



BRUNO ROCHA CARDOSO

**APLICAÇÃO DE *TOPSOIL* EM DEPÓSITOS DE ESTÉRIL EM
MINA DE FOSFATO**

**LAVRAS - MG
2020**

BRUNO ROCHA CARDOSO

APLICAÇÃO DE *TOPSOIL* EM DEPÓSITOS DE ESTÉRIL EM MINA DE FOSFATO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Restauração e Conservação de Ecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Profª. Dra. Soraya Alvarenga Botelho

Orientadora

**LAVRAS - MG
2020**

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

Cardoso, Bruno Rocha.

Recuperação de depósitos de estéril em mina de fosfato com
aplicação de *Topsoil* / Bruno Rocha Cardoso. - 2020.

64 p. : il.

Orientadora: Soraya Alvarenga Botelho.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Mineração. 2. Áreas degradadas. 3. Taludes. I. Botelho,
Soraya Alvarenga. II. Título.

BRUNO ROCHA CARDOSO

APLICAÇÃO DE *TOPSOIL* EM DEPÓSITOS DE ESTÉRIL EM MINA DE FOSFATO

APPLICATION OF *TOPSOIL* IN STERILE DEPOSITS IN A PHOSPHATE MINE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Restauração e Conservação de Ecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de Julho de 2020.

Profa. Dra. Rosângela Alves Tristão Borém UFLA

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo UFLA

Dra. Fernanda de Carvalho UFLA

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

**LAVRAS - MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Fora um sonho me tornar Mestre, na área em que atuo e, hoje, esse sonho se torna realidade. Chegar a esse momento, só reforça a minha convicção de que o que realmente importa é o caminho e não a chegada. Saber saborear os desafios e prazeres do percurso... este é o segredo.

Durante o caminho, tive a companhia de muitas pessoas que me fizeram chegar até aqui. Agradeço muito:

Meus pais, por acreditarem em mim e me proporcionarem o prazer de jantares deliciosos e carinhos energizantes, durante minhas estadas em Lavras;

À minha esposa Fran que conhece bem minhas fraquezas e, apesar disso, mantém-se ao meu lado;

À Mosaic Fertilizantes, em nome da Gerente de EHS e minha amiga Gisele Lúcio, por possibilitar e incentivar minha realização deste mestrado;

Aos profissionais e colegas de trabalho que foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus colegas do mestrado, pessoal “*good vibes*” que fizeram com que os períodos em Lavras fossem muito mais alegres e ricos de conhecimento;

À minha orientadora e Professora Soraya Botelho, pela humildade no compartilhamento do saber e por todo o apoio, durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais da UFLA em nome de todos os Professores que compartilharam seu conhecimento com tanto profissionalismo.

A Deus que sempre está comigo nos meus caminhos...

RESUMO

A recuperação dos depósitos de estéril que são gerados, durante as atividades de mineração é uma atividade recomendada para contribuir com a estabilização das condições geotécnicas dessas estruturas e para evitar impactos ao meio ambiente, como o carreamento de sólidos finos aos córregos, no entorno do empreendimento e emissão de material particulado para a atmosfera. Algumas práticas comuns para a recuperação dessas estruturas são as técnicas de hidrossemeadura, plantio direto e aplicação de *topsoil* nos taludes dos depósitos. Sendo o *topsoil* um material orgânico, rico em sementes e que é comumente gerado no avanço de lavra em áreas com vegetação nativa, o seu aproveitamento para a recuperação de áreas impactadas pela mineração tem representado um bom custo benefício. A Mosaic Fertilizantes da unidade de Catalão-GO tem aplicado essa técnica com sucesso, durante anos, o que inspirou o presente trabalho. O objetivo foi avaliar a eficiência do método de transposição de *topsoil* em uma cronossequência de 15, 10, 5 e 1 ano da aplicação do material. Para se determinar a eficiência da aplicação foram delimitados 4 quadrantes de 300 m² e identificados, caracterizados e qualificados todos os exemplares da flora presentes nessas áreas. As espécies amostradas e observadas foram classificadas de acordo com a origem (nativa ou exótica) e com a forma de vida (erva/liana, arbusto/subarbusto e árvore). Como o esforço amostral foi o mesmo nos quatro quadrantes, a riqueza foi considerada como o número de espécies amostrados em cada transecto (sem rarefação). Os resultados indicaram aumento, ao longo do tempo, da riqueza, da cobertura e altura da vegetação em áreas de diferentes idades de transposição de *topsoil*, assim como foi observado por Rodrigues et al. (2004). No entanto, chamou a atenção a frequência de famílias botânicas como a Fabaceae e Poaceae, e as espécies mais dominantes em todas as parcelas foram *Cenchrus purpureus*, seguido por *Urochloa decumbens* (ambas as espécies herbáceas exóticas, cultivares agrícolas), *Piper arboreum* e *Mucuna pruriens* (ambos os arbustos nativos), sugerindo a persistência de espécies de gramíneas exóticas ao longo do tempo. O estudo também indicou que a origem do *topsoil* foi, predominantemente, de áreas de pastagens e que há possibilidade de as áreas avaliadas estarem recebendo diásporos de uma vegetação nativa remanescente, próxima ao local onde houve a transposição. Por fim, o estudo demonstrou que o uso do *topsoil*, como método de recuperação de taludes de depósito de estéril, foi eficiente para a manutenção das suas características geotécnicas, para a redução da emissão de particulado e também para o restabelecimento das funções ecológicas, principalmente em regiões onde há fragmentos florestais que contribuem com a dispersão de propágulos.

Palavras-chave: Mineração. Áreas degradadas. Taludes. Inventário.

ABSTRACT

The recovery of the waste deposits generated during mining activities is recommended to help stabilize the geotechnical conditions of these structures and avoid environmental impacts, such as the transport of fine solids to streams and emission of particulate matter into the atmosphere. Some recovery practices common to these structures are hydroseeding, no-till, and topsoil application on the slopes of the deposits. Since topsoil is an organic material, rich in seeds and commonly generated in mining where there is native vegetation, its use for recovering areas impacted by mining has represented a good cost-benefit. Mosaic Fertilizantes of the Catalão-GO unit has successfully applied this technique for years and has inspired this paper. The objective was to evaluate the efficiency of topsoil transposition in a chronosequence of 15, 10, 5, and 1 year from the application. To determine the efficiency of the application, four quadrants of 300 m² were outlined, identifying, characterizing, and qualifying all specimens of flora present in these areas. The species sampled and observed were classified according to their origin (native or exotic) and form of life (grass/liana, shrub/sub-shrub, and tree). The number of species sampled in each transect (without rarefaction) represented the richness since the sampling effort was the same in all four quadrants. The results indicated an increase in richness and plant cover and height in areas of different ages of topsoil transposition, over time, as was observed by Rodrigues *et al.* (2004). However, the frequency of botanical families such as Fabaceae and Poaceae drew attention, and the most dominant species in all plots were *Cenchrus purpureus*, followed by *Urochloa decumbens* (both agricultural cultivars of exotic herbaceous species), *Piper arboretum*, and *Mucuna pruriens* (both native shrubs), suggesting the persistence of exotic grass species. The study also indicated that the origin of the topsoil was predominantly from pasture areas and that there is a possibility that the evaluated areas are receiving diaspores from the remaining native vegetation, close to where the transposition took place. Finally, the study showed that the use of topsoil to recover slopes from the waste dump was efficient for maintaining its geotechnical characteristics, reducing particulate emissions, and restoring ecological functions, especially in regions where forest fragments contribute to the spread of propagules.

Keywords: Mining. Degraded areas. Slopes. Inventory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto aérea do Complexo Minerquímico de Catalão.	24
Figura 2 - Foto aérea do Depósito de Estéril e os remanescentes florestais próximos.	25
Figura 3 - Fases da implantação da metodologia de aplicação de <i>topsoil</i>	26
Figura 4 - Foto aérea da mina (ao fundo) e a área de avanço futuro da cava (predominantemente pastagens).	27
Figura 5 - Foto aérea do depósito de estéril e as dimensões de seus taludes.	28
Figura 6 - Foto aérea do depósito de estéril e a cronosequência de aplicação de <i>topsoil</i>	29
Figura 7 - Esquema representativo da amostragem de cobertura do solo pelo método de interceptação de pontos em classes de altura.	30
Figura 8 - Riqueza variando de áreas onde o <i>topsoil</i> foi recentemente até áreas com 15 anos de solo transposto, em talude de pilha de estéril em área minerada para extração de fosfato.	35
Figura 9 - a) Cobertura da vegetação e b) Altura da vegetação variando de áreas onde o <i>topsoil</i> foi recentemente até áreas com 15 anos de solo transposto, em talude de pilha de estéril em área minerada para extração de fosfato.	35
Figura 10 - Parcela de cada período avaliado.	36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Lista de espécies amostradas em todas as parcelas (total de 240 pontos), com a família e nome científico de cada espécie (exceto *Diplusodon* sp.), o nome popular, a origem onde consideramos espécies exóticas como naturalizadas (cf. Flora do Brasil 2020) e os tipos de forma de vida. A parcela mostra a posição na cronosequência (1, 5, 10 e 15 anos) em que a espécie foi amostrada ou observada.....33
- Tabela 2 - Cobertura do solo nos 240 pontos distribuídos entre os quatro transectos em cada um dos quadrantes (de 1, 5, 10 e 15 anos).34
- Tabela 3 - Fitossociologia dos indivíduos arbóreos amostrados na parcela de 15 anos com família, espécies, altura em metros, diâmetro em cm, onde D.E = densidade específica da madeira (g/cm^3) e AGB = biomassa acima do solo (Mg/ha).34

SUMÁRIO

1	INDRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	Mineração e seus impactos associados	13
3.2	Degradação ambiental	14
3.3	Recuperação ambiental	15
3.4	Práticas conservacionistas	19
3.5	Métodos alternativos de revegetação - Transposição de <i>topsoil</i>	20
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	Área de estudo	24
4.2	Elaboração de um Manual Técnico Simplificado para uso de <i>topsoil</i>	25
4.3	Avaliação do uso do <i>topsoil</i> na recuperação de taludes de estéril.....	27
4.3.1	Metodologia de aplicação do <i>topsoil</i>	27
4.3.2	Coleta e preparação dos dados	28
4.3.3	Análises estatísticas	30
5	RESULTADOS.....	32
6	DISCUSSÃO.....	37
7	CONCLUSÃO	39
8	RECOMENDAÇÕES	40
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE A- MANUAL TÉCNICO SIMPLIFICADO	47

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, observado nos últimos anos, veio acompanhado de uma demanda cada vez maior por alimentos. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas - ANDA (2014), a indústria de fertilizantes tem um papel fundamental, pois é responsável pelo fornecimento dos nutrientes básicos para a formação dos fertilizantes que, quando misturados em quantidades tais que atendam às necessidades do solo, garantem uma maior produtividade da terra e crescimento de plantas com melhor qualidade.

Os nutrientes básicos para a formação dos fertilizantes são: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), sendo a forma de obter dois deles (Fósforo e Potássio) é por meio da mineração. O Brasil é um país reconhecidamente mineiro, se destacando, principalmente, na produção do minério de ferro (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM, 2015). Com o desenvolvimento econômico resultante das atividades da mineração há também que se reconhecer os impactos ambientais gerados, provenientes dessa exploração, principalmente a degradação das áreas de cava, barragens e pilhas de estéril e rejeitos (PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004).

