMA N.º 307 – 05 de junho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, Publicação DOU n.º 136. Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>.

Resolução CONAMA N.º 001 - 23 de janeiro de 1986. Estabelecem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso da Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília, DF, 23 jan 1986. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/Conama/legisla%C3%A7%C3%A3o/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf Acesso: 20 de janeiro de 2018.

Rocha FCG, Rocha FSO, Leite MGP, Dias DD, Messias MCTB, Kozovits AR (2020) Chemical and microstructural behaviour of ferruginous rocky outcrops *topsoil*'s applied to degraded mining areas. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, DOI: 10.1080/17480930.2020.1815932.

Silva JMC da & JM Bates (2002) Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience* 52: 225-233p.

Souza AL, Gallardo ALCF, Silva ED, Mello YC, Righi CA, Solera ML (2016) Serviços Ambientais associados a recuperação de áreas degradadas por mineração: Potencial para pagamento de serviços ambientais. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo V. XIX, (2):139-168p.

CAPÍTULO 1 – TRANSPOSIÇÃO DE SOLO DE MATA CRIA NÚCLEOS DE VEGETAÇÃO PIONEIRA DE CERRADO

Silveira, B. R.; Bahia, T.; Messias, M.C.T.B.; Kozovits, A.R.

RESUMO

Em áreas degradadas resultantes da retirada significativa das camadas orgânicas do solo, as técnicas de restauração precisam, obrigatoriamente, considerar a recriação de condições edáficas mínimas para permitir o estabelecimento de plantas. Neste estudo, avaliou-se a transposição de *topsoil* retirado de fragmentos florestais do entorno de uma área degradada pelo empréstimo de solo para construção de uma hidroelétrica em Catalão GO. O experimento foi instalado em blocos, com 36 parcelas de 1 m² de 3 diferentes tratamentos: (i) controle, (ii) capina e (iii) transposição de *topsoil*. Durante 1 ano foram registradas os regenerantes que se estabeleciam, identificadas as espécies e classificados por formas de vida. Nas parcelas receptoras de *topsoil* a riqueza de espécies foi maior, com 84%, seguidas do tratamento com capina (11%) e controle (5%). A abundância também foi maior no tratamento com transposição de *topsoil*. A espécie com maior (IV) foi à espécie *S. viscosa*, indicada para a recuperação de áreas degradadas. Dentre as formas de vida, as terófitas, espécies de crescimento e ciclo rápido, foram dominantes. A maior parte dos regenerantes são espécies arbustivas e herbáceas de cerrado *sensu strictu* das famílias Fabaceae, Malvaceae, Rubiaceae e Asteraceae. Na área estudada observou-se um processo inicial da sucessão e a adição de *topsoil* favoreceu a rápida cobertura do solo aumentando a riqueza e abundância dos regenerantes. Desta forma, fica demonstrando que a transposição de *topsoil*, mesmo que em quantidades mínimas pode contribuir para a restauração de áreas degradadas.

Palavras-chave: Regeneração natural; recuperação de áreas degradadas, técnicas de nucleação; *topsoil*.

CHAPTER 1 – FOREST SOIL TRANSPOSITION PROMPT PIONEERING CERRADO VEGETATION NUCLEUS

Silveira, B. R.; Bahia, T.; Messias, M.C.T.B.; Kozovits, A.R.

ABSTRACT

Degraded areas resulting from the total removal of organic layers from the soil, restoration techniques must necessarily consider the reestablishment of minimum edaphic conditions to allow the plant establishment. This study evaluates the efficiency a thin layer of topsoil transposition extracted from forest fragments surrounding a degraded area used to build a hydroelectric dam in Catalão, GO. The experiment was carried out in blocks, with 36 plots of 1m² of 3 different treatments: (i) control, (ii) weeding and (iii) topsoil transposition. During 1 year, the established seedlings were registered; their species were identified and classified by life forms. In the plots with topsoil transposition, the species richness was higher, with 84%, followed by weeding treatment with (11%) and control (5%). The abundance was also greater in the treatment with topsoil transposition. The species with the largest (IV) was *S. viscosa*, indicated for degraded areas recovery. Therophyte species, fast growth and rapid cycles, were the dominant life forms. Most of the seedlings are shrub and herbaceous species of strictu sensu *Cerrado* from the Fabaceae, Malvaceae, Rubiaceae and Asteraceae families. In the study area, an initial succession process was observed and the topsoil transposition favors rapid soil coverage increasing the richness and abundance of the seedlings. In this way we demonstrate that topsoil transposition, even in minimal quantities, can contribute to the restoration efforts in degraded areas.

Key words: Natural regeneration; nucleation techniques; recovery of degraded areas; *topsoil*.

INTRODUÇÃO

Áreas degradadas pelo empréstimo de solo para grandes obras de engenharia constituem-se um dos maiores desafios para os processos de restauração ecológica (Alves et al. 2012). O processo de construção de barragens demanda a eliminação da vegetação nativa e a retirada dos horizontes superficiais do solo (Alves & Souza 2008) que pode chegar até o nível do horizonte mineral (horizonte C) (Rodrigues et al. 2007). Provocando profundas alterações químicas e físicas, tais como a aumento da compactação, diminuição da permeabilidade e o empobrecimento nutricional e biológico dos solos (Alves et al. 2012). A resultante é um sistema altamente degradado em que são eliminados nutrientes, microrganismos, matéria orgânica, banco de sementes, banco de plântulas, capacidade de rebrota, a flora e a fauna edáfica (Chada et al. 2004).

Como consequência, a recuperação passiva ou espontânea de uma área de empréstimo degradada pela retirada de solo é difícil, mesmo em locais circundados por remanescentes de vegetação nativa (Aronson et al. 1995; White & Walker 1997). Essas áreas degradadas perdem sua resiliência e com a compactação do solo, somada à redução da sua permeabilidade, podem permanecer por décadas sem o estabelecimento de cobertura vegetal. Desta forma, fazem-se necessárias intervenções para instalar, induzir ou acelerar o processo de restauração (Engel & Parrota 2003). Com esse intuito são utilizadas várias técnicas de nucleação como transposição de camada de *topsoil*, transposição de serapilheira, semeadura direta e o transplântio de espécies nativas (Silveira et al. 2016). O tipo e o grau da degradação é que determinam os processos e as técnicas a serem utilizadas, dependendo do histórico da área a ser recuperada (Almeida 2016). Em áreas que sofreram perda significativa de solo, a transposição da camada de solo de outro local é a técnica mais recomendada (Ferreira & Vieira 2017; Figueiredo et al. 2018).

Essa técnica utiliza o *topsoil* para criar pequenos habitats (núcleos) dentro de uma área degradada aumentando a heterogeneidade ambiental (Reis et al. 2010), favorecendo o recrutamento de espécies por meio do banco de sementes e o estabelecimento das plântulas. Assim sendo, se bem sucedida, pode levar à iniciação do processo de restauração ecológica contribuindo com o aumento da biodiversidade e

funcionamento do ecossistema local (Reis et al. 2003; Reis et al. 2010; Rocha et al. 2020).

Muitos trabalhos demonstram a eficiência do uso do *topsoil* para a nucleação, que, após a adição de *topsoil* em pequenos núcleos, houve favorecimento da regeneração natural (Rocha et al. 2020; Onésimo et al. 2020). Esses resultados foram alcançados em área degradada pela mineração de bauxita em Minas Gerais (Rocha et al. 2020; Onésimo et al. 2020). Tal como Figueiredo et al. (2018) mostrou que o *topsoil* pode ser uma ferramenta eficiente para favorecer o crescimento de uma espécie nativa, eles adicionaram volumes reduzidos de *topsoil* (apenas 50 ml por vaso de 12 litros) da área de referência ao substrato residual, o que permitiu aumentar a porcentagem de formação de nódulos de simbiose com organismos fixadores de nitrogênio (Figueiredo et al. 2018). De acordo com os autores, mantendo-se tal proporção em larga escala, quantidades muito menores de *topsoil* poderiam ser suficiente para promover melhorias nas condições de crescimento de espécies regenerantes da área degradada, melhorar minimamente as condições físicas e químicas do solo, facilitar a germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas (Figueiredo et al. 2018).

Para aumentar o sucesso do processo de nucleação é necessário garantir que exista uma área similar à área a ser restaurada (habitat de referência) para ser doadora de *topsoil* (Pilon et al. 2018). Porém, a transposição de *topsoil* não é efetiva para grandes áreas degradadas, pois o volume de solo disponível muitas vezes não é suficiente para recobrir toda extensão da área impactada (Pilon et al. 2018). Assim, em geral, em alguns processos de restauração, é necessário adquirir volumes de solos alóctones cuja procedência não é conhecida, ou não é oriundo de um ecossistema similar àquele que demanda por restauração ambiental (Daronco et al. 2013).

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da transposição de quantidades mínimas de *topsoil* para uma área de cerrado degradada por empréstimo de solo para construção da barragem de uma usina hidrelétrica. Para comparar a técnica foi avaliada a abundância, riqueza e diversidade de espécies e de formas de vida da comunidade regenerante. Espera-se que a transposição de *topsoil* favoreça o aumento da riqueza, abundância e diversidade de espécies regenerantes. Procura responder as seguintes questões: (i) A transposição de *topsoil* contribui para o aumento da riqueza, abundância e diversidade de espécies dos regenerantes? (ii) As formas de vida mudaram com a transposição de *topsoil*?

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

Este estudo foi realizado no distrito de Pedra Branca, em Catalão, Goiás (18°28'36.4"S e 47°59'05.1"W, Figura 1), em uma área degradada pela construção da barragem da usina hidrelétrica de Emborcação (UHE) que teve sua construção iniciada em 1977 pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), e foi inaugurada em 20 de fevereiro de 1983. Nessa área foram removidos os horizontes superficiais do solo e consequentemente, toda a vegetação, em cerca de 220 ha (Figura 1). A área de estudo está inserida dentro do domínio do bioma Cerrado, cuja vegetação original é caracterizada por um ecótono de formações florestais semidecíduas (Mata Atlântica) e savânicas (Cerrado) (Mastella et al. 2019).



Área de empréstimo

Figura 1a: Imagem de satélite da região onde está inserida a UHE – Emborcação, destacando (seta) a área de empréstimo onde foi realizado o estudo, adjacente à área degradada onde foi removida a vegetação e os horizontes superficiais do solo. Fonte: Adaptado de Google Maps 2020, **1b:** Área de empréstimo imagem Google Earth 2020.

Atualmente a área degradada apresenta-se com o subsolo exposto e com escassez da vegetação, margeada por pequenos fragmentos florestais e área de plantios agrícolas (Figura 2). Em meados dos anos 2000, foram iniciadas as obras do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para sanar os problemas ambientais intensos. A área apresentava processos erosivos laminares, voçorocas e ravinamento com pouca vegetação. O PRAD contemplou o manejo do solo, com aração e adição de calcário e fertilizante, o plantio de cerca de 30 espécies lenhosas nativas, além de um mix de sementes herbáceo-arbustivas contendo gramíneas e leguminosas. Após 17 anos da implementação do PRAD, os processos erosivos foram substancialmente reduzidos, mas a tentativa de revegetação foi infrutífera, pois apenas 10% das 35.000 mudas de espécies arbóreas plantadas sobreviveram na área, e apresenta desenvolvimento reduzido, segundo levantamento realizado pela equipe do Projeto Fênix utilizando VANT (Veículo Aéreo não Tripulado, Souza et al. 2020. submetido). Além disso, uma espécie de gramínea apresenta caráter invasor, dominando a baixa cobertura vegetal existente nas áreas impactadas.

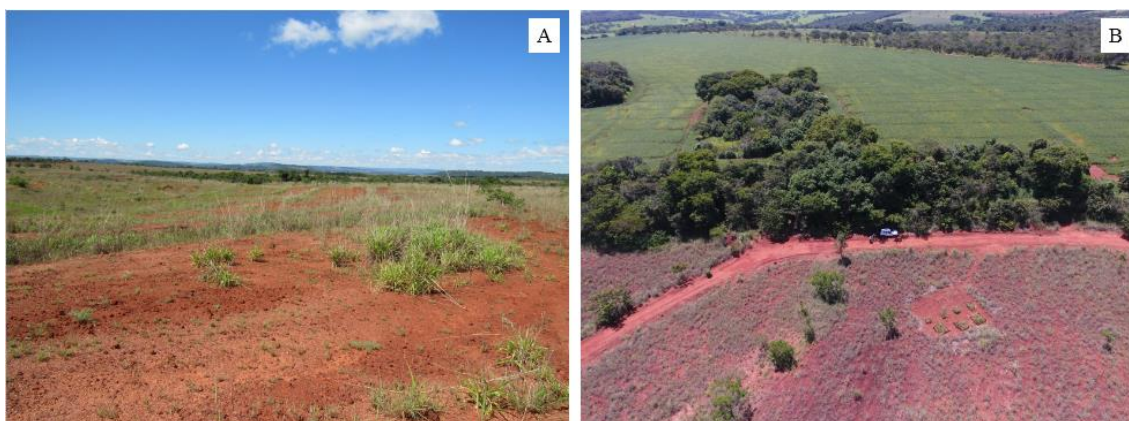


Figura 2: Imagem da área de estudo A: área degradada com solo exposto e com escassez da vegetação. B: área degradada margeada por pequenos fragmentos florestais e área de plantios agrícolas.

Desenho amostral

Para testar a eficiência da transposição de *topsoil* no incremento da riqueza, abundância e composição de regenerantes, o experimento foi instalado utilizando o

delineamento em blocos casualizados. A área foi dividida em 3 blocos, escolhidos *in loco* visualmente por diferenças da cobertura vegetal e solo (Figura 3). Em cada bloco foram instalados 3 tratamentos sendo: 1 *topsoil*; 2 Com capina; 3 sem capina (controle). Em cada tratamento foram implementados 12 parcelas (1x1 m) como descrito a seguir. Ao todo, monitoramos 108 parcelas por 13 meses (3 blocos x 12 parcelas x 3 tratamentos). As parcelas foram demarcadas e delimitadas com sombrite (40 cm de altura) ou barbante e ancoradas por vergalhões de ferro nos ângulos.

O *topsoil* foi retirado de áreas de referência (fragmentos florestais adjacentes aos blocos instalados na área degradada) (Figura 2) em outubro de 2018. Em cada área doadora (bloco) foram demarcadas aleatoriamente 12 parcelas (total de 36) de 1x1 m de onde foram retirados manualmente a serrapilheira e o *topsoil* até a profundidade de 10 cm. Posteriormente, todo o material coletado foi homogeneizado antes de ser adicionado às parcelas experimentais. Esse material foi dividido em três partes para montagem do experimento na área degradada.

Para montar o tratamento 1 (Figura 4), adição de *topsoil*, procedeu-se a capina manual utilizando enxadas e removendo toda a vegetação com gramíneas invasoras. Para aumentar a quantidade de solo e favorecer o enraizamento, adicionamos uma camada de 10 cm de solo alóctone comercial, aparentemente de horizonte B de latossolo vermelho-amarelo, proveniente do mesmo município. Acima dessa camada foi sobreposta uma camada de *topsoil* (10 cm) oriunda da área de referência. O 2º tratamento, chamado de capina, recebeu apenas a capina manual para retirar a vegetação composta principalmente de uma gramínea invasora, que possivelmente seria uma barreira para o estabelecimento das plantas. O 3º tratamento (controle) não recebeu nenhuma intervenção.

Para avaliar as propriedades físicas e químicas do solo foram monitoradas por Souza (2020) por um período de 16 meses. Foram realizadas 3 campanhas que ocorreram em novembro de 2018, agosto de 2019 e em março de 2020. As análises foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa, de acordo com métodos empregados por (Teixeira et al. 2017)



Figura 3: Imagem de satélite da área de empréstimo onde foram instalados os experimentos mostrando o esquema com os 3 tratamentos, cada cor destacando as 12 parcelas por tratamento. O fragmento florestal no centro da imagem é utilizado como área de referência de onde foi retirado o *topsoil*.



Figura 4: Parcelas doadoras de *topsoil* e com os tratamentos: A: Área de referência doadora de *topsoil*; B: Parcela do tratamento que recebeu a transposição de *topsoil*; C: Parcela do tratamento com capina manual; D: Parcela do tratamento controle sem nenhuma interferência.

Estudos florísticos

A flora e a vegetação das parcelas foi avaliada em 7 campanhas no período de novembro de 2018 a dezembro de 2019. Em cada parcela foram considerados os indivíduos que apresentavam mais de um par de folhas definitivas. Todos os indivíduos foram inventariados contendo 2 pares de folhas definitivas e tiveram a altura aferida, sendo também fotografados, marcados e numerados. O percentual de cobertura de cada espécie por parcela foi estimado em dezembro de 2019 e após 1 ano da instalação do experimento, como medida de dominância (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). Para tal, utilizou-se a estimativa visual de acordo com Braun-Blanquet (1979). Além disso, as espécies inventariadas foram classificadas quanto às formas de vidas segundo

Raunkiaer (1934) como: fanerófitas (Ph), caméfitas (Ch), hemicriptófitas (He), geófitas (Ge) e terófitas (Th). Amostras de indivíduos com órgãos reprodutivos foram coletadas para identificação e herborização. A identificação das espécies foi feita por bibliografia especializada, bancos de imagens de plântulas das espécies presentes nos fragmentos da matriz circundante, uso de chaves de identificação e consulta aos especialistas. Também foram realizadas anotações sobre as características morfológicas que poderiam auxiliar na identificação das espécies, assim como na avaliação da eficiência do tratamento. As espécies foram agrupadas em famílias de acordo com o APG III (2009). A coleção de referência foi depositada no herbário Professor José Badini (OUPR) da Universidade Federal de Ouro Preto.

Análises de dados

Para verificar se a transposição de *topsoil* favorece o aumento da riqueza, e abundância de regenerantes acumuladas até o final do experimento foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM) em que a variável explicativa foi o tratamento (adição de *topsoil*, capina e controle) e as variáveis respostas foram à abundância, riqueza de espécies. Todos os modelos foram construídos utilizando uma distribuição de erros adequada para cada variável resposta, de acordo com a crítica ao modelo Crawley (2007). O estudo fitossociológico foi realizado sendo calculados por Excel, a frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), e valor de importância (IVI) das espécies em cada tratamento. Foi calculada também a diversidade de espécies pelo índice de Shannon-Wiener (H') e a equabilidade de Pielou (J') (Magurran 2004).

Para avaliar as diferenças do espectro florístico e do espectro vegetacional entre os tratamentos, e início e final dos experimentos, foi utilizado o teste G de Williams (Zar 1999). Para o espectro florístico avaliou a riqueza de espécies em cada forma de vida e o espectro vegetacional foi à cobertura relativa das espécies em cada forma de vida, como medida de dominância (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974)

Para determinar se a composição florística é influenciada pelas propriedades químicas do solo na área degradada do PRAD foi realizada uma NMDS (Escala Multidimensional Não-Métrica) usando o índice de similaridade Bray-Curtis, segundo Hammer et al. (2001). Após um prévio NMDS, as variáveis correlacionadas foram

excluídas e permaneceram pH, P, K, N, Ca²⁺, Al³⁺, V, S, Mn e Fe. Foram removidos, pH, Mg²⁺, H+Al, SB, t, m, MO, T, B, Cu e Zn. Para testar as diferenças de composição indicadas pelo NMDS foi realizada uma ANOVA de similaridade (ANOSIM) com 5% de significância (Clarke & Green 1988). As análises de composição foram realizadas no software PAST 3 (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS

Neste trabalho foram amostradas ao longo do tempo 110 morfoespécies, sendo que 47% foram identificadas e foram também as mais frequentes (Tabelas 2 e 4). As 53 espécies identificadas pertencem a 27 gêneros e a 14 famílias botânicas. As famílias com maior riqueza de espécies foram Fabaceae (23), Malvaceae (9) e Rubiaceae (6). Muitas famílias foram representadas por apenas uma espécie, como Asteraceae, Apocynaceae, Convolvulaceae, Dilleniaceae, Euphorbiaceae, Malpighiaceae, Ochnaceae, Phyllanthaceae, Sapindaceae e Solanaceae. Os gêneros mais ricos foram *Chamaecrista* (5 espécies), *Sida* e *Stylosanthes* (3 espécies cada). Os outros gêneros amostrados apresentaram apenas uma espécie (Tabela 2).

Tabela 01: Lista de espécies e respectivas formas de vida (FV) e valor de importância (IV) inventariadas após 1 ano da instalação experimental em uma área de cerrado degradada pelo empréstimo de solo, com os tratamentos de deposição de *Topsoil* (TS), Capina (CC), Controle (C).

Família	Espécies	IV			
		FV	TS	CC	C
Apocynaceae	Não identificada	Ter	0	0	0
Asteraceae	<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) Kuntze	Ter	3.59	0	0
Convolvulaceae	<i>Convolvulus ipomoea</i> Vell.	0	0	0	0
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	Fan	0.24	0	0
Euphorbiaceae	Não identificada	-	0.21	0	0
	<i>Microstachys serrulata</i> (Mart. & Zucc.) Müll.Arg.	Fan	2.49	34.44	0
Fabaceae	<i>Centrosema</i> sp.	Hem	0	0	0
	<i>Chamaecrista desvauxii</i> var. <i>latistipula</i> (Benth.) G.P.Lewis	Cam	0.30	0	0
	<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene	Fan	0.27	0	0
	<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench	Ter	0.54	0	0
	<i>Chamaecrista arrojodoana</i> (Hams/rando)	Fan	2.23	0	0

	<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene	-	0	0	0
	<i>Crotalaria juncea</i> L	Ter	0.24	0	0
	<i>Crotalaria micans</i> L.	Ter	0.24	0	0
	<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	Cam	8.65	2.55	19.62
	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Cam	0	0	0
	Não identificada	Ter	0.19	0	0
	Não identificada	Ter	0.40	0	0
	<i>Machaerium</i>	Fan	0.21	0	0
	<i>Mimosa debilis</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Cam	1.00	0	0
	<i>Mimosa pudica</i> L.	Fan	11.89	0	0
	<i>Mimosa</i>	-	0.54	0	0
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Fan	0.27	0	0
	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.)Sw.	Cam	0.24	0	0
	<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	Cam	21.14	51.64	68.44
	<i>Tephrosia adunca</i> Benth	Cam	3.77	0	0
	<i>Zornia reticulata</i> Sm.	Ter	4.93	0	0
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Pan	0.65		11.94
	<i>Gaya domingensis</i> Urb.	Cam	10.05	0	0
	Não identificada	Cam	0.65	0	0
	Não identificada	Cam	0.24	0	0
	<i>Peltaea cf. obsita</i> (Mart. ex Colla) Krapov. & Cristóbal	Cam	1.29	0	0
Malvaceae	<i>Sida cerradoensis</i> Krapov	Ter	0	0	0
	<i>Sida cordifolia</i> L.	Ter	0.21	0	0
	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Cam	9.26	2.55	0
	<i>Walteria indica</i> L	Ter	5.31	0	0
Ochnaceae	Ochnaceae	Ter	0	0	0
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus orbiculatus</i> Rich	Cam	1.51	0	0
Polygalaceae	<i>Asemeia violacea</i> (Aubl.) J.F.B.Pastore & J.R.Abbott	Ter	0	2.55	0
	<i>Polygala longicaulis</i> Kunth	Cam	0.21	0	0
Rubiaceae	<i>Borreria</i> sp.	Ter	0.24	0	0
	<i>Richardia scabra</i> L.	Ter	0	0	0

	Não identificada	Ter	0.42	0	0
	Não identificada	Ter	0.21	0	0
Sapindaceae	<i>Serjania marginata</i> Casar.	Ter	0.97	0	0
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	Fan	0.89	3.72	0

A riqueza de espécies foi maior nas parcelas receptoras de *topsoil* ($p < 0.001$, Figura 5), com 84% de regenerantes amostrados, seguida dos tratamentos com capina (11%) e sem capina (5%). Os tratamentos com capina e o controle tiveram riqueza menores e semelhantes (Figura 5A).

Também foi encontrada maior abundância de regenerantes no tratamento com *topsoil*, ($p < 0.001$, Figura 5B) em comparação aos demais tratamentos. Foram inventariados 2.139 indivíduos nas parcelas (36 m²) onde houve transposição de *topsoil*, seguido pelo tratamento com capina (104 indivíduos) e pelo controle (47 indivíduos) (Tabela 3). A família com maior abundância no tratamento com *topsoil* foi Fabaceae (798 indivíduos), Malvaceae (733 indivíduos) e Asteraceae (212 indivíduos). As demais famílias apresentaram menor abundância, como Rubiaceae (42 indivíduos), Sapindaceae (15 indivíduos), Phyllanthaceae (12 indivíduos), entre outras (Tabela 04). No tratamento com capina, as famílias mais abundantes foram Fabaceae (60 indivíduos), Euphorbiaceae (17 indivíduos) e Malvaceae (6 indivíduos) (Tabela 1), e no tratamento controle sem capina foram as famílias Fabaceae (16 indivíduos) e Malpighiaceae (5 indivíduos) (Tabela 2).

Ao final de um ano após a instalação deste experimento foi observado que muitos regenerantes de leguminosas (Fabaceae), como *Chamaecrista papillata*, *Chamaecrista nictitans*, *Chamaecrista desvauxii*, *Chamaecrista rotundifolia*, *Crotalaria micans*, *Desmodium barbatum*, *Enterolobium gummiferum*, *Mimosa debilis*, *Mimosa pudica*, *Stryphnodendron adstringens*, *Tephrosia adunca* Benth, *Zornia reticulata*, *Crotalaria juncea*, e *Stylosanthes guianensis* frutificaram nas parcelas experimentais, contribuindo para a sucessão com um novo ciclo de regenerantes.