A mineração possui o desafio de recuperar de forma satisfatória as áreas, morfologicamente alteradas. A legislação ambiental vem aumentando as exigências quanto à obrigatoriedade de se reabilitar as áreas impactadas, com destaque para, em particular, o Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, alterada pela Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012) e normas sobre o descomissionamento de empreendimentos minerários (BRASIL, 1989, 2012).

A recuperação dos depósitos de estéril, material que é gerado durante as atividades de mineração, é uma atividade recomendada para contribuir com a estabilização das condições geotécnicas dessas estruturas, e para evitar impactos ao meio ambiente, como a liberação de sólidos finos em rios e córregos das áreas no entorno do empreendimento (FENGLER *et al.*, 2017; FERREIRA, 2015; FERREIRA; WALTER; VIEIRA, 2007). Uma forma de diminuir ou impedir a erosão nos taludes e, conseqüentemente, garantir a estabilidade dessas estruturas, é viabilizar uma cobertura vegetal mínima, porque a vegetação reduz a erosão por interceptar a água das chuvas (ANDRÉS; JORBA, 2000; ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005), diminuindo o escoamento superficial (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005), e por estabilizar o solo, por meio da densa rede de raízes formada no solo subsuperficial (ANDRÉS; JORBA, 2000).

Uma técnica, comumente utilizada pela mineração, para a realização desse tipo de recuperação é a aplicação quase que imediata do horizonte A do solo, também denominado de *topsoil*, que é o material resultante do decapeamento das camadas e/ou horizontes superficiais do solo, caracterizados pelo alto teor de matéria orgânica, predominantemente de origem vegetal e elevada atividade microbiológica, além da presença de sementes e outros propágulos viáveis de plantas (BAHRAM, 2018).

Ambientalmente, o uso de *topsoil* tende a ser uma boa oportunidade para a recuperação de áreas alteradas pela mineração, haja vista a necessidade de dar um uso nobre ao material resultante dos avanços de lavra e, ao mesmo tempo, promover a revegetação de depósitos de estéril (TACEY; GLOSSOP, 1980).

Por possuir diversas variáveis, como a vegetação original do local de origem do material, o tipo de minério lavrado e, conseqüentemente, a característica do estéril gerado, condições climáticas da região, métodos de aplicação, dentro outros, tudo isso interfere na sua eficácia para a recuperação de áreas degradadas (TACEY; GLOSSOP, 1980).

2 OBJETIVO

Objetivou-se, neste trabalho, analisar a eficácia do método de aplicação de *topsoil* em taludes de depósitos de estéril da mineração para a cobertura do solo e riqueza de espécies desenvolvidas, conseqüentemente a redução de erosões.

2.1 Objetivos específicos

De forma mais detalhada este estudo buscou:

- a) Detalhar o método de aplicação do *topsoil* em forma de Manual Técnico Prático simplificado;
- b) Avaliar a eficácia da aplicação de *topsoil*, considerando:
 - Cobertura do solo;
 - Identificação das espécies com determinação de Família, Nome Científico e Nome Popular (quando possível);
 - Determinação da origem das espécies (nativa ou exótica);
 - Determinação da forma de vida (erva, liana, subarbusto, arbusto e árvore);

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mineração e seus impactos associados

A atividade de mineração promove o deslocamento de grande volume de solo, formando áreas de corte e aterro, denominadas áreas de disposição de estéril. Esse deslocamento do solo causa grandes impactos como erosão, alteração da estrutura da vegetação, introdução de espécies exóticas, fragmentação de habitats e diminuição da qualidade ecológica e estética da região (PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004).

Considerando a magnitude dos impactos gerados pela mineração, ou por outras atividades econômicas igualmente impactantes, é que tomadores de decisão, pesquisadores e gestores têm pensado formas de mitigação desses impactos ou redução de danos nos ecossistemas. Nesse sentido, a recuperação de áreas degradadas no Brasil, que teve início, na década de 1980, tem como propósito recuperar algumas funções do ecossistema, como o funcionamento dos recursos hídricos e do solo (KAGEYAMA; CASTRO, 1989).

Mais recentemente, tem-se direcionado esforços em busca de técnicas de restauração ecológica que sejam eficientes na recuperação de uma gama maior de funções do ecossistema e que demandem menor custo de implantação e de manutenção da área, e que considerem processos ecológicos, tendo em vista os conceitos de sucessão e ecologia de comunidades, como bases da ecologia da restauração (YOUNG, 2000). Logo, a adoção de técnicas de restauração em áreas de disposição de estéril em mineradoras brasileiras, para fins experimentais ou de recuperação da área degradada, é uma realidade e tem apresentado resultados importantes para recuperação e restauração ecológica (FENGLER *et al.*, 2017; FERREIRA, 2015; FERREIRA; WALTER; VIEIRA, 2015; JAKOVAC, 2007).

As áreas de disposição de estéril são construídas com uma topografia de morro e, para garantir a estabilidade dos solos, são formados terraços, intercalados em patamares e taludes, que são as faces inclinadas dessas estruturas. Quando expostas a ações de chuvas e ventos, esses taludes apresentam altas taxas de erosão que resultam em grande perda de solo (PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004) e podem gerar a desestabilização dessas estruturas.

Uma forma de diminuir ou impedir a erosão nos taludes e, conseqüentemente, garantindo a estabilidade dessas estruturas, é viabilizar uma cobertura vegetal mínima, porque a vegetação reduz a erosão por interceptar a água das chuvas (ANDRÉS; JORBA, 2000; ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005), diminuindo o escoamento superficial (ARAÚJO;

ALMEIDA; GUERRA, 2005), e por estabilizar o solo, através da densa rede de raízes formada no solo subsuperficial (ANDRÉS; JORBA, 2000). Apesar das espécies de gramíneas, comumente utilizadas, serem pouco exigentes nutricionalmente, são sensíveis ao déficit hídrico e durante períodos de seca podem deixar o talude desprotegido (ANDRÉS; JORBA, 2000; BOCHET; GARCÍA-FAYOS, 2004).

Nesse sentido, a adoção de técnicas de restauração ecológica que promovam a formação de uma comunidade vegetal, estruturalmente mais complexa, pode ser mais eficiente para garantir a cobertura, estabilização ou, até mesmo, a recuperação de funções ecossistêmicas, que sustentem um mínimo de diversidade e que permita a regeneração de espécies autóctones (PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004; ROKICH *et al.*, 2000).

3.2 Degradação ambiental

O conceito de degradação tem sido associado, na maioria das vezes, aos efeitos ou repercussões ambientais consideradas adversas ou negativas, decorrentes quase que exclusivamente de atividades ou intervenções humanas, onde raramente o termo é empregado para os efeitos ocasionados por fenômenos ou processos naturais (GHAZOUL *et al.*, 2015).

Isso decorre, porque, quase sempre, distúrbios provocados por atividades humanas têm maior frequência, intensidade, extensão e duração em relação aos naturais. Mas, eventualmente, os distúrbios naturais podem atingir grandes escalas e/ou intensidades, provocando alterações relevantes nos ecossistemas naturais, inclusive, atingindo de maneira dramática, os sistemas engendrados ou criados pelos seres humanos como, por exemplo, as erupções vulcânicas (DIAMOND, 2007).

Entretanto, não é preciso entrar no mérito da discussão sobre conceitos ou definições que não tenham sentido prático, já que, efetivamente, isso não impede que se possa agir, no sentido de ‘recuperar’ áreas com o *status* de degradadas, mesmo que surgidas naturalmente (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA (WILLIANS; BUGIN; REIS, 1990, p. 13) define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico for alterado”.

Os autores ampliam o conceito para degradação ambiental, a qual é ensejada quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o

desenvolvimento socioeconômico, sugerindo que a perda de adaptação está relacionada diretamente aos atributos da qualidade do solo. Desse modo, a degradação do solo leva ou conduz a uma degradação ambiental. Com essa mesma percepção, Sánchez (1992) enfatiza ainda a degradação do solo como resultado de processos que causam a perda da produtividade ou o declínio da qualidade ambiental.

Áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos, por instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade reduzida (PARROTA, 1992).

Algumas definições mais abrangentes consideram ecossistema degradado como aquele que, após distúrbios, teve eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos, tais como: banco de sementes, banco de plântulas, chuva de sementes e rebrota de cepas e raízes. Tal ecossistema apresenta reduzida ou nenhuma resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior, ou pelo menos algo próximo daquele estado, pode não ocorrer ou ser extremamente lento. Já o ecossistema perturbado é aquele que sofreu distúrbios, mas manteve meios de regeneração bióticos. Nessa última situação a ação humana não é obrigatória, mas auxilia na sua recuperação, pois o ecossistema pode se encarregar da tarefa. Ao contrário, nos degradados, a ação antrópica para a recuperação é necessária, pois eles não dispõem mais daqueles eficientes mecanismos de regeneração (CARPANEZZI, 1990).

No processo de degradação ambiental, além dos impactos negativos ou danos à biota, muitas vezes irreparáveis, um dos componentes dos ecossistemas terrestres que, com frequência, tem sua qualidade fortemente alterada é o solo, o qual merece especial atenção, uma vez que este oferece suporte ao funcionamento pleno e integral do sistema como um todo (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

3.3 Recuperação ambiental

Primeiramente, deve-se advertir que há muita controvérsia, tanto científica quanto jurídica, no que diz respeito aos conceitos comumente empregados na recuperação de áreas degradadas (RAD), principalmente em relação aos termos restauração, recuperação e reabilitação (BRASIL, 2000; MARTINS, 2009).

Dada a existência de diferentes objetivos em levar uma área de um estado degradado para um não degradado, torna-se necessário definir claramente alguns conceitos fundamentais. Dessa forma, com o intuito de padronizar as terminologias e os conceitos associados às ações de recuperação ambiental, adota-se como referencial conceitual os “Princípios da Sociedade Internacional de Restauração Ecológica” (SOCIEDADE

INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA - SER, 2016), complementando-os com as definições de Martins (2009) e Willians, Bugin e Reis (1990) para recuperação e reabilitação.

O primeiro conceito a ser tratado é o de resistência, que corresponde à capacidade de um ecossistema em manter seus atributos estruturais e funcionais em face de situações de estresse e distúrbio. A resiliência é a capacidade de recuperação desses atributos, após a ocorrência de estresse ou distúrbio. Distúrbio é sinônimo de perturbação, e diz respeito a um impacto mais severo ou agudo que um evento normal de estresse, o qual implica em uma alteração mais branda e direcionada apenas à biota. Por seu turno, a estabilidade é a capacidade de um ecossistema manter uma determinada trajetória apesar do estresse; denotando equilíbrio dinâmico e não estático. Em grande parte, a estabilidade é alcançada graças à capacidade de resistência e resiliência do ecossistema (SER, 2016).

A integridade de um ecossistema (ou integridade ecológica) é o estado ou a condição que expressa sua estrutura e funções características, atribuindo-lhe plenas condições de funcionamento. O comprometimento à integridade de um ecossistema ocorre quando um ou mais distúrbios alteram seu funcionamento e sua trajetória evolutiva, podendo ou não levá-lo à degradação, a qual é definida como a situação em que a resiliência é reduzida, drasticamente, pelo comprometimento do suporte físico do ecossistema (p.ex. o solo). Portanto, a capacidade de autorrecuperação de um ecossistema depende do grau em que sua resiliência foi reduzida (YOUNG, 2000).