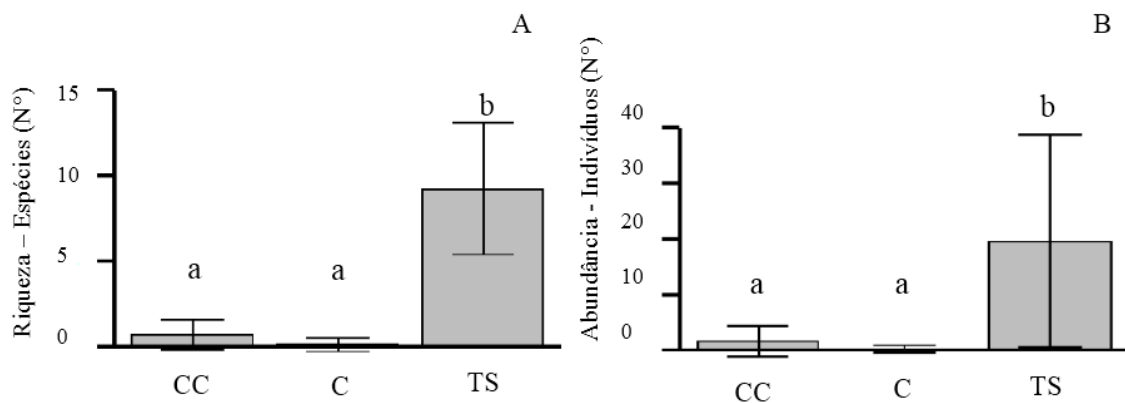


Figura 5: Médias e desvio padrão de riqueza de espécies (A) e abundância de indivíduos (B) regenerantes nos tratamentos com adição de *topsoil* (TS), capina (CC) e controle (C), um ano após a instalação experimental, em uma área degradada por empréstimo de solo para construção de barragem de hidrelétrica em Catalão, Goiás, Brasil. Médias destacadas com letras diferentes diferem entre si a 5% de probabilidade.

A diversidade foi maior nas parcelas onde houve transposição de *topsoil* ($H' = 2.7$), enquanto que no tratamento com capina foi 1,56 e o controle foi 0.85. A equabilidade de Pielou (J') nos 3 tratamentos demonstrou uma uniformidade similar na distribuição dos indivíduos entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 02: Abundância, Riqueza, Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equabilidade de Pielou (J') dos regenerantes nos tratamentos de uma área degradada por empréstimo de solo. Tratamento: adição de *Topsoil* (TS), Capina (CC) e Controle (C).

Tratamento	Abundância	Riqueza	H'	J'
TS	2139	107	2.70	0.58
CC	104	14	1.56	0.59
C	47	5	0.85	0.53

Após um ano da instalação do experimento as espécies com o maior valor de importância (IV) no tratamento com *topsoil* foram *Stylosantes viscosa* (21.14 %), *Mimosa pudica* (11.89) e *Gaya domingensis* (10.05). Entre elas a espécie mais frequente, aquela que possui mais indivíduos na unidade amostral, foi *S. viscosa* (97.22 %) que também teve a maior dominância (30.16 %) que ocupou a maior área (Tabela 4). No tratamento com capina, as espécies com maior IV foram *S. viscosa* (51.64 %) e *Microstachys serrulata* (34.44%), sendo também as mais frequentes e com maior dominância, respectivamente. No controle, os maiores valores de IV foram encontrados

para *S. viscosa* (68.44 %) e *Desmodium barbatum* (19.62), essas espécies também foram as mais frequentes e a *S. viscosa* com a maior dominancia (>70%).

Tabela 03: Lista de espécies com os parâmetros fitossociológicos com o valor de importância (IV) de cada espécie nos diferentes tratamentos *Topsoil* (TS), Capina (CC), Controle (C), FA = Frequência absoluta; FR = Frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = Dominância Relativa; IV = Índice de valor de importância.

Espécies	FA	FR	DoA	DoR	IV
TS	%	%	%	%	%
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	97.22	12.11	12.86	30.16	21.14
<i>Mimosa pudica</i> L.	36.11	4.50	8.22	19.29	11.89
<i>Gaya domingensis</i> Urb.	72.22	9.00	4.73	11.10	10.05
<i>Sida rhombifolia</i> L.	80.56	10.03	3.62	8.48	9.26
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	75.00	9.34	3.39	7.96	8.65
<i>Walteria indica</i> L.	58.33	7.27	1.43	3.35	5.31
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	58.33	7.27	1.10	2.59	4.93
<i>Tephrosia adunca</i> Benth.	41.67	5.19	1.00	2.35	3.77
<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) Kuntze	36.11	4.50	1.14	2.68	3.59
<i>Microstachys serrulata</i> (Mart. & Zucc.) Müll. Arg.	19.44	2.42	1.09	2.56	2.49
<i>Chamaecrista papillata</i> HS Irwin & Barneby	27.78	3.46	0.43	1.00	2.23
<i>Phyllanthus orbiculatus</i> Rich.	19.44	2.42	0.26	0.60	1.51
<i>Peltaea cf. obsita</i> (Mart. ex Colla) Krapov. & Cristóbal	13.89	1.73	0.36	0.85	1.29
<i>Mimosa debilis</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	5.56	0.69	0.56	1.30	1.00
<i>Serjania marginata</i> Casar.	13.89	1.73	0.09	0.21	0.97
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	11.11	1.38	0.17	0.39	0.89
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	8.33	1.04	0.11	0.26	0.65
Malvaceae	8.33	1.04	0.11	0.26	0.65
<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench	5.56	0.69	0.17	0.40	0.54
<i>Mimosa</i> sp.	5.56	0.69	0.17	0.39	0.54
Rubiaceae	5.56	0.69	0.06	0.15	0.42
Fabaceae	5.56	0.69	0.05	0.12	0.40
<i>Chamaecrista desvauxii</i> var. <i>latistipula</i> (Benth.) G.P. Lewis	2.78	0.35	0.11	0.26	0.30
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	2.78	0.35	0.09	0.20	0.27
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene	2.78	0.35	0.08	0.20	0.27
<i>Crotalaria micans</i> L.	2.78	0.35	0.06	0.13	0.24
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	2.78	0.35	0.06	0.13	0.24
<i>Borreria</i> sp.	2.78	0.35	0.06	0.13	0.24

CC	FA	FR	DoA	DoR	IV
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	33.33	50.00	3.17	53.27	51.64
<i>Microstachys serrulata</i> (Mart. & Zucc.) Müll. Arg.	19.44	29.17	2.36	39.72	34.44
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	2.78	4.17	0.19	3.27	3.72
<i>Sida rhombifolia</i> L.	2.78	4.17	0.06	0.93	2.55
<i>Asemeiaviolacea</i> (Aubl.) J.F.B. Pastore & J.R. Abbott	2.78	4.17	0.06	0.93	2.55
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	2.78	4.17	0.06	0.93	2.55
C	FA	FR	DoA	DoR	IV
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	16.67	66.67	0.92	70.21	68.44
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	5.56	22.22	0.22	17.02	19.62
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	2.78	11.11	0.17	12.77	11.94

Comparando o espectro florístico inicial e final (1 ano depois) e entre os tratamentos ($G = 0.3915$; $g.l. = 3$; $p = 0.9420$), não foram encontradas diferenças significativas (Figura 6). A forma de vida mais rica e mais dominante foi das terófitas, principalmente no tratamento com *topsoil*. O espectro vegetacional também não diferiu ($G = 0.4674$; $g.l. = 3$; $p = 0.9982$), mas houve um aumento das caméfitas após 1 ano de tratamento.

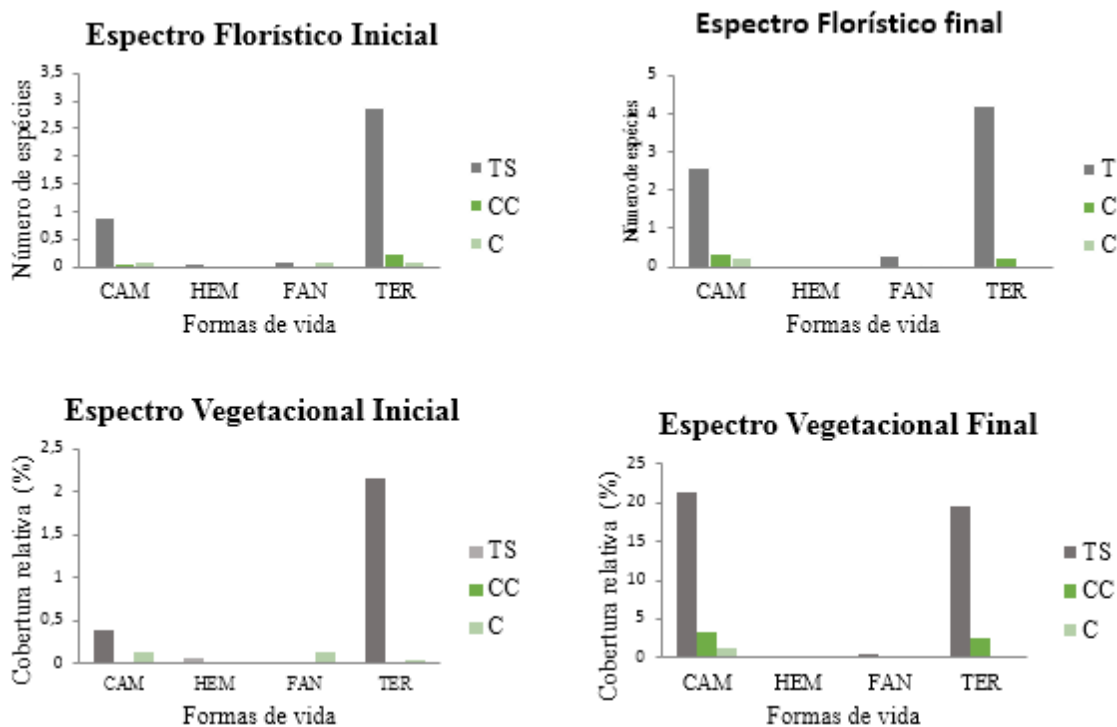


Figura 6: Formas de vida amostradas nos diferentes tratamentos Espectro Florístico inicial e Espectro vegetacional (1 mês de amostragem), Espectro Florístico e Espectro vegetacional (após 1 ano de

instalação do experimento) CAM= Camedifitas HEM= Hemicriptofitas, PAN= Fanerófitas, e TER= Terófitas, Tratamentos: 1 - TS = com *topsoil*; 2 - CC = com capina; 3 - C = controle.

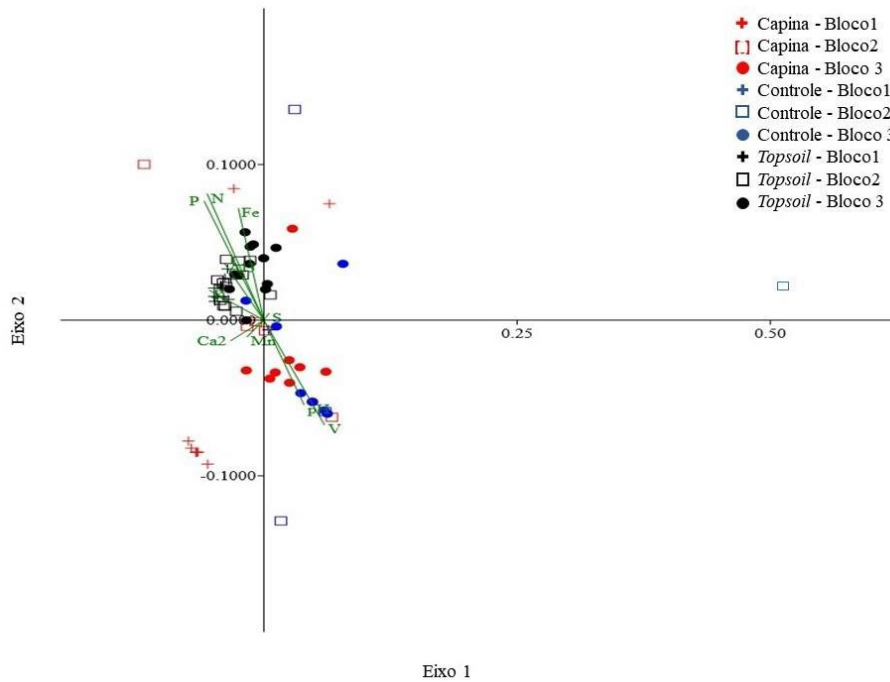


Figura 7: Análise da composição florística nas parcelas (símbolos) e das propriedades químicas do solo (vetores) por tratamento/bloco amostrados na área degradada por empréstimo de solo (N = 108). Matéria (MO), pH e fertilidade.

Houve variação na composição florística entre os tratamentos e blocos dentro da área degradada ($p < 0.001$, Figura 7). O tratamento com adição de *topsoil* obteve maior homogeneidade florística entre os blocos e parcelas, cuja composição está correlacionada com solos com maiores nutrientes (P, N e Fe) e valores de pH, comparado com os outros tratamentos de controle.

DISCUSSÃO

A transposição de *topsoil* aumentou em pelo menos 10 vezes a riqueza e 20 vezes a abundância de regenerantes quando comparada aos valores encontrados nos outros tratamentos. Como observado em outros estudos, de fato, a adição de *topsoil* em área degradada mostra-se uma técnica de nucleação importante para restauração ambiental, pois favorece o recrutamento e o estabelecimento de espécies nativas e promove rápida cobertura do solo (Zhang et al. 2001; Amaral et al. 2017). Esse processo de colonização das plantas formam a base para favorecer a sucessão vegetal (Martins et al. 2017), pois o uso de *topsoil* também melhora as condições físicas,

químicas e biológicas do solo (maior fertilidade, matéria orgânica, microrganismos e banco de sementes (Ferreira & Vieira 2017), e facilita a germinação de sementes e o estabelecimento das plântulas (Golos & Dixon, 2014; Amaral et al. 2017).