Embora, a rigor, a resiliência nunca seja completamente perdida, para efeitos práticos considera-se como degradado o ecossistema que tenha perdido sua resiliência. Nesse sentido, a degradação ocorre quando há sério comprometimento à estrutura e diversidade biológica do solo, alteração na qualidade e regime de vazão do sistema hídrico e/ou quando toda a vegetação foi suprimida. Por ter perdido sua resiliência, uma área degradada não possui mais a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica, nutrientes, biomassa, banco de sementes e demais organismos do solo (ARONSON; DURINGAN; BRANCALION, 2011; BRADSHAW, 1996).

Quando o(s) distúrbio(s) não resulta(m) nas situações acima descritas, considera-se o ecossistema como perturbado. São exemplos a queda (ou retirada) de uma ou várias árvores em uma floresta por um vendaval, chuva ou exploração seletiva madeireira, ou a ocorrência de fogo em uma vegetação de cerrado ou outra comunidade adaptada a esse distúrbio (DIAS; GRIFFITH, 1998; ENGEL; PARROTA, 2003).

A partir desses conceitos básicos, torna-se possível tratar dos conceitos de restauração, recuperação e reabilitação de maneira mais apropriada. Todavia, cabe destacar que a diferença entre essas abordagens está na definição de metas e objetivos, bem como na escala de tempo adotada como horizonte (ENGEL; PARROTA, 2003).

A definição, internacionalmente, mais utilizada para restauração (ou restauração ecológica, como é mais utilizado) é a adotada pela SER (2016, p. 3): “o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído”. Nesse sentido, os conceitos de recuperação, reabilitação e também o de redefinição estão todos contemplados no conceito geral de restauração ecológica, cada um deles referindo-se a níveis (ou objetivos) diferentes de restauração.

O principal conflito que existe na conceituação de restauração é que, em algumas definições desse conceito, pressupõe-se um retorno integral ao ecossistema original, o que é praticamente impossível (BRADSHAW, 1996; DIAS; GRIFFITH, 1998; MARTINS, 2009; RODRIGUES; GANDOLFI, 2000). O processo sucessional e a variação na composição de espécies são processos dinâmicos, não lineares e, praticamente, imprevisíveis (com elevado grau de incerteza), principalmente em se tratando de ecossistemas tropicais com elevada biodiversidade. Ou seja, uma comunidade não retorna, necessariamente, a uma mesma composição florística, após um ou vários distúrbios (JESUS; ROLIM, 2005; MARTINS, 2009). Uma das principais causas da imprevisibilidade do processo de sucessão ecológica é que a biodiversidade em uma comunidade, em um dado momento, pode ter forte influência do acaso, e diferentes combinações de espécies podem existir em uma mesma área (HUBBELL *et al.*, 1999).

Em última instância, o objetivo da restauração ecológica é promover a capacidade natural de mudança, ao longo do tempo, procurando assumir a difícil tarefa de reconstruir as complexas interações existentes no ecossistema, visando a garantir sua integridade ecológica (MARTINS, 2009; SER, 2016). Em outras palavras, o mais importante na restauração é criar condições para que a sucessão ecológica avance até atingir um estado estável com elevada resistência e biodiversidade, sem a pretensão de obter um ecossistema idêntico àquele que havia antes do(s) evento(s) de perturbação ou degradação.

Em ecossistemas perturbados é possível assumir o compromisso da restauração tendo como meta a integridade ecológica. Nesses casos, os projetos de restauração podem estabelecer metas e objetivos que atinjam as condições desejáveis de integridade ecológica, na escala espaço-temporal do projeto. Em algumas circunstâncias, a intervenção humana voltada à restauração nem mesmo é necessária, embora possa acelerar bastante os processos naturais

de regeneração. Este é o caso, por exemplo, das florestas plantadas com grande diversidade na regeneração natural, para as quais pode não ser necessário o plantio de conversão, e das florestas naturais atingidas por fogo rasteiro ou exploradas, seletivamente, em baixa intensidade (CHAZDON, 2008).

Por outro lado, em ecossistemas severamente degradados, como, por exemplo, aqueles onde se instalam atividades de mineração, mesmo que a restauração porventura seja o objetivo definido, dificilmente há condições favoráveis (resiliência) à implantação de métodos e técnicas que garantam o alcance da integridade ecológica no tempo de duração do projeto. Em outros casos, embora seja possível, a restauração não é o objetivo a ser alcançado (p.ex. taludes de mineração, rodovias e ferrovias). Como é sempre desejável que um projeto, independentemente de seu escopo, atinja a(s) meta(s) e objetivo(s) estabelecidos, deve-se lançar mão dos conceitos de recuperação e/ou reabilitação para os casos em que a restauração não seja exequível ou necessária (FERREIRA; WALTER; VIEIRA, 2015; GISLER, 1995; OZÓRIO, 2000; VIANI; NAVE; RODRIGUES, 2006).

A recuperação (comumente utilizada como recuperação de áreas degradadas, ou RAD) consiste no retorno de um sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido de uso do solo (WILLIAMS; BUGIN; REIS, 1990).

Tradicionalmente, o termo refere-se à aplicação de técnicas agrônômicas, silviculturais e de engenharia visando à recomposição topográfica e à revegetação de áreas em que o relevo foi descaracterizado pela urbanização, mineração, abertura de estradas, ferrovias, áreas erodidas etc. (MARTINS, 2009). Raramente, a RAD é empregada em ecossistemas degradados por fenômenos ou processos naturais.

Por exemplo, em empreendimentos de mineração a transformação imposta aos ecossistemas interferidos, geralmente, implica na necessidade de adoção de métodos e técnicas de RAD. O mesmo ocorre em pastagens muito degradadas, áreas de empréstimo e taludes associadas à construção de estradas, barragens e ferrovias, entre outros empreendimentos, ou ainda áreas fortemente erodidas (com perdas expressivas dos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo). A recuperação de processos ecossistêmicos básicos, principalmente aqueles que têm o solo como suporte (físico, químico e/ou biológico), é parte fundamental dos projetos de RAD. Entre esses processos, destacam-se a produção e estoque de biomassa (aérea e subterrânea), ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, estabilização climática e, sobretudo, proteção superficial. Portanto, além da contenção e reversão dos processos de degradação, a RAD busca devolver ao ecossistema degradado uma

funcionalidade mínima, principalmente, por meio da proteção e recuperação do solo (ARONSON; DURINGAN; BRANCALION, 2011).

A reabilitação é uma estratégia de RAD, e consiste em atribuir a uma área degradada uma ou mais funções adequadas ao uso humano direto. Assim como na RAD, a reabilitação, em geral, só é possível, por meio de uma forte intervenção antrópica (MARTINS, 2009). Portanto, além de recuperar a área degradada, a reabilitação objetiva adequá-la ao uso humano direto, principalmente, pela implantação de sistemas de produção (agrícola, florestal, pecuária, etc.) e da construção de áreas de lazer, como praças e parques. Mas, mesmo com base no conceito de reabilitação, a incorporação de áreas degradadas ao processo produtivo agrícola, silvícola ou pastoril é uma pretensão que nem sempre pode ser desejada dentro da filosofia de recuperação de áreas degradadas, uma vez que o custo pode ser muito maior que o benefício (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

Existem outras situações onde se pode aplicar a reabilitação como, por exemplo, na recuperação de ecossistemas degradados para a construção de taludes rodoviários e ferroviários, cavas e pilhas de mineração, ou outros empreendimentos que requerem intensa terraplenagem (movimentação de terra) e/ou obras (infra)estruturais. Nesses casos, como o plantio de espécies arbóreas comprometeria a segurança e integridade estrutural dos empreendimentos mencionados, a reabilitação é a estratégia a ser adotada, pois se mantém algumas funções ecossistêmicas (p.ex. proteção superficial e produtividade primária) em favor da estabilidade física daqueles taludes e demais feições ou áreas de uso definido em planejamento.

3.4 Práticas conservacionistas

De modo generalizado, as práticas conservacionistas podem ser classificadas em práticas edáficas, vegetativas, mecânicas e de manejo do solo, as quais visam, sobretudo, quanto às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, manter ou conduzir a condições satisfatórias no que diz respeito à manutenção da estrutura e disponibilidade de nutrientes (WILLIAMS; BUGIN; REIS, 1990).

A compactação do solo contribui, sobretudo, para a alteração da dinâmica da água, a qual se torna agente ativo dos processos erosivos. As estimativas de perda de água e solo obtidas em ensaios levam em consideração tanto as características físico-hídricas (condutividade hidráulica; curva característica de água no solo) quanto às mecânicas (densidade global, resistência mecânica à penetração de raízes). Dessa forma, se faz

necessário o conhecimento dessas características, a fim de se estabelecer um manejo adequado para se evitar a formação de camadas de impedimento, ou ainda, para superar a compactação e recuperar os processos relacionados à boa estrutura do solo com vistas ao estabelecimento da cobertura vegetal (dinâmica da água; desenvolvimento radicular; atividade biológica) (ANDRÉS; JORBA, 2000; ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005).

Em áreas mineradas a compactação do solo é mais um dos problemas ao (re)estabelecimento da cobertura vegetal com relação a natureza do substrato. Em trabalho conduzido para diagnosticar a compactação de uma área minerada na Floresta Nacional do Jamari, Ribeiro *et al.* (2006) obtiveram, por um modelo geostatístico, a distribuição espacial do grau de compactação do solo em função dos índices medidos de resistência mecânica a penetração de raízes, com vistas à definição de um planejamento mais local do manejo do solo, o que sugere um preparo mais adequado para a atividade de recuperação. Parâmetros para definição dos limites da resistência mecânica do solo à penetração de raízes podem ser obtidos em Ribeiro *et al.* (2006) e Silva *et al.* (2000).

Em ensaio conduzido para se verificar o efeito do manejo do solo na redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso, com 10 anos de plantio direto de soja, Abreu, Reichert e Reinert (2004) concluíram que, uma vez adotada a condutividade hidráulica como parâmetro de avaliação na superação da camada de impedimento do solo a “escarificação biológica” (cultivo mínimo de crotalaria na densidade de 60 kg ha⁻¹), mostrou-se mais eficaz, no entanto, quando observada sob o ponto de vista da resistência mecânica à penetração de raízes, o sistema escarificação-soja apresentou resultados melhores. Vários são os exemplos obtidos através do resultado de ensaios de avaliação de perda de solo e água para sistemas agrícolas os quais estabelecem a importância da cobertura vegetal na redução do processo de erosão hídrica, como pode ser observado na compilação feito por Silva *et al.* (2000). Mamede, Nascimento e Franco (1981), avaliando o efeito de gramíneas (Poaceae) e leguminosas (Fabaceae) e seus restos culturais (biomassa) no controle da erosão de um Latossolo, observaram que a perda de solo sob leguminosas foi maior, em razão do ciclo anual dessas espécies, sugerindo que o manejo de tal cobertura vegetal deverá ser orientado, segundo esse fator de modo a garantir um maior período de cobertura do solo.

3.5 Métodos alternativos de revegetação - Transposição de *topsoil*

Para a execução de lavra de grandes depósitos ou jazidas de minério relativamente próximos à superfície, isto é, a céu aberto, são necessários serviços intensos de movimentação

de terra, por meio de equipamentos e máquinas pesadas, frequentemente móveis, envolvendo operações de escavações, cortes, formação de bancadas sucessivas, disposição controlada de materiais, compactação, consecução de área de depósitos e/ou aterros, etc., com o objetivo de conferir condições mecânicas e geométricas adequadas de estabilidade e drenagem ao terreno ou sítio, morfologicamente, alterado pela própria atividade de mineração em si (PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004).

Essas áreas impactadas pelas atividades minerárias demandam esforços para a sua recuperação, além de que, desde 1988, no Brasil, há a exigência legal de recuperar essas áreas alteradas pela mineração (BRASIL, 1988). Porém, atualmente, ainda os empreendimentos apresentam dificuldades para, efetivamente, recuperar suas áreas degradadas, haja vista os obstáculos técnicos que limitam a implantação de medidas realmente eficazes para a revegetação desses locais (SILVA; CORRÊA, 2008).

As técnicas de restauração ecológica foram desenvolvidas, de acordo com a capacidade de regeneração natural de ecossistemas, em áreas que foram danificadas, degradadas ou destruídas (CHAZDON, 2008). Notórios têm sido os avanços alcançados nos últimos anos em relação aos métodos e técnicas de restauração, principalmente com foco no restabelecimento das funções e processos ecossistêmicos, de modo a favorecer e/ou induzir a sucessão ecológica, ainda assim fazem referência em alguma medida a modelos de recuperação baseados no paradigma clássico, isto é, aquele que relaciona a conservação dos recursos naturais à ideia de “equilíbrio ou balanço da natureza”, cuja visão extrema compreende os ecossistemas naturais como sistemas estáveis, clímax, pouco e/ou nada mutáveis e de composição e estrutura mais ou menos fixas (BECHARA *et al.*, 2007).

Em contraposição e alternativamente a esses modelos de recuperação, foram desenvolvidos métodos e técnicas de nucleação baseados no paradigma contemporâneo, o qual encara os ecossistemas naturais como altamente dinâmicos e sujeitos a fenômenos eventuais e aleatórios, além de abertos a uma variedade de fluxos.

Assim como a indução (condução) da regeneração natural e o plantio de espécies arbustivo-arbóreas de ocorrência regional, os métodos alternativos de recuperação podem ser utilizados separadamente ou em conjunto, inclusive junto com os métodos convencionais de recuperação tanto passiva quanto assistida (ALMEIDA, 2006; DENSLOW; GOMEZ DIAZ, 1990).

Em áreas onde o solo foi muito degradado tem sido realizado o resgate e transposição do horizonte orgânico do solo (*topsoil*) para servir como fonte de propágulos e de matéria orgânica para a recuperação dessas áreas (FERREIRA; WALTER; VIEIRA, 2015; GISLER,

1995; JAKOVAC, 2007; OZÓRIO, 2000; VIANI; NAVE; RODRIGUES, 2006). O *topsoil* é a camada mais superficial do solo, que contém o horizonte A e, pelo menos, parte do horizonte B (TACEY; GLOSSOP, 1980). Essa camada contém altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, o banco de sementes, podendo ser uma fonte valiosa de sementes de espécies nativas (ROKICH *et al.*, 2000). O resgate e transposição do *topsoil* consiste da retirada dessa camada superficial (com propágulos) do solo no momento da mineração e posterior armazenamento, para que seja recolocado na mesma área após o fim das atividades (TACEY; GLOSSOP, 1980). Bechara (2006) e Martins (2009) defendem que o método de recuperação ambiental pela transposição de solo superficial, visa à recuperação de toda a sua micro, meso e macro fauna e flora (sementes, propágulos, microorganismos, artrópodes, moluscos, etc.), e é uma forma direta de formar núcleos em áreas degradadas.

Para Willians, Bugin e Reis (1990), o *topsoil* compreende a camada fértil do solo, também conhecida por “terra vegetal”. Sua espessura varia de solo para solo, mas de maneira geral está entre 10 a 30 cm da camada mais superficial do solo.

Com o uso dessa técnica, são resgatados, além do banco de sementes e outros tipos de propágulos, a biota do solo e a serrapilheira dos fragmentos de vegetação nativa, precipitando o desenvolvimento de diversas formas de vida vegetal e animal (BECHARA, 2006; MARTINS, 2009) e a intensificação dos processos biogeoquímicos no solo degradado. A serrapilheira e a camada superficial do solo são depositadas em determinadas áreas e espera-se que, com o tempo, essas áreas tornem-se núcleos de alta diversidade de espécies, desencadeando o processo sucessional, na área degradada como um todo (MARTINS, 2009).

Essa técnica apresenta elevado potencial de recuperação e surte efeitos em pouco tempo, sendo excelente para a introdução de colonizadoras como plantas ruderais, ervas e arbustos pioneiros, anemocóricas e anemofílicas, que são as primeiras espécies a gerar populações em áreas degradadas (BECHARA, 2006).

Isso favorece a regeneração da comunidade a partir do banco de sementes nele contido. Essa regeneração será regida por sucessão secundária (FINEGAN, 1984; GRANT, 2006), e a comunidade regenerante dependerá da composição do banco de sementes contido no *topsoil* e da chuva de sementes de remanescentes de vegetação nativa em áreas do entorno e que atinge a área em recuperação. Alguns estudos avaliaram o uso de *topsoil* como método de recuperação de áreas mineradas, mostrando que essa camada superficial do solo, junto ao banco de sementes, é uma rica fonte de sementes de espécies nativas, dentre herbáceas, arbustivas, arbóreas e lianas (GISLER, 1995; GRANT, 2006; KOCH; WARD, 1994; ROKICH *et al.*, 2000; TACEY; GLOSSOP, 1980). A ampliação das possibilidades de uso do

topsoil para áreas de taludes ou inclinadas, pode resultar em maior aproveitamento desse material não apenas em áreas mineradas, mas também para a recuperação de áreas degradadas por diversas atividades econômicas de grande escala.

Não existe uma regra quanto à quantidade de solo e serrapilheira que deve ser utilizada. Mas, como a maior parte das sementes concentra-se nos primeiros 5 cm de solo superficial, normalmente coleta-se uma fina camada de solo de até 40 cm de profundidade. Uma vez coletados, o solo e a serrapilheira devem ser prontamente depositados na área ser restaurada, já que o armazenamento, por longo tempo, pode resultar na perda da viabilidade das sementes e na morte dos demais organismos. A largura das faixas ou a área das pilhas de solo/serrapilheira, bem como o espaçamento entre elas, também são variáveis, e dependem das dimensões da área a ser restaurada e da disponibilidade de solo para transposição. O importante é distribuir bem as pilhas ou faixas de solo transposto, de forma a facilitar o processo de expansão dos núcleos, por meio da irradiação de plantas colonizadoras (MARTINS, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Esse estudo foi realizado em município do Estado de Goiás, em áreas exploradas por atividade de mineração. (FIGURA 1).

Figura 1 - Foto aérea do Complexo Minerquímico de Catalão.



Fonte: Lucas Fraga - ECOUP Consultoria e Soluções Ambientais.

O clima da região é típico das regiões de Cerrado, constituído por duas estações bem definidas: chuva e seca (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008). A região possui período seco entre os meses de maio e setembro e período chuvoso entre setembro e abril. A temperatura média anual é de 29,1°C, com os maiores valores entre setembro e outubro com 30,9°C, e os menores entre junho e julho, sendo a temperatura mínima média anual de 18,1°C. A precipitação média anual é de 1.416,5 mm. A classificação de acordo com Köppen é do tipo Aw - Tropical Úmido e Cwa - Tropical de Amplitude, com invernos e verões bem delimitados (PORTO, 2012).

O período de seca, apresenta alterações nas vegetações, devido à ausência de água, como caducifolia das folhas, ausência de frutos e flores em algumas espécies, ou o processo inverso, presença de frutos e flores. A pilha de estéril está inserida na microbacia do córrego Fundo, que é tributária da margem direita do rio São Marcos que, por sua vez, é tributário da

margem direita do rio Paranaíba. A topografia local é considerada como suave-ondulada. A vegetação do entorno é classificada como mata seca semidecídua e como cerrado, típicas no Bioma Cerrado.

O uso do solo da área próxima à pilha é de uso para atividades minerárias, contudo, o local de onde foi retirado o *topsoil*, em geral, é de antigas pastagens ou áreas agrícolas consolidadas (desmatadas). A área, no entorno da pilha, encontra-se, prioritariamente, modificada, principalmente pela atividade da mineração. No entanto, existem alguns fragmentos florestais (FIGURA 2) próximos à pilha e que podem atuar como dispersores de propágulos.

Figura 2 - Foto aérea do Depósito de Estéril e os remanescentes florestais próximos.



Fonte: Lucas Fraga - ECOUP Consultoria e Soluções Ambientais.

4.2 Elaboração de um Manual Técnico Simplificado para uso de *topsoil*

O manual técnico foi elaborado, tendo como referência os seguintes documentos técnicos:

- a) Projeto Executivo de Ampliação do Depósito de Estéril “Lobo Guará” sob responsabilidade da empresa Geoconsultoria Ltda.

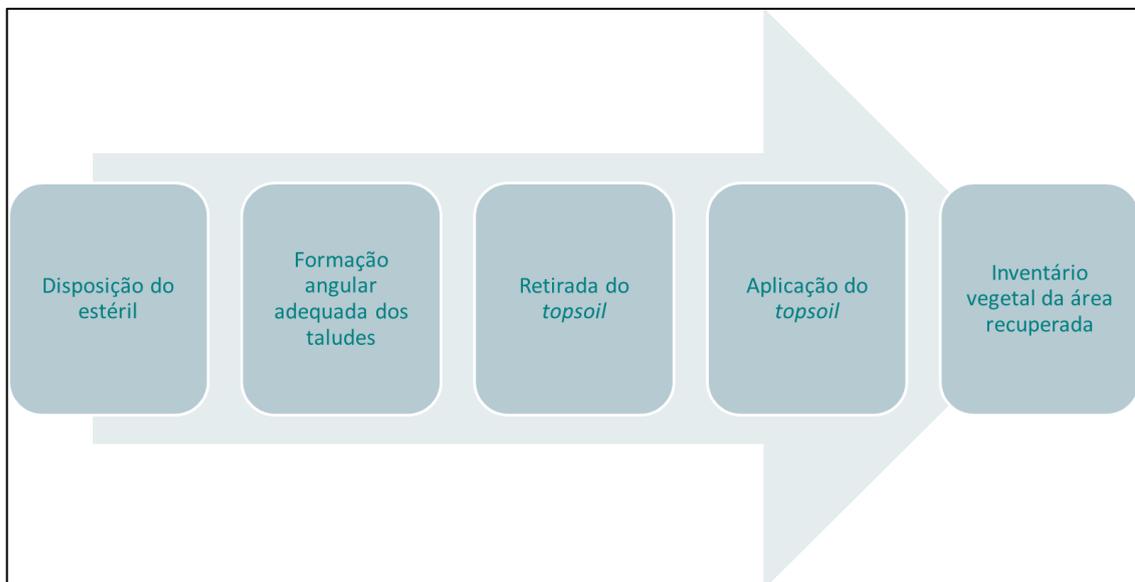
O Projeto Executivo do Depósito de Estéril “Lobo Guará” traz de forma detalhada o método de deposição e formação da pilha de estéril, considerando inclinações e altura dos taludes, larguras das bermas, sistemas de drenagens pluviais, altura máxima do depósito, grau de compactação e instalação necessária de instrumentos de monitoramentos (Piezômetros, Indicador de Nível D’água e Marcos Superficiais).