O *topsoil* utilizado no presente estudo foi retirado dos fragmentos de formações florestais do entorno. Assim, seu banco de sementes pode ter levado propágulos de espécies de estágios sucessionais mais tardios, não contribuindo diretamente para o recrutamento inicial nas parcelas experimentais instaladas na área degradada, pois grande parte das espécies inventariadas são de ampla distribuição de formações savânicas do domínio do cerrado, tendo sido observadas nas proximidades da área de estudo, como *S. viscosa* (Costa et al. 2015), *M. serrulata* (Flora do Brasil, 2020). Em sua maioria são de porte herbáceo a subarbustivo, cujos propágulos provavelmente são oriundos da chuva de sementes do entorno.

Em todos os tratamentos também foram verificadas algumas espécies de gramíneas exóticas, tais como *Andropogon gayanus* Kunth, visto que gramíneas invasoras podem ser bastante prejudiciais se não controladas em áreas a ser recuperadas, indicando a necessidade de serem manejadas (Brooks et al. 2010; Pilon & duringan 2013; Pilon et al. 2018). As gramíneas foram utilizadas na revegetação da área de estudo durante a execução do PRAD para controle de erosão. Por esse motivo foram removidas pela capina (tratamento CC) para verificar o efeito competitivo das mesmas no prejuízo do processo de sucessão natural. Embora sua cobertura não tenha sido mensurada nas parcelas experimentais ao longo deste estudo, a importância do manejo das gramíneas exóticas na área é clara. A simples capina superficial das gramíneas nas parcelas (tratamento CC, Figura 5) aumentou significativamente a riqueza de espécies e a abundância de indivíduos em comparação com as parcelas controle.

Diversas espécies do gênero *Mimosa* encontradas no tratamento do *topsoil*, que tiveram alto índice de valor de importância, são indicadas para a recuperação de áreas degradadas e também para o controle de erosão (Pereira 2008). A espécie *S. viscosa*, que apresentou o maior valor de importância e frequência, é indicada por outros estudos para restauração devido ao seu potencial para favorecer a sucessão em área degradada, pois melhora a cobertura do solo colonizando ampla área também pela nodulação das raízes (Cordeiro 2002; Neri et al. 2011). Evidenciando a importância da família Fabaceae em recuperação de áreas degradadas pela importância da fixação simbiótica de nitrogênio (Cordeiro 2002).

Algumas espécies encontradas no tratamento do *topsoil* podem indicar alto grau de degradação, pelo histórico da área que sofreu perda de solo e vegetação, foram encontradas algumas dessas espécies como *Sida cordifolia* com menor IVI e *Walteria indica*, mas alguns autores têm referido a importância dessas espécies no início da sucessão ecológica (Neri et al. 2011).

Espécies como *Crotalaria juncea* que foram encontradas no tratamento TP e CC também são descritas como ideais para a recuperação de áreas degradadas devido ao seu crescimento rápido, aumentando a cobertura do solo, exigindo pouca água e também aumentando a fixação de nitrogênio, a ciclagem de nutrientes e melhorando as características químicas do solo (Pereira 2008). A presença de espécies de leguminosas é importante principalmente em áreas onde foram retiradas camadas orgânicas de solo, aumentando o potencial da restauração (Pereira 2008).

Neste estudo, verificou-se o estabelecimento de muitas espécies anuais, subarborescentes e herbáceas, caracterizadas como terófitas. Estas espécies completam o ciclo reprodutivo (floração e frutificação) dentro de um ano após estabelecidas, propagam-se por sementes e usualmente são heliófitas (Messias et al. 2011). Através da reprodução atraem polinizadores e consumidores formando um atrativo para a fauna do entorno (Jordano et al. 2006). Além disso, por propiciarem sombra e cobertura favorecem o estabelecimento de espécies da flora do entorno (Bechara et al. 2007). Assim sendo, as terófitas parecem atuar como pioneiras, facilitando a colonização de outras espécies nos núcleos criados pela transposição de *topsoil*, propiciando a restauração ecológica.

No tratamento onde houve transposição de *topsoil* as terófitas representam a forma de vida mais dominante na riqueza e também na cobertura, essa forma de vida demanda condições nutricionais para garantir o seu desenvolvimento e sobrevivência nesse curto período (Messias et al. 2011). Assim, o *topsoil* favoreceu esta forma de vida, uma vez que aumentou fertilidade do solo e removeu a vegetação que poderia competir por luz e recursos do solo. Embora a adição de *topsoil* tenha proporcionado elevação do teor de nutrientes, provavelmente não limitaria o estabelecimento de espécies de cerrado, que são adaptadas a ambientes distróficos.

Ao longo do tempo houve um pequeno aumento na composição da forma de vida caméfitas, aumentando a diversidade de formas de vida. Entretanto, é cedo ainda para se concluir sobre isso, pois as formas de vida não diferiram significativamente

entre o início e o fim do período de um ano de estudo e entre os tratamentos. Estudos no Cerrado Brasileiro obtiveram maior número de espécies fanerófitas e hemicriptófitas em formações savânicas de cerrado, pois são mais adaptadas às condições edafoclimáticas (Batalha et al. 1997).

A transposição de *topsoil* também indicou um aumento de nutrientes no solo da área degradada no PRAD propiciando uma maior riqueza e abundância de regenerantes, apesar de que espécies de cerrado geralmente precisam de baixo teor de nutrientes, pois são adaptadas a este tipo de ambientes. Estudos em áreas degradadas nas quais também as camadas orgânicas do solo foram perdidas, demonstraram resultados parecidos (Alves & Souza 2012; Machado et al. 2013)

A maior homogeneidade florística das parcelas no tratamento com *topsoil* provavelmente foi devida à homogeneização do mesmo antes da transposição, no entanto, a superioridade na regeneração natural indica as limitações do substrato em garantir a regeneração natural sem esse tratamento, pois o solo encontra-se pobre em matéria orgânica e nutrientes e com características físicas como a dureza e baixa permeabilidade como indicado no estudo de (Souza et al. 2020). A baixa capacidade de infiltração de água e alta compactação do solo nesses ambientes degradados com perdas elevadas de solo dificultam a sucessão ecológica (Ferreira et al. 2007),

A transposição de *topsoil* aumentou a diversidade das comunidades vegetais comparada com os tratamentos com capina e controle, cujos valores estimados de diversidade são menores do que em outros estudos de cerrado e campo rupestres (Messias et al. 2012; Martins et al. 2017; Mota et al. 2018). Tais comparações, entretanto, devem ser consideradas com cuidado, devido à variação nos métodos de amostragem.

CONCLUSÃO

A técnica de transposição de *topsoil* contribuiu para o aumento da riqueza e abundância de espécies e de formas de vida dos regenerantes na área degradada demonstrando a eficiência dessa técnica nucleadora na restauração ecológica. O uso de quantidades mínimas de *topsoil*, além de aperfeiçoar o uso do mesmo, garante o menor impacto nas áreas doadoras, mostrando a importância desse estudo. Muito embora esta avaliação tenha sido realizada por um curto período ela demonstra ser um bom indicador da avaliação do processo de restauração, servindo como um monitoramento

inicial eficiente. Estudos de longo prazo são necessários para comprovar a eficiência dessa técnica.

REFERÊNCIAS

- Almeida DS (2016) Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3ª ed. revista Ilhéus/BA: Editus, p. 18-21, 32-39 e 140-158.
- Alves MC, Souza ZM (2008) Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretiva. Revista Brasileira de Ciência do solo, 32:2505-2516p.
- Alves MC, Nascimento V, Souza ZM (2012) Recuperação em área de empréstimo usada construção de usina hidrelétrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(8):887-893p.
- Amaral LA, Pereira IM, Silva MAP da, Oliveira M.L. Romarco de, Machado EL, Mendonça L, Marcelo Lde (2017) Use of *topsoil* for restoration of a degraded pasture área. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 52(11): 1080-1090p.
- Apg III (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Botanical Journal of the Linnean Society 161:105-121p.
- Aronson J, Dhillon S, Le Floch E (1995) On the need to select an ecosystem of reference, however imperfect: a reply to Pickett and Parker. Restoration Ecology 3: 1-3p.
- Batalha MA, Aragaki S, Mantovani W (1997) Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas. Acta botânica Brasílica, Pirassununga, SP 11: 61-78p.
- Bechara FC, Fernandes GD, Silveira RL (2007) Quebra de dormência de sementes de *Chamaecrista flexuosa* (L.) Greene Leguminosae visando à restauração ecológica do Cerrado. Revista de Biologia Neotropical 4: 58-63p.
- Buisson E, Le Stradic S, Silveira FAO, Durigan G, Overbeck GE, Fidelis A, Veldman JW (2018). Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. Biological Reviews, 94(2):590-609p.

- Brooks, K. J., Setterfield, S. A., & Douglas, M. M. (2010). Exotic Grass Invasions: Applying a Conceptual Framework to the Dynamics of Degradation and Restoration in Australia's Tropical Savannas. *Restoration Ecology*, 18(2): 188–197p.
- Clarke KR, Green RH (1988) Statistical design and analysis for a biological effects study. *Marine Ecology Progress Series* 46: 213-226p.
- Crawley M. *The R Book*. West Sussex: wiley, 2007. 942p.
- Costa LCda, Valls JFM (2015) *Stylosanthes* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Cordeiro L (2002) Fixação de nitrogênio em leguminosas ocorrentes no Cerrado. In: KLEIN, A. L. (Org.). *Eugen warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. São Paulo: UNESP. 131-145p.
- Chada SS, Campello EFC, Faria SM (2004) Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis. RJ. *Revista Árvore*, 28:801-809p.
- Daronco C, Melo CA, Durigan GH (2013) Ecossistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região de Cerrado. *Assis, SP, Brasil* 40(3): 485-498p.
- Engel VL & Parrota JA (2003) Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In *Restauração ecológica de ecossistemas naturais* (P. Y. Kageyama, R.E. Oliveira, L.F.D. Moraes, V.L. Engel & F.B. Gandarra, eds). Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas Florestais, Botucatu, 1-26p.
- Ferreira WC, Botelho SA, Davide AC, Faria JMR (2007) Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada a margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. *Rev. Árvore* 31(1), viçosa Jan./Feb.
- Ferreira MC, Walter BMT, Vieira DLM (2015) *Topsoil* translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*. 23: 723–728p.
- Ferreira MC & Vieira DLM (2017) *Topsoil* for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological Engineering* 103, 1-12p.

- Flora do Brasil (2020) Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB25550>>. Acesso em: 20 mai. 2020.
- Figueiredo MA, Diniz AP, Abreu AT, Messias MCT, Kozovits AR (2018) Growing *Periandra mediterrânea* on post-mining substrate: native Fabaceae with potential for revegetation of degraded rupestrian grasslands in Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 32(2): 232-239p.
- Golos PJ, Dixon KW (2014) Waterproofing *topsoil* stockpiles minimizes viability decline in the soil seed bank in an arid environment. *Restoration Ecology*, 22:495-501p. DOI: 10.1111/rec.12090.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em 30 Maio. 2020.
- Jordano P, Galetti M, Pizo Ma, Silva WR (2006) Ligando frugivoria e dispersão de sementes á biologia da conservação. In: Rocha CFD, Bergallo HG, Van Sluys M, Alves MAS. (Ed.) *Biologia da conservação: essências*. São Carlos, Rima p. 411-436.
- Pereira AR (2008) como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão, Belo horizonte: editora FAPI, Revista e ampliada 2º edição.
- Reis A, Bechara FC, Espindola MB, Vieira NK, Souza LL (2003) Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação* (1): 28-36p.
- Reis A, Tres DR, Bechara FC (2010) Nucleation in tropical ecological restoration *Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 67(2) 244-250p.
- Rocha FCG, Oliveira FS, Leite GP, Dias DD, Messias MCTB, Kozovits AR (2020): Chemical and microstructural behaviour of ferruginous rocky outcrops *topsoils* applied to degraded mining areas. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. DOI: 10.1080/17480930.2020.1815932.
- Rodrigues GB, Maltoni KL, Cassiolato AMR (2007) Dynamics of the subsoil regeneration in degraded areas of Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(01) 73-80p.