- b) Procedimento Operacional “PGS-6004-003 Reabilitação de Áreas - Depósitos de Estéril” Rev.00 - 25/08/2017.

O Procedimento Operacional apresenta as diretrizes da aplicação do *topsoil*, as responsabilidades pelas etapas de transposição desse material, os acompanhamentos necessários e a criação de indicadores (Área a ser recuperada / Área recuperada com aplicação de *topsoil*).

Tendo como base os documentos mencionados acima, foram estabelecidas algumas fases para descrever o Manual Técnico da aplicação do *topsoil*. Na Figura 3, abaixo, apresentam-se as etapas que foram consideradas no conteúdo do Manual Técnico.

Figura 3 - Fases da implantação da metodologia de aplicação de *topsoil*.



Fonte: Do autor (2019).

Como um dos objetivos do trabalho foi criar um Manual Técnico Simplificado, levando-se em consideração o perfil do Mestrado Profissional, esse documento foi elaborado a parte e, por isso, complementa essa dissertação como um Anexo da mesma.

4.3 Avaliação do uso do *topsoil* na recuperação de taludes de estéril

4.3.1 Metodologia de aplicação do *topsoil*

O *topsoil* utilizado no processo de transposição foi obtido pelo decapeamento de áreas de lavra e da movimentação de solo de obras auxiliares ao processo de mineração, como a instalação de pilhas de estéril, construção de acessos, movimentação de solo e outros. em razão do caráter já consolidado das áreas exploradas, o *topsoil* utilizado é característico de pastagem e plantios agrícolas (FIGURA 4).

Figura 4 - Foto aérea da mina (ao fundo) e a área de avanço futuro da cava (predominantemente pastagens).



Fonte: Lucas Fraga - ECOUP Consultoria e Soluções Ambientais.

O procedimento proposto pela empresa, para o uso do *topsoil*, prediz que deve ser realizada a retirada/coleta da camada superficial do solo de forma concomitante ao espalhamento. O *topsoil* foi transportado em caminhões até o depósito de estéril (DE) onde estão localizados os taludes amostrados. O armazenamento é realizado em pilhas a céu aberto. O *topsoil* foi transposto em taludes com grau de inclinação esperado de $\leq 30\%$ em diferentes momentos (há 1, 5, 10 e 15 anos). As parcelas de 10 e 15 anos possuem inclinação que varia entre 45 e 30%, pois, nessa época, o padrão utilizado não era o mesmo que o atual.

O resgate, transposição e espalhamento do *topsoil* foi realizado com o auxílio de uma retroescavadeira. O material que foi utilizado consiste da camada de serapilheira mais a primeira camada do solo (horizonte Ao), entre 20 - 40 cm de profundidade. A camada aplicada foi de, aproximadamente, 40 cm, espalhada até atingir a homogeneidade desejada.

No presente caso, o material estéril consiste de todo o solo (exceto horizonte orgânico e horizonte A) que foi retirado para se atingir a rocha matriz, para a exploração do fosfato. O depósito de estéril foi construído na forma de pilha e, para que se tornasse estável, nas suas bordas foram feitos taludes com dimensões e inclinações variadas, atendendo às especificações do projeto. Os taludes utilizados para a amostragem possuem dimensões de aproximadamente 30 m de comprimento, com inclinação entre 40° e 30° (FIGURA 5).

Figura 5 - Foto aérea do depósito de estéril e as dimensões de seus taludes.

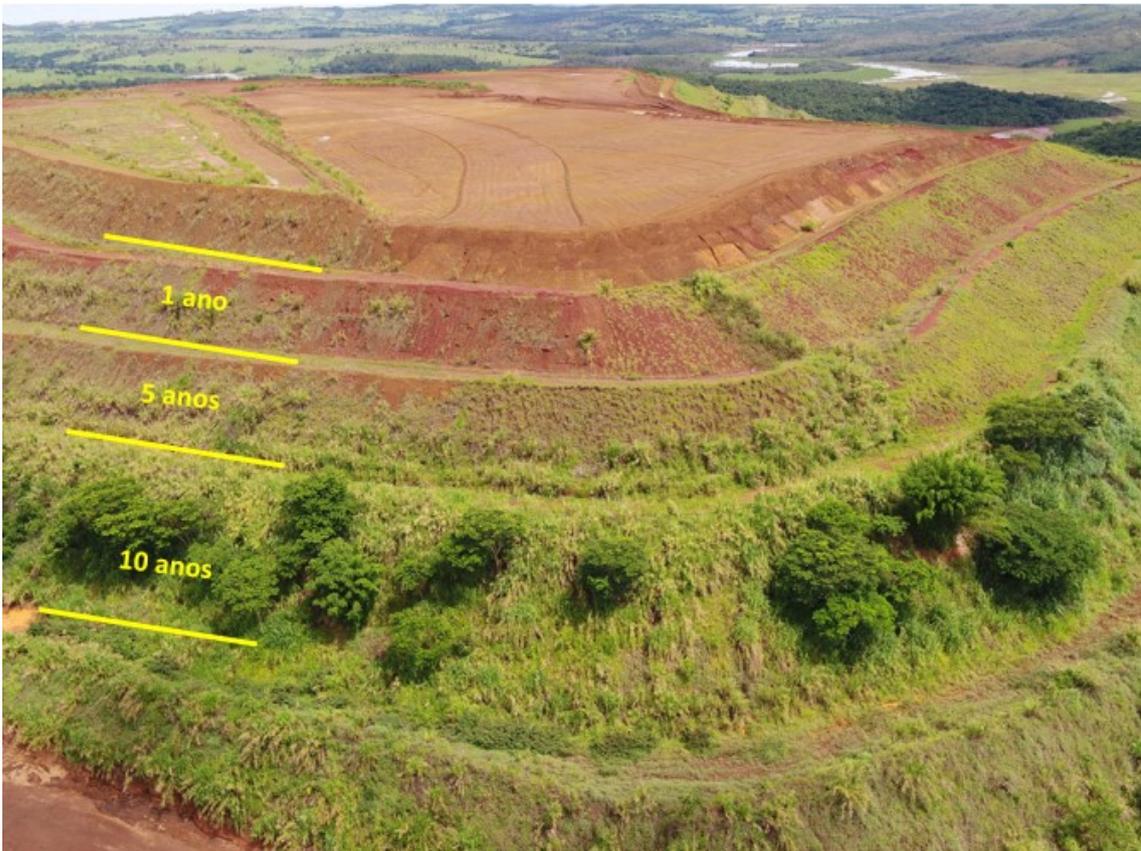


Fonte: Vandeir Toledo

4.3.2 Coleta e preparação dos dados

Foram estabelecidos transectos de 30 metros, em quatro quadrantes de 300 m² em taludes de uma pilha de estéril em áreas recuperadas com 1, 5, 10 e 15 anos após transposição de camada superficial de solo (*topsoil*), conforme demonstra a FIGURA 6.

Figura 6 - Foto aérea do depósito de estéril e a cronossequência de aplicação de *topsoil*.



Fonte: Vandeir Toledo

Para medir a cobertura e altura da vegetação foi adotado o método de interceptação de pontos em linha (FIGURA 7). Ao longo de uma trena de 30 metros, uma vareta com 2 m de altura é disposta, perpendicularmente, ao solo, e os dados foram coletados a cada 0,5 m, totalizando 60 pontos por transecto (total de 240 pontos).

Para a avaliação do estrato arbóreo foram identificados até o nível de espécie e mensurados todos os indivíduos com mais de 5 cm de DAP (diâmetro a altura do peito) ou maiores que 1,5 metros. Sempre que possível, o nome popular foi registrado. Para caracterização ambiental, informações sobre vegetação remanescente do entorno e condições da serapilheira (ausente, presente, espessura) foram coletadas para favorecer a interpretação dos resultados.

Figura 7 - Esquema representativo da amostragem de cobertura do solo pelo método de interceptação de pontos em classes de altura.



Fonte: Vieira *et al.* (2017)

As espécies amostradas e observadas foram classificadas de acordo com a origem (nativa ou exótica) e com a forma de vida (erva/liana, arbusto/subarbusto e árvore). Como o esforço amostral foi o mesmo nos três quadrantes, a riqueza foi considerada como o número de espécies amostrados em cada transecto (sem rarefação).

A biomassa dos indivíduos arbóreos foi calculada, utilizando a equação $BAS = 0,0673 \times (\rho \times H \times D^2)^{0,976}$ desenvolvida por Chave *et al.* (2014), onde ρ é a densidade específica da madeira, H altura e D diâmetro. Para calcular a cobertura da vegetação foi utilizada a equação $CobT = (n^\circ \text{ toques}/60) \times 100$, onde CobT é a cobertura total da vegetação (%), n° toques é o número de vezes que uma espécie tocou na vareta dividido por 60 que é o número de pontos ao longo do transecto. Para calcular a altura da vegetação, foi utilizado o terceiro quartil das alturas individuais em cada quadrante (LOPES *et al.*, 2014).

4.3.3 Análises estatísticas

Foram utilizados modelos lineares considerando os atributos ecológicos de riqueza, cobertura e altura da vegetação em função do tempo, desde a transposição do *topsoil*. Todas as análises foram realizadas, utilizando o Programa R (R CORE TEAM, 2014). Foram construídos três modelos para cada variável resposta, considerando modelos lineares (variação linear em função da variável preditoras), logarítmicos (rápido crescimento, nos anos iniciais,

seguido de estabilização ou diminuição na velocidade de crescimento nos anos finais) e polinomiais de segunda ordem (aumento até atingir um pico seguido de estabilização ou diminuição) e foi selecionado o melhor modelo, considerando o Critério de Informação de Akaike (AIC em inglês).

Selecionou-se o melhor modelo considerando o maior peso de Akaike (wAICc), que representa a probabilidade desse conjunto de variáveis ser o mais parcimonioso (ANDERSON; BURNHAM, 2002). Foi verificada a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias com a função “par”. Os gráficos foram elaborados com o pacote “ggplot2” (WICKHAM, 2009).

5 RESULTADOS

Ao todo, foram amostradas ou observadas 22 espécies de distribuídas em 11 famílias. As famílias mais presentes foram Fabaceae (oito) e Poaceae (quatro). Foi feito o levantamento e a identificação das espécies até o nível taxonômico que possibilitou classificá-las em nativa ou exótica e forma de vida, a partir dos dados disponíveis do Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Das 22 espécies amostradas ou observadas, 16 são nativas e seis exóticas; sete espécies são árvores (todas nativas), oito são arbustos ou subarbustos (sete nativas e uma exótica) e sete são ervas ou lianas (duas nativa e cinco exóticas, TABELA 1).

Houve mudança na composição florística, ao longo da cronossequência. A parcela de um ano, após a transposição do *topsoil* é dominada por *Urochloa de cumbens* (braquiária; erva, exótica) e *Sidastrum micranthum* (arbusto nativo). A parcela de cinco anos é dominada por *Cenchrus purpureus* (Napier; erva exótica), *Mucuna pruriens* (liana nativa), *Mimosa pigra* (arbusto nativo) e *Macroptilium atropurpureum* (erva exótica). A parcela de 10 anos é dominada por *C. purpureus*, *M. pruriens*, *M. atropurpureum*, *Melinis minutiflora* (erva exótica), *Piper arboreum* (arbusto nativo), *U. decumbens* e *Cecropia pachystachya* (árvore nativa). Indivíduos de *Miconia albicans* (arbusto nativo), *Piper umbellatum* e *P. arboreum* (arbusto e subarbusto nativos), *Bauhinia rufa* (árvore nativa), *Elephantopus mollis* (erva nativa) e *Diplusodon* sp. (arbusto nativo) foram observados nessa parcela. A parcela de 15 anos é dominada por *C. purpureus*, *Albizia niopoides* (árvore nativa), *P. arboreum* e *C. pachystachya*. Essa é a única parcela que possui árvores. Ao todo, 14 indivíduos arbóreos de três espécies foram amostrados com altura variando entre 3 e 16 metros e biomassa variando entre 0,06 a 14,41 Mg/ha⁻¹ (TABELA 2). Também foram observados, nessa parcela, indivíduos de *Inga cylindrica* e *I. alba* (árvores nativas), *Myrcia splendens* (árvore nativa), *Casearia grandiflora* (árvore nativa), *Ricinus communis* (arbusto exótico), *Mimosa pigra* (arbusto nativo) e *Cenchrus americanos* (erva exótica).

A riqueza (número de espécies) apresentou aumento polinomial, em função do tempo, desde a transposição do *topsoil*, variando de 1 a 18 espécies, ao longo da cronossequência (FIGURA 8). Há, relativamente, pouca variação do número de espécies entre o quadrante de 5 e o de 10 anos. A porcentagem de cobertura do solo apresentou aumento logarítmico, ao longo do tempo, variando de 35 a 132,3% (FIGURA 9a), considerando que há sobreposição de espécies que fazem a cobertura do solo e, por isso, a ocorrência de valores maiores que 100%. A altura da vegetação também apresentou aumento logarítmico, ao longo da cronossequência, variando de 0,14 a 6,38 metros (FIGURA 9b).

Tabela 1 - Lista de espécies amostradas em todas as parcelas (total de 240 pontos)

Família	Nome Científico	Nome popular	Origem	Forma de vida	Parcela (ano)
Asteraceae	<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	Língua-de-vaca	Nativa	Erva	10
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	Mamona	Exótica	Arbusto	15
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Farinha-seca	Nativa	Árvore	15
	<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Pata-de-vaca	Nativa	Árvore	10
	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Ingá-vermelha	Nativa	Árvore	15
	<i>Inga cylindrica</i> (Vell.) Mart.	Ingá	Nativa	Árvore	15
	<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Urb.	Feijão-de-rola	Exótica	Erva	5, 10
	<i>Mimosa invisa</i> Colla	Rasga-gibão	Nativa	Arbusto	5
	<i>Mimosa pigra</i> L.	Dormideira	Nativa	Arbusto	5, 15
	<i>Mucuna pruriens</i> var. <i>utilis</i> (Wall. ex Wight) Baker ex Burck	Mucuna-preta	Nativa	Liana	5, 10
Lythraceae	<i>Diplusodon</i> sp.	Flor-de-papel	Nativa	Arbusto	10
Malvaceae	<i>Sidastrum micranthum</i> (A.St.-Hil.) Fryxell		Nativa	Arbusto	1, 10
Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Canela-de-velho	Nativa	Arbusto	10
Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Guamirim-miúdo	Nativa	Árvore	15
Piperaceae	<i>Piper arboreum</i> Aubl.	Pimenta-longa	Nativa	Arbusto	10, 15
	<i>Piper umbellatum</i> L.	Pariparoba	Nativa	Subarbusto	10
Poaceae	<i>Cenchrus americanus</i> (L.) Morrone	Bambu-crioulo	Exótica	Erva	10, 15
	<i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone	Lapiê/Napier	Exótica	Erva	5, 10, 15
	<i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv.	Capim-gordura	Exótica	Erva	10
	<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster	Braquiária	Exótica	Erva	1, 5, 10
Salicaceae	<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.	Canela-de-velha	Nativa	Árvore	15
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embaúba	Nativa	Árvore	10, 15

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 2 - Cobertura do solo nos 240 pontos distribuídos entre os quatro transectos em cada um dos quadrantes (de 1, 5, 10 e 15 anos).

Porcentagem de cobertura do solo													
Transecto	Idade (anos)	<i>U. decumbens</i>	<i>C. purpureus</i>	<i>M. pruriens</i>	<i>A. niopoides</i>	<i>S. micranthum</i>	<i>C. americanus</i>	<i>C. pachystachya</i>	<i>M. invisá</i>	<i>M. minutiflora</i>	<i>M. atropurpureum</i>	<i>P. arboreum</i>	<i>M. pigra</i>
1	1	33.3				1.7		1.7					
2	5	11.7	90.0	6.7					6.7		6.7		3.3
4	10	3.3	86.7	15.0			6.7			3.3	5.0	3.3	
3	15		70.0		30.0			5.0					33.3
Total		48.3	246.7	21.7	30.0	1.7	6.7	6.7	6.7	3.3	11.7	36.7	3.3

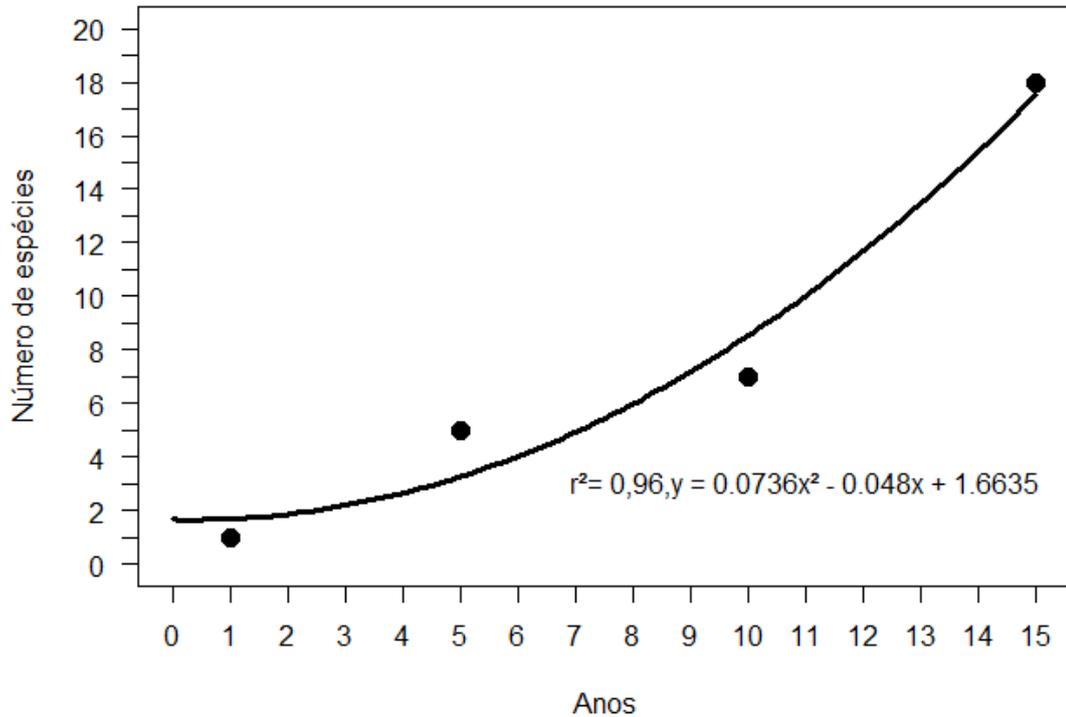
Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3 - Fitossociologia dos indivíduos arbóreos amostrados na parcela de 15 anos com família, espécie, altura em metros, diâmetro em cm, onde D.E = densidade específica da madeira (g/cm³) e AGB = biomassa acima do solo (Mg/ha).

Família	Espécie	Altura (m)	Diâmetro (cm)	D.E	AGB
Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i>	5	6.640783	0.48	0.2123
	<i>Cecropia pachystachya</i>	8	11.067972	0.48	0.9104
	<i>Cecropia pachystachya</i>	5	6.008328	0.48	0.1746
	<i>Cecropia pachystachya</i>	13	6.957011	0.48	0.5907
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i>	14	22.135944	0.75	9.4017
	<i>Albizia niopoides</i>	16	25.772563	0.75	14.413
	<i>Albizia niopoides</i>	10	18.024983	0.75	4.5334
	<i>Albizia niopoides</i>	11	20.102239	0.75	6.1558
	<i>Albizia niopoides</i>	11	10.751744	0.75	1.8147
Piperaceae	<i>Piper arboreum</i>	4	10.751744	0.39	0.3571
	<i>Piper arboreum</i>	4.5	6.640783	0.39	0.1564
	<i>Piper arboreum</i>	4.5	13.345411	0.39	0.6109
	<i>Piper arboreum</i>	3	5.217758	0.39	0.0658

Fonte: Do autor (2019).

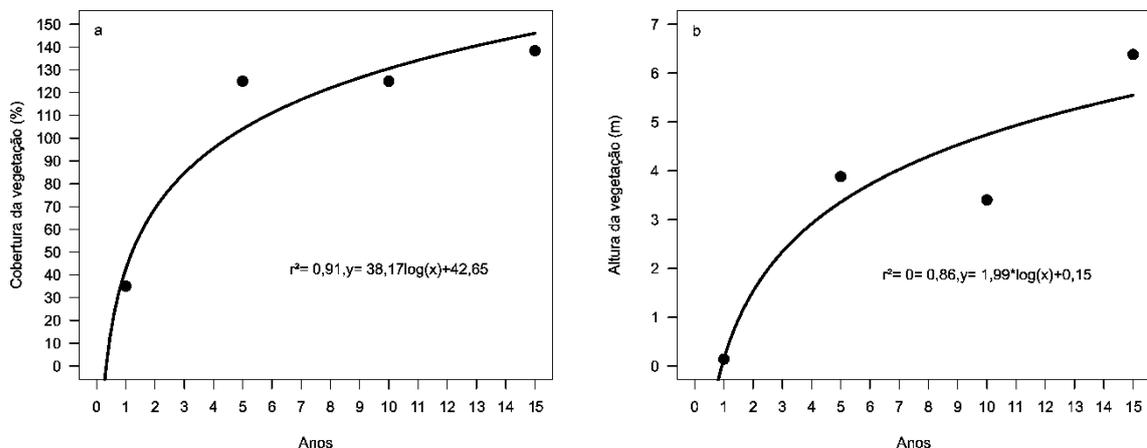
Figura 8 - Riqueza variando de áreas onde o *topsoil* foi recentemente até áreas com 15 anos de solo transposto, em talude de pilha de estéril em área minerada para extração de fosfato.



Legenda: Círculos representam os valores brutos encontrados em cada quadrante amostrado. A linha representa a tendência temporal descrita pelo modelo de melhor ajuste. O melhor modelo ajustado foi o polinomial de segunda ordem.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 9 - a) Cobertura da vegetação e b) Altura da vegetação variando de áreas onde o *topsoil* foi recentemente até áreas com 15 anos de solo transposto, em talude de pilha de estéril em área minerada para extração de fosfato.