- Machado NAM, Leite MGP, Figueiredo MA, Kozovits AR (2013) Growing *Eremanthus erythropappus* in crushed laterite: A promising alternative to *topsoil* for bauxite-mine revegetation. *Journal of Environmental Management* 129:149-156.
- Magurran AE (2004) *Measuring biological diversity*. Blackwell.
- Martins DAP, Lanzarini AD, Heinz CF, Vieira FS, Bonatto RA, Kanieski MR (2017) Avaliação da transposição de serapilheira e do banco de semente do solo em uma área degradada no Planalto Catarinense *FLORESTA*, Curitiba, PR, 47(3): 237 – 246p. ISSN eletrônico 1982-4688.
- Mastella ADalF, Ivasko-Júnior S, Tres A, Tetto AF, Wendling WT, Soares RV (2019) Classificação do estado de Goiás e do Distrito Federal segundo o sistema de zonas de vida de holdridge. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(02): 443-456p.
- Messias MCTB, Leite MGP, Meira-Neto JAA, Kozovits AR (2011) Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotrop.* 11(2).
- Messias MCTB, Leite MGP, Meira-Neto JAA, Kozovits AR (2012) Phytosociology of quartzitic and ferruginous rocky outcrop areas in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica* 26:230-242p.
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H (1974) *Aims and methods of vegetation ecology*. 2nd ed. John Willey & Sons, New York
- Mota GS, Luz GR, Mota NM, Coutinho ES, Veloso MDM, Fernandes GW (2018) Changes in species composition, vegetation structure, and life forms along an altitudinal gradient of rupestrian grasslands in south-eastern Brazil. *Flora* 238:32-42p.
- Neri AV, Soares MP, Neto AAM, Dias LE (2011) Espécies de Cerrado com potencial para a recuperação de áreas degradadas por Mineração de ouro. Paracatu - MG *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 35(4):907-918p.
- Onésimo CMG, Dias DD, Beirão MV, Kozovits AR, Messias MCTB (2020) Ecological succession in áreas degraded by Bauxite mining indicates successful use of *topsoil*. *Restoration ecology*.
- Pilon NAL, Buisson E, Durigan G (2018) Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by *topsoil* and hay transfer, *Restoration Ecology*, 26(1): 73–81p.

- Pilon NAL, Durigan G (2013) Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. *Revista Scientia Forestalis*, 41:389-399p.
- Raunkiaer C (1934) *The life forms of plants and statistical geography*. Claredon Press, Oxford
- Silveira FAO, Negreiros D, Barbosa NPU, Buisson E, Carmo FF, Carstensen DW (2016) Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant Soil* 403:129-152p.
- Souza YAF, Leite MGP, Fujaco MAG (2020) A hydroelectric dam borrow pit rehabilitation. Two decades after the project, what went wrong? A Submetido para *Journal of Environmental Management*.
- Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG (2017) *Manual de métodos de análise do solo*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 573 p.
- White PS & Walker JL (1997) Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology* 5: 338-349p.
- Westhoff V & Maarel E (1978) The Braun-Blanquet approach. In *Classification of plant communities* (R.H. Whittaker, ed.). Dr. W. Junk, Netherlands, 289-374p.
- Wikum D & Shanholtzer G (1978) Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. *Environ. Manage.* 2(4):323-329p.
- Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*. 4ªed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey
- Zhang ZQ, Shu WS, Lan CY, Wong MH (2001) Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead zinc mine tailings. *Restoration Ecology* 9:378-385p.

CAPÍTULO 2 – FLORESTAS TROPICAIS PODEM SER DOADORAS SUSTENTÁVEIS DE *TOPSOIL* E SERAPILHEIRA PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS?

Silveira, B. R.; Bahia, T. O.; Messias, M.C.T.B.; Kozovits, A.R.

RESUMO

Fragmentos florestais (área de referência) podem ser utilizados como doadores de *topsoil*? Para responder essa pergunta avaliamos os efeitos dos pequenos distúrbios provocados pela remoção de *topsoil* e serapilheira em um fragmento florestal considerado como área de referência localizada em região de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica. A área estudada foi subdividida em três blocos, cada bloco com 12 parcelas de cada tratamento, somando 36 parcelas onde houve remoção de *topsoil* e 36 parcelas controle. Em cada parcela dos dois tratamentos foram contabilizados todos os indivíduos regenerantes que apresentavam mais de um par de folhas definitivo e identificado até o menor nível taxonômico possível. A serapilheira depositada ao longo de 1 ano foi mensurada nas parcelas onde houve remoção de *topsoil*. Comparamos à riqueza, abundância, a composição florística dos regenerantes entre tratamentos. Também avaliamos o efeito da deposição de serapilheira na abundância e riqueza de regenerantes. Ao longo do ano foi amostrado um total de 275 indivíduos de 78 espécies. Houve maior abundância e riqueza de espécies regenerantes nas parcelas em que houve remoção de *topsoil* em relação ao controle, demonstrando que o impacto gerado com a retirada do *topsoil* não prejudicou a regeneração da vegetação dentro de fragmento florestal. A composição florística nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* não foi modificada pelo distúrbio provocado em relação ao controle. A abundância de regenerantes foi menor nas parcelas com maior deposição de serapilheira e a riqueza não foi influenciada. A técnica empregada mostrou ser promissora e não provoca impactos significativos ou a diminuição da capacidade de resiliência no fragmento florestal estudado. Após um curto período após a remoção do *topsoil* e da serapilheira já foi possível observar um resultado importante na regeneração natural, com o aumento da riqueza e abundância dos indivíduos regenerantes sem haver perda de espécies na comunidade.

Palavras-chave: Restauração ecológica; distúrbios intermediários; nucleação; diversidade; regenerantes; *topsoil*.

CHAPTER 2 - CAN TROPICAL FORESTS BE SUSTAINABLE DONORS OF TOPSOIL AND LITTER FOR THE RECOVERY OF DEGRADED AREAS?

Silveira, B. R.; Bahia, T. O.; Messias, M.C.T.B.; Kozovits, A.R.

ABSTRACT

Is it possible that forest fragments (reference area) may be *topsoil* donors? To answer this question, we evaluated the effects of minor disturbances caused by *topsoil* and litter removal in the reference area around the degraded area located in an ecotone region between Brazilian savanna and Atlantic Forest.. The study area was subdivided into three blocks. In each block, 12 plots of each treatment were demarcated, adding 36 plots where *topsoil* was removed and 36 control plots, in each one the regenerating seedlings that had more than one pair of definitive leaves were recorded and identified to the lowest possible taxonomic level. The deposited litter over 1 year was measured in the *topsoil* removal plots. We compared the richness, abundance, floristic composition of the seedlings between treatments. We also evaluated the effect of litter deposition on the abundance and richness. A total of 275 individuals of 78 species were sampled. There was a greater abundance and richness of seedlings in the *topsoil* removal plots there compared to the control, showing that the impact generated by the *topsoil* removal did not damaged the plant species in the experimental plots. The floristic composition in the *topsoil* removal plots was not affected by the disturbance caused, compared to the control. The abundance of seedlings was lower in the plots with the highest litter deposition and the richness was not influenced. This technique seems to be promising and does not cause significant impacts or decreased resilience in the studied forest fragment, and in a short period after the removal of *topsoil* and litter it was already possible to observe an important result in natural regeneration, with plant richness increase and abundance of seedlings individuals without loss of species in the community.

Keywords: Ecological restoration; intermediate disturbance; nucleation; diversity; seedlings; *topsoil*.

INTRODUÇÃO

A transposição da camada superficial solo (*topsoil*) visando à recuperação de áreas degradadas é uma das técnicas mais recomendadas para promover o restabelecimento inicial das comunidades de plantas e microrganismos nativos e, conseqüentemente, dos serviços ecossistêmicos (Rokich et al. 2001; Eichberg et al. 2010; Ferreira et al. 2015; Bahram et al. 2018; Ribeiro et al. 2018; Rocha et al. 2020). A cobertura do solo por uma camada de serapilheira também modifica o micro-habitat, mantêm a umidade do solo, regula sua temperatura e reduz a intensidade da luz sobre a vegetação, promovendo o estabelecimento de espécies e reduzindo a erosão (Jia et al. 2018). Em áreas cujas camadas orgânicas de solo foram completamente suprimidas, resultado de atividades de mineração a céu aberto ou doação de solo para obras de engenharia, essa técnica possivelmente é a única a garantir a retomada mais acelerada da colonização e da trajetória de sucessão ecológica (Machado et al. 2013; Bulot et al. 2014; Figueiredo et al. 2018; Ribeiro et al. 2018; Onésimo et al. 2020). Dessa forma, a transposição de serapilheira para áreas abertas, sem solos profundos e, portanto, mais sujeitas ao déficit hídrico, pode vir a auxiliar desenvolvimento de cobertura vegetal na área degradada.

Para maximizar o sucesso da transposição do *topsoil* no recobrimento das áreas degradadas algumas exigências devem ser atendidas quanto à qualidade, quantidade e sua integridade ecológica. Na maioria das vezes, não há volume de *topsoil* suficiente ou, devido ao manejo de retirada das áreas doadoras e armazenamento, sua qualidade em termos de diversidade de propágulos de plantas e microrganismos viáveis, além de parâmetros físicos e químicos, torna-se bastante reduzida (Rokich et al. 2001; Bulot et al. 2014; Figueiredo et al. 2018). Além disso, são importante que o *topsoil* seja retirado de ecossistemas de referência e com o menor grau de degradação possível para favorecer o rápido estabelecimento de diversidade de espécies nativas e da redundância funcional, fatores determinantes para iniciar com sucesso a trajetória de restauração do ecossistema (Eichberg et al. 2010; Wortley et al. 2013; Pilon et al. 2018; Farrell et al. 2020). O ideal é que a transposição para a área degradada ocorra logo depois, nos primeiros meses depois da retirada da área doadora (Onésimo et al. 2020; Rocha et al. 2020). A obtenção do recurso para transposição, por si só, pode ser uma fonte geradora de distúrbios e degradação nos ambientes doadores, além de demandar uma complexa

logística de retirada, transporte e alocação, dificultando a aplicação da técnica (Rocha et al. 2020). Está claro que a retirada de grandes volumes superficiais de solo, em geral com uso de máquinas pesadas que acabem por compactar o solo remanescente e por suprimir a maior parte da vegetação, fauna e microrganismos de solo, não deve ser a técnica utilizada (Geissen et al. 2013). Mas então, que quantidade e tipo de retirada seriam plausíveis? A observação de respostas dos ecossistemas a diferentes tipos de distúrbios naturais em escalas temporais e geográficas variáveis pode ser ferramenta fundamental para iniciar tal consideração.

Distúrbios, naturais ou antrópicos, alteram o ambiente e são responsáveis pela geração de heterogeneidade ambiental no espaço e no tempo e, afetam positiva ou negativamente a diversidade e diversas funcionalidades ecossistêmicas a depender da intensidade, da frequência, da duração e extensão (White 1979; Spruguel 1991; Crausbay & Martin 2016). Há atualmente crescentes evidências de que distúrbios naturais ou antrópicos de pequena escala/intensidade não afetam a resiliência do ambiente e podem afetar positivamente a diversidade de vários grupos de organismos assim, exercem forte influência na estruturação das comunidades e sua diversidade (Markl et al. 2012; Arroyo-Rodriguez et al. 2020; Dolabela et al. 2020). Mesmo eventos naturais ocorrentes em escalas maiores, como incêndios ou enchentes em ambientes sazonais, por exemplo, que removem a serapilheira acumulada sobre o solo, estimulam a germinação e o estabelecimento de espécies, enquanto alteram também a ciclagem de nutrientes, afetam os estoques de C e N no solo, a produtividade do ecossistema (Macedo et al. 2008; Figueira et al. 2016; Fagundes et al. 2018).

A retirada de camadas de solo e serapilheira pode promover um distúrbio, mas também pode gerar um estímulo para a regeneração natural, colonização por microrganismos, germinação de sementes e estabelecimento de plântulas em ecossistemas manejados (Xiong e Nilson 1999; Bahram et al. 2018; Morsing et al. 2020). Em florestas temperadas, a remoção ativa de serapilheira em parcelas descontínuas pode ser ferramenta que acelerar o restabelecimento da estrutura e da diversidade da comunidade vegetal florestal em áreas em processo de restauração (Morsing et al. 2020). Quando se mantêm a serapilheira, ao contrário, pode haver redução da germinação, estabelecimento e crescimento de plantas em ecossistemas dominados por herbáceas, ou sujeitos a períodos de seca (Loydi et al. 2013).

Os resultados apresentados no primeiro capítulo dessa dissertação demonstram os efeitos positivos da transposição de fina camada de *topsoil* para o estabelecimento inicial da comunidade de plantas. Este capítulo avalia, por outro lado, o efeito dos pequenos distúrbios provocados pela remoção de *topsoil* e da serapilheira na área de referência no entorno da área degradada por empréstimo de solo para construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Emborcação. Para isso, responderemos às seguintes perguntas: (i) há diferença entre a riqueza e abundância de regenerantes nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* em comparação com o controle (Sem nenhuma intervenção)? (ii) Há relação entre a riqueza e abundância de regenerantes nas parcelas onde há mais reposição de serapilheira após um ano de remoção? E (iii) a composição florística nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* foi influenciada pelo distúrbio provocado na área? Com isso pretende-se verificar a viabilidade da retirada de pequenos volumes de *topsoil* de uma área de referência como técnica ambientalmente sustentável em um projeto de restauração e sua implementação em larga escala.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Este estudo foi realizado em um fragmento florestal localizado em região de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica (Mastella et al. 2019). A região é caracterizada pela ocorrência natural de diferentes fitofisionomias com formações savânicas, florestais semidecíduas e matrizes de monoculturas, principalmente de cana e soja, no distrito de Pedra Branca em Catalão, Goiás (18°28'36.4"S e 47°59'05.1"W), às margens do Rio Paranaíba (Figura 1).