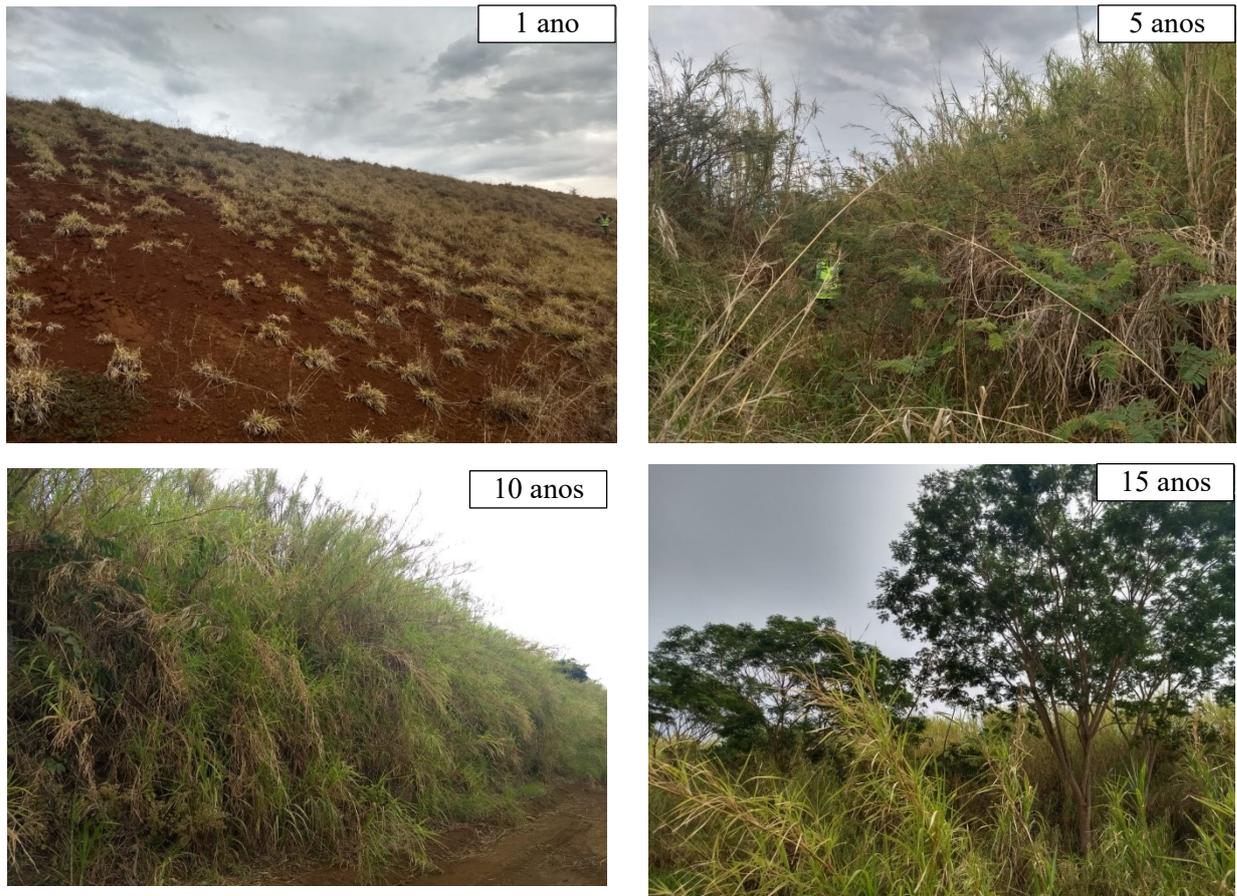


Legenda: Círculos representam os valores brutos encontrados em quadra quadrante amostrado. A linha representa a tendência temporal descrita pelo modelo de melhor ajuste. O melhor modelo ajustado, tanto para cobertura como altura, foi o logarítmico.

Fonte: Do autor (2019).

Na conclusão deste estudo, consegui relacionar as espécies vegetais desenvolvidas nos depósitos, após o uso do *topsoil*, com a área de origem desse material. Entender se há influência de remanescentes florestais existentes nas proximidades do depósito quando o *topsoil* tiver origem em área com uso do solo predominantemente de pastagens. A Figura 10 apresenta as diferenças das parcelas de cada período avaliado.

Figura 10 - Parcela de cada período avaliado.



Fonte: Empresa Licenge.

6 DISCUSSÃO

Os resultados indicam aumento ao longo do tempo da riqueza, da cobertura e altura da vegetação em áreas de diferentes idades de transposição de *topsoil*, assim como foi observado por Rodrigues, Martins e Barros (2004), em áreas em regeneração, após atividade de mineração na Mata Atlântica. No entanto, é preciso chamar a atenção para a composição florística dessas áreas. As famílias botânicas mais frequentes foram Fabaceae e Poaceae, e as espécies mais dominantes em todas as parcelas foram *Cenchrus purpureus*, seguido por *Urochloa decumbens* (ambas espécies herbáceas exóticas, cultivares agrícolas), *Piper arboreum* e *Mucuna pruriens* (ambos arbustos nativos), sugerindo tanto a persistência de espécies de gramíneas exóticas ao longo do tempo, mas também colonização ou rebrota de espécies exóticas.

Observou-se mudança na composição florística, ao longo do tempo, com o aparecimento de árvores e aumento de espécies nativas na parcela mais antiga (15 anos), dominada por *C. purpureus* e *P. arboreum*, mas também por *Cecropia pachystachya* (árvore nativa, pioneira de vida curta) e *Albizia niopoides* (árvore nativa, pioneira a secundária tardia). Isso evidencia que o *topsoil* utilizado, neste estudo, era de pastagem. Mas como a espécie arbórea que dominou o quadrante mais antigo foi a *Albizia niopoides*, que é típica de mata seca, e como esse tipo de fitofisionomia é típico na região de estudo, é possível que a fitofisionomia original fosse mata seca.

A aplicação de *topsoil* em áreas em recuperação aumenta a diversidade (RIBEIRO *et al.*, 2018) e complexidade estrutural (FERREIRA, 2015; JAKOVAC, 2007) e pode levar à reabilitação de áreas mineradas (GASTAUER *et al.*, 2019). Algumas espécies podem propagar-se vegetativamente por estolões, raízes gemíferas e sistemas caulinares difusos (GOTTSBERGER; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006), indicando que existe um banco de gemas ativo, tanto para sobrevivência (nicho de persistência, BELLINGHAM; SPARROW, 2000) quanto para a reprodução clonal (KLIMEŠOVÁ; KLIMEŠ, 2007).

Além disso, algumas espécies, como pioneiras, ruderais e cultivares agrícolas, produzem elevada densidade de diásporos e formam banco de sementes persistentes (CHRISTOFFOLETI; CAETANO, 1998). Mas há possibilidade das áreas avaliadas estarem recebendo diásporos de vegetação nativa remanescente na paisagem por chuva de sementes (COLE; HOLL; ZAHAWI, 2010; SILVA *et al.*, 2016). Logo, a capacidade de rebrota, o banco de sementes do solo e a chuva de sementes originadas de vegetação remanescente na

paisagem são fatores determinantes para o aumento da riqueza, cobertura e altura da vegetação.

A mudança na composição florística, ao longo do tempo, é uma característica importante na sucessão secundária. Neste estudo, verificou-se o aparecimento de árvores somente aos 15 anos, enquanto que, nas demais idades, dominaram formas de vida herbáceas e arbustivas, sugerindo uma fase inicial de sucessão. No entanto, isso era esperado afinal o *topsoil* utilizado pertencia pastagens consolidadas. Neste estudo, foi observada a importante contribuição de espécies herbáceas, lianas e arbustivas, que é sempre maior quando se utiliza a técnica de transplante de *topsoil* (GISLER, 1995; KOCH; WARD, 1994).

Os resultados de um estudo em áreas onde utilizaram a transposição de *topsoil* mostraram que houve substituição das espécies anuais de forma de vida herbácea por arbustivas e depois lenhosas perenes, assim como foi observado, neste estudo, indicando a capacidade do método utilizado de restabelecer as funções ecológicas na área recuperada (GISLER, 1995).

Jakovac (2007) também observou aumento do número de espécies e a substituição gradual das formas de vida, caracterizando processo de sucessão de espécies (SWAINE; WHITMORE, 1988) em taludes em regeneração, a partir do *topsoil*. Além disso, Jakovac (2007) observou que as espécies arbustivo-arbóreas colonizadoras foram, principalmente, espécies de ampla distribuição consideradas pioneiras e algumas poucas espécies consideradas não pioneiras. O recrutamento das espécies pioneiras de ciclo de vida longo e das tardias da sucessão, que deverão formar a comunidade adulta da floresta, dependerá da chuva de sementes (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001).

7 CONCLUSÃO

Conduziu-se, este trabalho, com dois objetivos macros: a elaboração de um Manual Técnico Simplificado do método de transposição de *topsoil*, na recuperação de taludes em depósito de estéril em empreendimentos minerários e a avaliação da eficácia dessa metodologia.

O Manual, apesar de simplificado, poderá proporcionar uma diretriz para empreendimentos que queiram implantar o método de aplicação de *topsoil* na recuperação de áreas degradadas. No entanto muita atenção deve ser despendida para as variáveis que influenciam diretamente a eficácia desse procedimento que são: a origem e espessura do material *topsoil*, tipo de área a ser recuperada, estação do ano que será transportado e método de aplicação e espalhamento.

Sobre a eficácia na recuperação de áreas degradadas do método de aplicação do *topsoil* o estudo evidenciou mudança na composição florística entre os quadrantes de diferentes idades (1, 5, 10 e 15 anos), além do aumento da riqueza, cobertura e altura da vegetação. Porém, boa parte do espaço é dominado por cultivares agrícolas (herbáceas exóticas) e as espécies nativas começam a apresentar importância em áreas com mais tempo desde a transposição do *topsoil*.

De forma geral, o estudo demonstrou que o uso do *topsoil*, como método de recuperação de taludes de depósito de estéril, foi eficiente para a manutenção das suas características geotécnicas, para a redução da emissão de particulado e carreamento de materiais finos e também para o restabelecimento das funções ecológicas, principalmente em regiões onde há fragmentos florestais que contribuem com a dispersão de propágulos.