A área abrange 220 ha e foi utilizada como área de empréstimo de solo onde a vegetação e os horizontes A e B do solo foram retirados e destinados à construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Emborcação (UHE-Emborcação) no final da década de 1970, pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). O solo da região é caracterizado por Latossolos vermelho e Latossolos vermelho amarelo de acordo com a classificação (EMBRAPA 2013). O clima é classificado como “Aw”, pela classificação Köppen, com temperaturas médias de 22.2°C, com chuvas concentradas no período do verão, e estação seca de abril a setembro, cuja precipitação média anual varia entre 1400 a 1600 mm (Beck et al. 2018; Mastella et al. 2019).



Figura 1: Imagem da área da UHE – Emborcação, destacando-se a área de empréstimo degradada em vermelho e em verde área de fragmentos florestais onde foi realizado o estudo. Fonte: Google Maps.

Em consequência da degradação pela retirada do solo e vegetação, foi estabelecido um passivo ambiental acentuado, requerendo medidas e ações para controlar a erosão e degradação do solo e perda da biodiversidade. Nos anos de 2001 a 2003, um Plano de Recuperação de Áreas Degradada (PRAD) foi executado com obras de engenharia para controlar processos erosivos, manejo do solo para recuperação da fertilidade com corretivos e fertilizantes químicos e tentativa de revegetação utilizando o plantio de mudas de espécies arbóreas e de um estrato herbáceo, com a semeadura direta de um mix de sementes.

No entanto, após quase 20 anos, a área demonstra-se com pouca cobertura vegetal, baixa densidade de indivíduos arbóreos e abundância de espécies invasoras, grande proporção de solo exposto e com horizonte superficial compactado e ainda evidenciando a ocorrência de perda de solo por erosão laminar, indicando a ineficácia do PRAD (Pacuera 2014). Entretanto, a área degradada possui pequenos fragmentos florestais semidecíduas remanescente em seu entorno, que poderiam servir como área de empréstimo do solo (Figura 2).

No início do ano de 2018 foi iniciado o projeto entre a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), para dar início a uma nova tentativa para a recuperação desta área buscando a aceleração da sucessão ecológica, englobando vários métodos de restauração ecológica e estudos experimentais, como o presente estudo. As áreas florestais remanescentes no entorno da

área degradada foram utilizadas como doadoras de *topsoil* para transposição nas áreas degradadas, com o intuito de avaliar o seu efeito na recuperação dessas áreas.

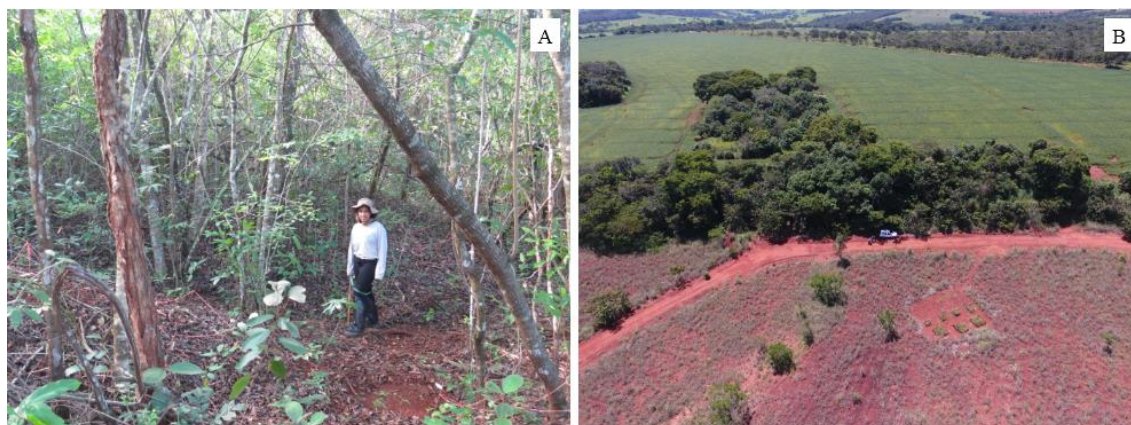


Figura 2: Fragmento (área de referência) onde ocorre o estudo no entorno da área degradada para construção da UHE- Emborcação. A: Interior do fragmento que é a área de referência. B: Fragmento em destaque no entorno da área degradada margeada por área de monocultura.

Desenho experimental

Para avaliar o efeito dos distúrbios provocados pela remoção de *topsoil*, a área estudada não degradada contendo fragmentos florestais foi subdividida em três blocos. Em cada bloco foram demarcadas 12 parcelas de 1x1 m e em cada parcela, foi retirada, com auxílio de implementos manuais, uma fina camada superficial do solo contendo serapilheira, com 10 cm de profundidade, para ser transferido para a área degradada. O tratamento controle foi demarcado igualmente em cada bloco 12 parcelas, sem remoção do *topsoil* (Figura 3). A demarcação das parcelas foram realizada com auxílio de vergalhões nos vértices e contornada com barbante (Figura 3). Assim sendo, o experimento constaram de 36 parcelas doadoras (onde foi retirado o *topsoil*) e 36 parcelas controle, sem interferência. As parcelas experimentais foram monitoradas bimensalmente por 13 meses consecutivos, avaliando-se a abundância e riqueza de regenerantes com mais de 2 pares de folhas definitivas.

O *topsoil* retirado nessas parcelas foi depositado em parcelas experimentais na área degradada por empréstimo de solo, foram utilizadas para testar o efeito da técnica de transposição de *topsoil* sobre a revegetação (primeiro capítulo desta dissertação), a fauna de solo (Parreira 2020), as condições nutricionais e físicas do solo (Souza 2020) e sobre o estabelecimento de regenerantes e germinação de sementes dispersas por aves e mamíferos (Nascimento 2020; Passos - em elaboração; Vidigal – em elaboração).

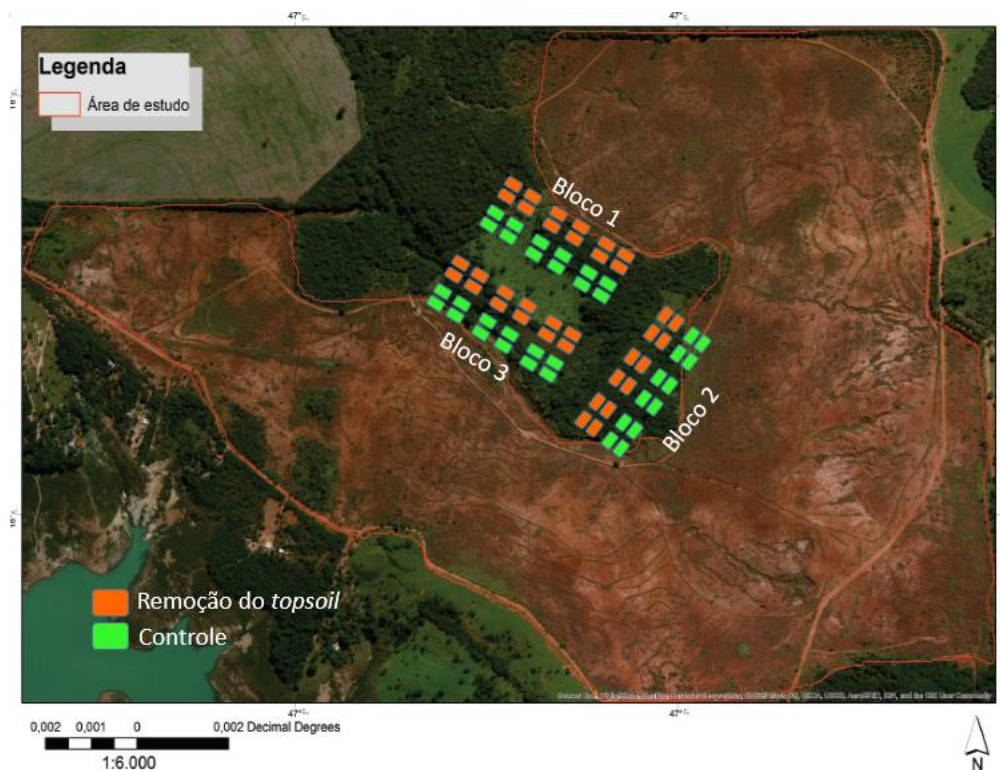


Figura 3: Área de estudo no entorno de uma área degradada para construção da UHE- Emborcação mostrando os 3 blocos instalados. Os destaques com cores diferentes indicam as parcelas dos dois tratamentos: em laranja onde houve remoção de *topsoil* e em verde o controle onde não houve intervenção.



Figura 4: Destaque das parcelas dos dois tratamentos. Em A: área onde houve remoção de 10 cm de *topsoil*. Em B: o tratamento controle sem nenhuma intervenção.

Para mensurar abundância e riqueza, foram contabilizados todos os indivíduos que se encontravam nas parcelas que apresentavam mais de um par de folhas definitivas. Todos os indivíduos foram contados, marcados, numerados, fotografados e, se possível, identificados. Os que não foram passíveis de identificação foram classificados em morfotipos. Anotações sobre as características de cada indivíduo

(morfológicas, presença de látex, odor, indumentos, coloração etc.) foram realizadas para auxiliar na identificação das espécies. Foram coletados indivíduos com órgãos reprodutivos próximos às parcelas, para auxiliar na identificação dos indivíduos das parcelas. Este procedimento foi realizado por comparação morfológica dos órgãos vegetativos, uma vez que a maior parte dos indivíduos regenerantes não atingiu a fase reprodutiva, dificultando a identificação. Indivíduos contendo partes reprodutivas foram coletados e herborizados de acordo com técnicas usuais de herborização e depositados no Herbário Prof. José Baldini da Universidade Federal de Ouro Preto. A identificação botânica foi realizada por bibliografia especializada, uso de chaves de identificação, pela utilização de banco de imagens de plântulas das espécies presentes nos fragmentos da matriz circundante, e consulta aos especialistas.

Para avaliar a biomassa (g) de serapilheira nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* no final do experimento, foram escolhidas aleatoriamente 3 parcelas de cada bloco. Em cada parcela a serapilheira depositada naturalmente no período de um ano foi retirada manualmente e acondicionada em saco de papel. Foi mensurado o peso úmido total utilizando balança. Posteriormente, 10 g da serapilheira úmida foram separadas e pesadas, posteriormente secas em estufa durante 72 horas e novamente pesada para obtenção do peso seco. Esse procedimento ocorreu em dezembro de 2019 após 1 ano do início do experimento.

Para avaliar as características edáficas, foram coletadas amostras compostas (aproximadamente 0,5kg; 0-20cm profundidade) de solo de acordo com os procedimentos descritos por Teixeira et al. 2017. As amostras de solo foram coletadas em março de 2019 e enviadas para procedimento das análises químicas de rotina (fertilidade), pH e teor de matéria orgânica no laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa. As coletas e análises de solo foram executadas pela equipe da profa. Mariângela G. P. Leite e Yuri A. F. de Souza que atenciosamente cederam parte dos dados para composição desta dissertação.

Análises de dados

Para verificar o efeito do distúrbio provocado pela remoção de *topsoil* sobre a riqueza e abundância de regenerantes foram construídos modelos lineares generalizados (GLM) em que a variável explicativa foi o tratamento e as variáveis respostas foram à

abundância e riqueza de espécies de regenerantes. Para avaliar se houve diferença na deposição de serapilheira entre os diferentes blocos dos fragmentos florestais estudados foi construído um GLM em que a variável explicativa foi os blocos e a variável resposta foi o peso seco(g) de serapilheira. Além disso, para avaliar a relação entre a quantidade de serapilheira depositada nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* e abundância e riqueza de indivíduos regenerantes foram construídos outros dois GLM' s em que a variável explicativa foi o peso seco (g) de serapilheira e as variáveis respostas foram abundância e riqueza de espécies de regenerantes. Todos os modelos foram construídos utilizando uma distribuição de erros adequada para cada variável resposta, de acordo com a crítica ao modelo Crawley (2007).

Para determinar se a composição florística é influenciada pela remoção do *topsoil* foi realizado um NMDS (Escalamento Multidimensional Não-Métrico) usando o índice de similaridade Bray-Curtis, segundo Hammer et al. (2001). Para testar as diferenças de composição florística indicadas pelo NMDS, foi realizada uma ANOVA de similaridade (ANOSIM) com 5% de significância (Clarke & Green 1988). No NMDS, as propriedades químicas micro ambientais do solo foram utilizadas como cofator e, para isso, foi realizada uma PCA (Análise de Componentes Principais) usando o índice de similaridade Bray-Curtis, segundo (Hammer et al. 2001). Após um prévio NMDS, as variáveis correlacionadas (pH, Mg²⁺, H+Al, SB, t, m, T, B, Mg N, Ca²⁺, Al³⁺, V, Cu e Zn) foram excluídas e as não correlacionadas (pH, P, K, MO, S, Mn e Fe) foram mantidas no segundo NMDS. As análises de composição (NMDS) foram realizadas no software PAST 3 (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS

Foi amostrado um total de 275 indivíduos em todas as parcelas experimentais, representando uma densidade de 3.82 indivíduos regenerantes/m² e perfazendo 78 espécies (Tabela 1). As parcelas onde houve remoção de *topsoil* apresentaram maior abundância (4.4 ±0.5; $p < 0.001$) de indivíduos regenerantes, em relação ao controle (Figura 5). Dentre os indivíduos, 53 deles foram de rebrota, sendo 45 do tratamento com remoção de *topsoil*, demonstrando que ao longo de um ano a rebrota foi aumentando gradativamente (Tabela 1).

A riqueza de espécies também foi maior nas parcelas com remoção de *topsoil* ($\square = 2.7 \pm 0.6$; $p < 0.001$) (Figura 5), sendo que do total de 78 espécies encontradas, 68%

foram nas parcelas onde houve a remoção do *topsoil* (Tabela 1). Dentre as 78 espécies, 13 foram taxonomicamente identificadas e 65 morfotipadas (Tabela 2). Destas apenas duas somam 35% da abundância nas parcelas, enquanto as espécies morfotipadas apareceram com menor abundância e frequência, ocorrendo uma ou duas vezes nas parcelas e normalmente não atingiram a fase reprodutiva. Esses indivíduos jovens apresentam dificuldade de identificação taxonômica e aparentam ser plântulas de espécies arbóreas, exceto *Gaya domingensis* Urb. que é um subarbusto que ocorreu em algumas clareiras.

Tabela 1: Abundância de indivíduos e riqueza de espécies de regenerantes nas áreas de fragmentos florestais nos tratamentos de remoção do *topsoil* e controle, e rebrota ao longo do tempo de um ano. (Rebrota 1: novembro 2018; rebrota 2: janeiro de 2019; rebrota 3: maio de 2019; rebrota t: Total de rebrotas com 1 ano de estudo).

Tratamento	Abundância	Riqueza	Rebrota1	Rebrota2	Rebrota3	Rebrota T
Remoção	163	53	10	33	39	45
Controle	112	36	5	5	8	8

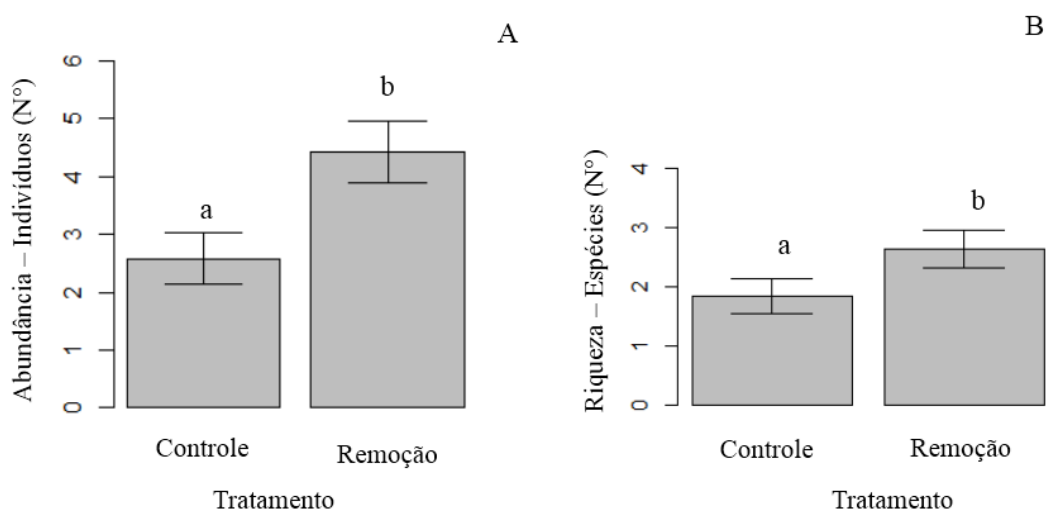


Figura 5: Médias e desvio padrão da abundância (A) e riqueza de espécies (B) de indivíduos regenerantes/m² nos tratamentos com remoção do *topsoil* e controle na área do fragmento estudado.

Tabela 2: Lista de espécies e respectivas famílias e abundância apresentada de regenerantes nas áreas de fragmentos florestais com os tratamentos remoção do *topsoil* e controle, perfazendo, (Foram identificadas 13 espécies identificadas e 64 morfotipos).

Família	Espécies	Abundância	
		Remoção	Controle

Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	1	0
Annonaceae	<i>Xylopi aromática</i> (Lam.) Mart	2	4
Asteraceae	<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	2	0
Bignoniaceae	Bignoniaceae – não identificada	1	0
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	2	1
Fabaceae	<i>Bauhinia</i> sp.	3	2
	<i>Mimosa</i> sp.	0	1
Malvaceae	<i>Gaya domingensis</i> Urb.	1	0
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl.	7	0
Rubiaceae	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltld.) K. Schum.	1	0
	Rubiaceae – não identificada	2	0
Sapindaceae	<i>Serjania marginata</i> Casar.	38	14
Styracaceae	<i>Styrax camporum</i> Pohl	35	9

Foi observada maior deposição serapilheira no bloco dois em comparação com os outros blocos que não variaram entre si. E a variação foi pequena entre os blocos ($\sigma = 5.2 \text{ (g)} \pm 0.2$; $p < 0.001$, Figura 6). A abundância de regenerantes foi menor nas parcelas com maior deposição de serapilheira ($p < 0.001$) (Figura 7A), ou seja, quanto mais serapilheira depositada, menor a abundância de regenerantes nas parcelas. No entanto, a deposição de serapilheira nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* não influenciou na riqueza ($p < 0.001$) (Figura 7B).

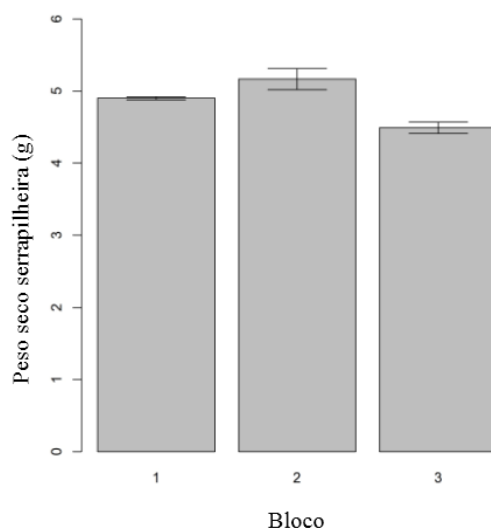


Figura 6: Médias e desvio padrão da quantidade (g) de serapilheira coletada dentro das parcelas doadoras de *topsoil* nos blocos nas áreas de fragmentos florestais.

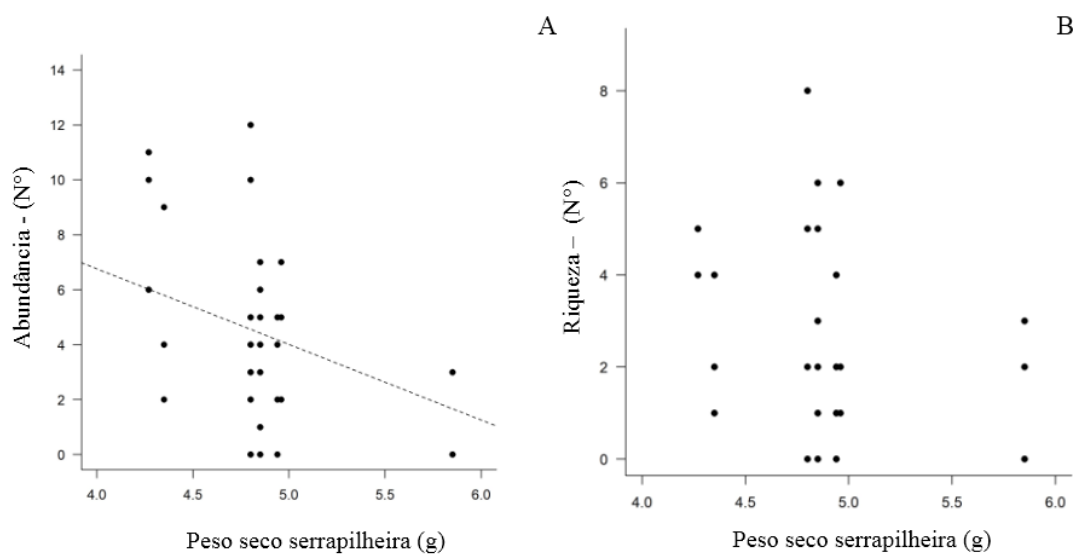


Figura 7: Abundância e Riqueza em função da quantidade de serrapilheira(g) depositada nas parcelas onde houve remoção de *topsoil* no fragmento Florestal estudado.

A composição florística nas parcelas dentro da área de referência estudada não varia fortemente entre os tratamentos ($p < 0.001$, Figura 8), ou seja, não há diferenças na composição de espécies entre parcelas onde houve remoção de *topsoil* e as parcelas controle, isso é um resultado bom mostrando que não teve impacto sobre a composição florística entre os tratamentos.

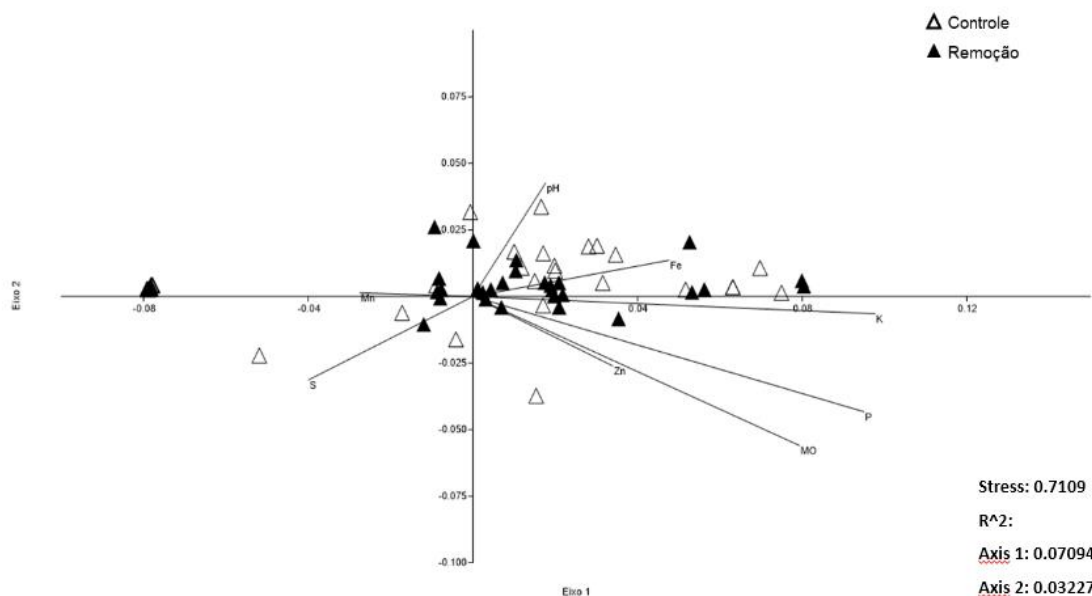


Figura 8: Análise da composição florística nas parcelas (símbolos) por tratamento amostrado na área de fragmentos florestais, Remoção do *topsoil* e o Controle.

DISCUSSÃO

O tratamento caracterizado pela retirada de uma fina camada de *topsoil* e serapilheira em diferentes pontos de uma área doadora mostrou ser promissora e não provoca impactos significativos ou diminuição da capacidade de resiliência no fragmento florestal estudado. Em um curto período após a remoção do *topsoil* e da serapilheira já é possível observar um resultado importante na regeneração natural, com o aumento da riqueza e abundância dos indivíduos regenerantes e não houve perda de espécies na comunidade, ou seja, a composição florística permaneceu igual. Houve deposição de serapilheira promovendo o recobrimento do solo por esses materiais nas parcelas depois de um ano, ainda que na presença de maior volume de serapilheira houve uma diminuição de regenerantes. Apesar da transposição de *topsoil* ser uma técnica promissora para a restauração ecológica em diversos ecossistemas e em diferentes tipos de áreas degradadas, o seu uso tem limitações como a baixa quantidade de *topsoil*.

Um dos grandes entraves ao uso da técnica de transposição do *topsoil* em restauração ambiental é exatamente a escassez desse recurso. Porém, ficou demonstrando aqui, na escala estudada, que a área de referência pode sofrer pequenos distúrbios e ser doadora de *topsoil* sem, contudo, comprometer sua funcionalidade ou interromper os processos sucessionais e ecossistêmicos. Em níveis intermediários de perturbação paisagens naturais conseguem manter sua resiliência e sua resistência, porém, os distúrbios ambientais severos e de longa duração em ecossistemas promovem a perda do valor de conservação (Arroyo-Rodriguez et al. 2020). Nesse sentido, evitar a simplificação dos habitats também pode determinar a redução de impactos em organismos associados aos ambientes, como as formigas, e a manutenção das interações que possibilitam entre outras funções a dispersão de sementes (Dolabela et al. 2020).

Com a remoção de serapilheira ocorreu uma modificação que favoreceu o desenvolvimento da vegetação. Ao mesmo tempo em que a serapilheira favorece a vegetação conservando a umidade e adicionando nutrientes uma vez que sua ciclagem promove mineralização (Jia et al. 2018), e também concentrações de nutrientes aumentam com o aumento da cobertura de serapilheira (Morsing et al. 2020), entre outros aspectos favoráveis, nossos resultados evidenciaram um padrão contrário. Foi

observado que quanto maior a deposição de serapilheira observada, menor a abundância de indivíduos regenerantes.

Em alguns ambientes os controles exercidos pela serapilheira sobre a dinâmica das comunidades vegetais podem ter magnitudes semelhantes ao da predação ou competição, independentemente dos efeitos resultantes da ciclagem de nutrientes (Rokich et al. 2001). A camada de serapilheira pode impedir o estabelecimento da vegetação e sua remoção pode aumentar em cerca de 60% cobertura de solo após dois anos (Morsing et al. 2020). Como também o sombreamento e a supressão física da serrapilheira (Poggio SL & Ghersa CM 2011). A estrutura da vegetação, a germinação, o estabelecimento e a biomassa abaixo do solo em muitos ecossistemas florestais naturais também são afetados pela acumulação de serapilheira (Xiong e Nilson 1999).

Além disso, o uso imediato do *topsoil* sem que haja armazenamento ou grande deslocamento do material é outra vantagem. Nesse estudo ele foi retirado, homogeneizado e utilizado imediatamente com grande sucesso na área degradada. Geralmente, o armazenamento de *topsoil* não é feito em condições adequadas ou por tempo demais o que promove a perda de sementes viáveis, principalmente as sementes grandes, quanto maior o tempo de armazenamento mais empobrecido fica o *topsoil* (Rivera et al. 2012; Moraes et al. 2017). O armazenamento do *topsoil* florestal *in situ* por 1 ou 3 anos demonstrou substancial declínio no recrutamento de mudas para 54% e 34%, respectivamente, e o recrutamento é afetado ainda pelas condições de pluviosidade (Rokich et al. 2001).

A regeneração natural por rebrota também foi importante para a recuperação desta área doadora. Ao longo de um ano após a retirada do *topsoil* e da serapilheira houve um importante número de indivíduos que regeneraram por rebrota, mesmo após a perturbação com a retirada do *topsoil*. Nas savanas brasileiras em restauração ocorre um elevado número de rebrotas de arbustos e árvores o que sugere que o banco de gemas de raízes é um componente importante da camada superficial do solo e há, inclusive, a recomendação da transposição de fragmentos de raiz juntamente com o *topsoil* para acelerar a restauração ambiental (Ferreira et al. 2015). Em outras situações de distúrbio como o fogo também existem evidências de que espécies de arbóreas de Cerrado apresentam a vantagem adaptativa de utilizar a capacidade rebrota para obter maior sucesso na regeneração natural (Simon et al. 2009).

Se por um lado a remoção ativa da camada de serapilheira em pequenas parcelas parece ter o potencial de acelerar o recrutamento de plântulas, por outro resta ainda investigar os efeitos da retirada da camada de *topsoil* sobre parâmetros físicos, químicos e biológicos das áreas doadoras, pois não se sabe ao certo o quanto disso pode ser perdido. Em ambientes naturais prístinos a movimentação de consideráveis volumes de solo, a própria pedogênese e estoques de C podem ser fortemente mediadas por agentes biológicos em processos resumidamente chamados de bioturbação (Wilkinson et al. 2009). Em geral, a micro e meso-fauna de solo (formigas, térmitas, minhocas, etc) são responsáveis por movimentar volumes de solo na escala de milímetros e decímetros de espessura, mas conjuntamente o volume pode exceder taxas de 100 t/ha/ano em ambientes tropicais (Rodrigues et al. 2019). Vertebrados podem também movimentar consideráveis volumes de solo (10-20 t/ha/ano). As atividades de escavação de tatus, por exemplo, são atualmente reconhecidas como agentes de promoção da ciclagem de nutrientes e a regeneração de florestas (Rodrigues et al. 2019).

A restauração ambiental utilizando pequenos volumes de *topsoil* e serapilheira retirados de uma área referência para a deposição em uma área degradada é muito promissora, pois foi possível promover o restabelecimento da vegetação e das funções ecossistêmicas do ambiente degradado sem, contudo, prejudicar o fragmento florestal ou perder espécies de plantas. Desta forma é possível preservar ou aumentar a riqueza e densidade de plantas em áreas doadoras de *topsoil* preservando sua resiliência (Pilon et al 2018). Um dos principais objetivos da restauração ambiental é a promoção da estabilização e cobertura do solo pelas plantas e esse requisito foi obtido tanto na área doadora, quanto na área receptora. Incrementar a cobertura de vegetação está diretamente correlacionado à agregação de valor de uma paisagem e ao incremento da biodiversidade vegetal e animal e de microrganismos, bem como de suas interações (Arroyo-Rodriguez et al. 2020).

CONCLUSÃO

Esse estudo conseguiu demonstrar que as retiradas de pequenas parcelas de *topsoil* e serapilheira provocados por pequenos distúrbios não impactou significativamente as comunidades vegetais nas áreas estudadas, também constatou um aumento de rebrota natural nas áreas colaborando para a recuperação deste distúrbio superficial no solo. A composição florística também permaneceu similar nos dois

tratamentos, enfatizando que o distúrbio não colaborou com a alteração das comunidades estudadas, já abundância foi afetada pelo acúmulo de serapilheira, demonstrando uma menor abundância em relação à serapilheira, pois ela impediu o crescimento vegetal.

REFERÊNCIAS

- Arroyo-Rodríguez V, Fahrig L, Tabarelli M, Watling JI, Tischendorf L, Benchimol M, Cazetta E, Faria D, Leal IR, Melo FPL, Morante-Filho JC, Santos BA, Arasa-Gisbert R, Arce-Peña N, Cervantes-López MJ, Cudney-Valenzuela S, Galán-Acedo C, San-José M, Vieira ICG, Slik JF, Nowakowski AJ, Tschamntke T (2020) Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, 23: 1404-1420p.
- Bahram M, Hildebrand F, Forslund SK, Anderson JL, Soudzilovskaia NA, Bodegom PM, Bengtsson-Palme J, Anslan S, Pedro Coelho L, Harend H, Huerta-Cepas J, Medema MH, Maltz MR, Mundra S, Olsson PA, Pent M, Pölme S, Sunagawa S, Ryberg M, Tedersoo L, Bork P (2018) Structure and function of the global *topsoil* microbiome. *Nature*, 560:233–237p.
- Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF (2018) Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution.
- Bulot A, Provost E, Dutoit T (2014) A comparison of different soil transfer strategies for restoring a Mediterranean steppe after a pipeline leak (La Crau plain, South-Eastern France). *Ecological Engineering*, 71: 690–702p.
- Clarke KR, Green RH (1988) Statistical design and analysis for a biological effects study. *Marine Ecology Progress Series*, 46: 213-226p.
- Crausbay S, Martin P (2016) Natural disturbance, vegetation patterns and ecological dynamics in tropical montane forests. *Journal of Tropical Ecology*, 32(5): 384-403p.
- Crawley LMJ (2007) *The R. Stat papers* 50, 455-446p. <https://doi.org/10.1007/s00362-008-0118-3>.
- Dolabela BM, Antonini Y, Pinto VD, Onésimo C, Brito MF, Costa FV (2020) The importance of Forest simplification and litter disturbance in Defining the Assembly of Ground- Foraging ants, *Neotrop Entomol* , 49(6):832-839p.

- Eichberg C, Storm C, Stroh M, Schwabe A (2010) Is the combination of *topsoil* replacement and inoculation with plant material an effective tool for the restoration of threatened sandy grassland? *Applied Vegetation Science*, 13: 425–438p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 353p.
- Fagundes R, Lange D, Anjos DV, Lima FP, Nahas L, Corro EJ, Silva PBG, Del-Claro K, Ribeiro SP, Dáttilo W (2018) Limited effects of fire disturbances on the species diversity and structure of ant-plant interaction networks in Brazilian Cerrado. *Acta Oecologica* 93:65–73p.
- Farrell HL, Léger A, Breed MF, Gornish ES (2020) Restoration, soil organisms, and soil processes: emerging approaches. *Restoration Ecology*, 28:307-310p.
- Ferreira MC, Walter BMT, Vieira DLM (2015) *Topsoil* translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology* 23:723-728p.
- Figueiredo MA, Diniz AP, Abreu AT, Messias MCTB, Kozovits AR (2018) Growing *Periandra mediterranea* on post-mining substrate: native Fabaceae with potential for revegetation of degraded rupestrian grasslands in Brazil *Acta Botanica Brasilica* - 32(2): 232-239p.
- Figueiredo Y (2020) Recuperação de Áreas Degradadas no Entorno da UHEEmborcação: Técnicas Tradicionais versus Restauração Ecológica. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Figueira JEC, Ribeiro KT, Ribeiro MC, Jacobi CM, França H, Neves ACO, Conceição AA, Mourão FA, Souza JM, Miranda CAK (2016) Fire in Rupestrian Grasslands: Plant Response and Management. *In*: Fernandes GW (ed) *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. Springer International Publishing, Switzerland, 415-448p.
- Geissen V, Wang S, Oostindie K, Huerta E, Zwart KB, Smit A, Ritsema CJ, Moore D (2013) Effects of *topsoil* removal as a nature management technique on soil functions. *Catena* 101, 50-55p. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.002>.

- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em 30 Maio 2020.
- Loydi A R, Eckstein LR, Otte A, Donath TW (2013) Effects of litter on seedling establishment in natural and semi-natural grasslands: a meta-analysis. *J Ecol* 101:454–464p.
- Jia C, Huang Z, Miao HT, Lu R, Li J, Liu Y, Shen W, He H, Wu GL (2018) Litter crusts promote herb species formation by improving surface microhabitats in a desert ecosystem. *Catena* 171, 245–250p.
- Macedo MO, Resende AS, Garcia PC, Boddey RM, Jantalia CP, Urquiaga S, Campello EFC, Franco AA (2008) Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* 255, 1516–1524p.
- Machado NAM, Leite MGP, Figueiredo MA, Kozovits AR (2013) Growing *Eremanthus erythropappus* in crushed laterite: A promising alternative to *topsoil* for bauxite-mine revegetation. *Journal of Environmental Management* 129:149-156p.
- Markl JS, Schleuning M, Forget PM, Jordano P, Lambert JE, Traveset, Wright ASJ, Böhning-Gaese K (2012) Meta-analysis of the effects of human disturbance on seed dispersal by animals. *Conservation Biology*, 26, 1072–1081p.
- Mastella A, Dal F, Ivasko-Júnior S, Tres A, Tetto AF, Wendling WT, Soares RV (2019) Classificação do estado de Goiás e do Distrito Federal segundo o sistema de zonas de vida de holdridge. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(02): 443-456p.
- Moraes RP, Carvalho WAC, Pereira JAA, Nascimento GO, Barros DA (2017) Effect of *topsoil* stockpiling on the viability of seed bank in field Phytophysiologicals campos de altitude. *Cerne* 23 (3): 339 – 347p.
- Morsing J, Kepfer-Rojasa S, Baastrup-Spohrb L, Rodríguez AL, Raulund-Rasmussen K (2020) Litter legacy after spruce plantation removal hampers initial vegetation establishment. *Basic and Applied Ecology* 42, 4–14p.

- Onésimo CMG, Dias DD, Beirão MV, Kozovits AR, Messias MCTB (2020) Ecological succession in áreas degraded by Bauxite mining indicates successful use of *topsoil*. *Restoration ecology*.
- Pacuera UHE (2014) Ingá Engenharia e Consultoria Ltda & CEMIG. Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (Pacuera) da UHE-Emborcação.
- Pilon NAL, Buisson E, Durigan G (2018) Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by *topsoil* and hay transfer, *Restoration Ecology*, 26(1): 73–81p.
- Poggio SL & Ghersa CM (2011). Species richness and evenness as a function of biomass in arable plant communities. *Weed Research*, 51(3): 241–249p.
- Ribeiro RA, Giannini TC, Gastauer M, Awade M, Siqueira JO (2018) *Topsoil* application during the rehabilitation of a manganese tailing dam increases plant taxonomic, phylogenetic and functional diversity. *Journal of Environmental Management* 227, 386–394p.
- Rivera D, Jáuregui BM, Peco B (2012) The fate of herbaceous seeds during *topsoil* stockpiling: Restoration potential of seed banks. *Ecological Engineering* 44, 94–101p.
- Rocha FCG, Oliveira FS, Leite MGP, Dias DD, Messias MCTB, Kozovits AR (2020) Chemical and microstructural behaviour of ferruginous rocky outcrops *topsoils* applied to degraded mining areas. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*.
- Rodrigues TF, Mantellatto AMB, Superina M, Chiarello AG (2019) Ecosystem services provided by armadillos. *Biological Reviews*, 95: 1-21p.
- Rokich DP, Dixon KW, Sivasithamparam K, Meney KA (2001) *Topsoil* handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology*, 8(2):196–208p.
- Simon MF, Grether R, Queiroz LP, Skema C, Pennington RT, Hughes CE (2009) Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 20359-20364p.
- Sprugel DG (1991) Disturbance, equilibrium, and environmental variability: What is Natural' vegetation in a changing environment? *Biological Conservation*, 58 (1):1-18p.

- Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG (2017) Manual de métodos de análise do solo. 3. ed. Brasília: Embrapa, 573 p.
- Xiong S, Nilsson C (1999) The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology*, 87(6): 984-994p.
- White PS (1979) Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The Botanical Review* 45, 229–299p.
- Wilkinson MT, Richards PJ, Humphreys GS (2009) Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. *Earth-Science Reviews* 97, 257–272p.
- Wortley L, Hero JM, & Howes M (2013) Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology*, 21(5), 537–543p.