8 RECOMENDAÇÕES

Dentre as recomendações para continuidade de estudos com aplicação de *topsoil*, sugere-se:

- a) Realização de estudo comparativo de transposição de *topsoil* entre técnicas diferentes das descritas no Manual Técnico Simplificado;
- b) Realização de estudo comparativo da eficácia do método de aplicação de *topsoil* para recuperação de áreas degradadas considerando variáveis distintas das apresentadas neste trabalho, sendo elas: tipo de minério explorado, características físico-químicas do *topsoil* e estéril, espessuras das camadas de *topsoil* e clima da região;
- c) Realização de estudo comparativo sobre o custo benefício de utilização de métodos distintos de recuperação de taludes de depósito de estéril, por exemplo, hidrossemeadura x transposição de *topsoil*.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1998. p. 15-26.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Mechanical and biological chiseling to reduce compaction of a sandy loam alfisol under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, jun. 2004.
- ALMEIDA, A. D. **Uso da camada superficial de solo na revegetação do estéril de extração de granito**. 2006. Tese (Doutorado em Plantas e Nutrição do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ANDERSON, D. R.; BURNHAM, K. P. Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. **The Journal of Wildlife Management**, New York, v. 66 n. 3, p. 912-918, July 2002.
- ANDRÉS, P.; JORBA, M. Mitigation strategies in some motorway embankments (Catalonia, Spain). **Restoration Ecology**, Danver, v. 8, n. 3, p. 268-275, Sept. 2000.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.
- ARONSON, J.; DURINGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, n. 44, p. 1-38, ago. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13029**: coletânea de normas de mineração e meio ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**: 2014. São Paulo: ANDA, 2014. 176 p.
- BAHRAM, M. Structure and function of the global *topsoil* Microbiome. **Nature**, London, v. 560, n. 7717, p. 233-237, Aug. 2018.
- BECHARA, F. C. *et al.* Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 9-11, jul. 2007. Suplemento 1.
- BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras**: floresta estacional semidecidual, cerrado e restinga. 2006. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BELLINGHAM, P. J.; SPARROW, A. D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. **Oikos**, Copenhagen, v. 89, n. 2, p. 409-416, May 2000.

BOCHET, E.; GARCÍA-FAYOS, P. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. **Restoration Ecology**, Danver, v. 12, n. 2, p. 166-174, June 2004.

BRADSHAW, A. D. Underlying principles of restoration. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 53, p. 3-9, 1996. Supplement 1.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 out. 1988. Seção 10, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 abr. 1989.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* Funções múltiplas das florestas: conservação e recuperação do meio ambiente. *In*: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]**. Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. v. 1, p. 113-118.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 3177-3190, Oct. 2014.

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

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CAETANO, R. S. X. Soil seed banks. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, nesp., p. 74-78, ago. 1998.

COLE, R.; HOLL, K.; ZAHAWI, R. Seed rain under tree islands planted to restore degraded land in a tropical agricultural landscape. **Ecological Applications**, Tempe, v. 20, n. 20, p. 1255-1269, July 2010.

DENSLOW, J. S.; GOMEZ DIAZ, A. E. Seed rain to tree-fall gaps in a Neotropical rain forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 20, n. 5, p. 642-648, Feb. 1990.

DIAMOND, J. M. **Colapso**: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso. 5. ed. Rio de Janeiro: Record, 2007. 683 p.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1998. p. 1-8.

DONAGEMA, G. K. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011. 230 p.

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

FENGLER, F. H. *et al.* Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: a new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 108, p. 93-99, Nov. 2017.

FERREIRA, M. C. **Dinâmica da regeneração natural de áreas em restauração pela transposição de solo superficial de cerrado e de floresta estacional**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FERREIRA, M. C.; WALTER, B. M. T.; VIEIRA, D. L. M. *Topsoil* translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. **Restoration Ecology**, Danver, v. 23, n. 6, 723-728, Nov. 2015.

FINEGAN, B. Forest succession. **Nature**, London, v. 312, n. 5990, p. 109-114, 1984.

FREITAS, M. A. **Apostila sobre formação de pilha de estéril e rejeito**. Belo Horizonte: Ed. IETEC, 2004. 17 p.

GALETI, P. A. **Conservação do solo-reflorestamento-clima**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 286 p.

GASTAUER, M. *et al.* Mine land rehabilitation in Brazil: goals and techniques in the context of legal requirements. **Ambio**, Oslo, v. 48, n. 1, p. 74-88, Jan. 2019.

GHAZOUL, J. *et al.* Conceptualizing forest degradation. **Trends in Ecology & Evolution**, Barking, v. 30, n. 10, p. 622-632, Oct. 2015.

GISLER, V. T. **O uso da serrapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de Bauxita, Poços de Caldas, MG**. 1995. Dissertação (Mestrado de Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. **Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Ecosystem**. Reta: Pollination and Seed Dispersal, 2006. v. 2, 383 p.

GRANT, C. D. State-and-transition successional model for bauxite mining rehabilitation in the jarrah forest of Western Australia. **Restoration Ecology**, Danver, v. 14, n. 1, p. 28-37, Mar. 2006.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 148, n. 1/3, p. 185-206, July 2001.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, May 2011.

HUBBELL, S. P. *et al.* Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. **Science**, New York, v. 283, n. 5401, p. 554-557, Jan. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília: IBRAM, 2015. 25 p.

JAKOVAC, A. C. C. **O uso do banco de sementes florestal contido no topsoil como estratégia de recuperação de áreas degradadas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Biologia Florestal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico, 2019. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2019.

JESUS, R. M.; ROLIM, S. G. Experiências relevantes na restauração da Mata Atlântica. *In*: GALVÃO, A. P. M.; SILVA, W. P. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Floresta, 2005. p. 59-86.

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

KLIMEŠOVÁ, J.; KLIMEŠ, L. Bud banks and their role in vegetative regeneration: a literature review and proposal for simple classification and assessment. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 8, n. 3, p. 115-129, Mar. 2007.

KOCH, J. M.; WARD, S. C. Establishment of understory vegetation for rehabilitation of bauxite-mined areas in the jarrah forest of Western Australia. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 41, n. 1, p. 1-15, May 1994.

LOPES, S. F. *et al.* Canopy stratification in tropical seasonal forests: how the functional traits of community change among the layers. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1551-1562, set./out. 2014.

MAMEDE, L.; NASCIMENTO, M. A. L. S.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. *In*: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil. Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981. p. 301-376.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2009. 270 p.

OLIVEIRA, S. L. **Ampliação do Depósito Lobo Guará - Projeto Executivo**. São Paulo: Geoconsultoria, 2011. GO17RT01-Rev.0

OZÓRIO, T. F. **Potencial do uso da serapilheira em áreas degradadas pela mineração de ferro**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PARROTA, J. A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 115-133, July 1992.

PETERSEN, S. L.; ROUNDY, B. A.; BRYANT, R. M. Revegetation methods for high elevation roadsides at Bryce Canyon Nacional Park. **Restoration Ecology**, Danver, v. 12, n. 2, p. 248-257, June 2004.

PORTO, K. G. **Consequências do uso do solo nas áreas de vegetação ciliar sobre a qualidade da água no Ribeirão Samambaia, Catalão (GO)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2012.

POTTHOFF, M. *et al.* Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California. **Restoration Ecology**, Danver, v. 13, n. 1, p. 61-73, Mar. 2005.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for statistical computing, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 23 out. 2019.

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

RIBEIRO, A. I. *et al.* Diagnosis of a compacted area by mining activity, in the Amazon forest, utilizing geoestatistic methods to the mechanical resistance variable to the penetration of the soil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 83-89, jan./mar. 2006.

RIBEIRO, R. A. *et al.* Topsoil application during the rehabilitation of a manganese tailing dam increases plant taxonomic, phylogenetic and functional diversity. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 227, p. 386-394, Dec. 2018.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; BARROS, L. C. Tropical Rain Forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, n. 2/3, p. 323-333. 2004.

ROKICH, D. P. *et al.* Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. **Restoration Ecology**, Danver, v. 8, n. 2, p. 196-208, June 2000.

SÁNCHEZ, L. E. Land reclamation in Brazil: current situation and future trends. *In*: WASTE ENERGY MINERAL PRODUCTION, 2., 1992, Calgary. **Proceedings [...]**. Calgary: FGC/UL/UC, 1992. p. 129-135.

SILVA, E. P. *et al.* Evaluation of the potential of seed rain as an alternative for forest restoration in permanent preservation areas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 21-28, jan./fev. 2016.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2008. p. 69-88.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 731-740, jul./ago. 2008.

SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA (SER). **Padrões internacionais para a prática da restauração ecológica - incluindo princípios e conceitos chaves**. Washington: SER, 2016. 48 p.

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

TACEY, W. H.; GLOSSOP, B. L. Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah Forest of Western Australia. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 195-201, Apr. 1980.

TINSLEY, M. J.; SIMMONS, M. T.; WINDHAGER, S. The establishment success of native versus non-native herbaceous seed mixes on a revegetated roadside in Central Texas. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 231-240, Mar. 2006.

VIANI, R. A. G.; NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R. Transference of seedlings and aloctone young individuals as ecological restoration methodology. *In*: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (ed.). **High diversity forest restoration: methods and projects in Brazil**. New York: Nova Science, 2006. p. 145-170.

VIEIRA, D. L. M. *et al.* **Avaliação de indicadores da recomposição da vegetação nativa no distrito federal e em Mato Grosso**. São Paulo: INPUT, 2017. 29 p.

WALKER, L. R. *et al.* The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development: chronosequences, succession and soil development. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 98, n. 4, p. 725-736, July 2010.

WICKHAM, H. **ggplot2 - Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2009. 213 p.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A.; REIS, J. L. B. (coord.). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

YOUNG, T. P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, Cambridge, v. 92, p. 73-83, Jan. 2000.

APÊNDICE A- MANUAL TÉCNICO SIMPLIFICADO

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 47 de 12

1 - OBJETIVO

Apresentar um padrão da metodologia de transposição de *topsoil* para a revegetação de taludes de depósito de estéril da mineração.

2 - CAMPO DE APLICAÇÃO

Espera-se aplicar à empreendimentos de mineração, prioritariamente à minerações de fosfato, que foi a base de referência para o desenvolvimento deste Manual.

3 - DEFINIÇÕES

- **PRAD:** Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. Documento entregue ao órgão ambiental periodicamente em atendimento a legislação. Nesse documento são estabelecidas técnicas a serem utilizadas para recuperação de áreas mineiradas ou degradadas, bem como um cronograma preliminar de recuperação dessas áreas (BRASIL, 2012).
- **Recuperação de Área Degradada:** Ações aplicáveis aos diferentes compartimentos ambientais de um determinado sítio visando a sua recondução a uma condição de estabilidade física, química, biológica e socioeconômica que possibilite a auto sustentabilidade do ecossistema local, independentemente de seu estado original e de sua destinação futura (SER, 2016).
- **RAD:** Abreviação do termo “Recuperação de áreas degradadas”
- **Topsoil:** É o material resultante do decapeamento da camada superficial do solo. Caracterizada pela presença de grande quantidade de matérias de origem orgânica, predominantemente vegetal, decompostos ou em decomposição. É a primeira camada encontrada na abertura de uma cava. Nesse material, encontram-se os elementos físicos, químicos e biológicos que são importantes na ciclagem de nutrientes, reestruturação e C do solo (WILLIANS; BUGIN; REIS, 1990).

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 2 de 12

4 - METODOLOGIA

A descrição do método de aplicação de *topsoil* deve ser dividida em duas partes, sendo uma a preparação adequada da pilha de estéril para receber o material e a segunda parte as etapas em si da retirada do *topsoil* da sua área de origem até sua transposição final do próprio depósito de estéril.

4.1 - Disposição do estéril em pilhas

Para a recuperação ambiental dos taludes de estéril com o uso de *topsoil* as atividades devem se iniciar com a escolha da metodologia mais adequada de disposição deste material. O método ascendente é o recomendado para construção de pilhas, uma vez que há um planejamento na forma como o estéril é disposto, atendendo todos os requisitos de segurança e estabilidade. Pode ser feito de duas maneiras, por camadas ou bancos, conforme Figura 1.

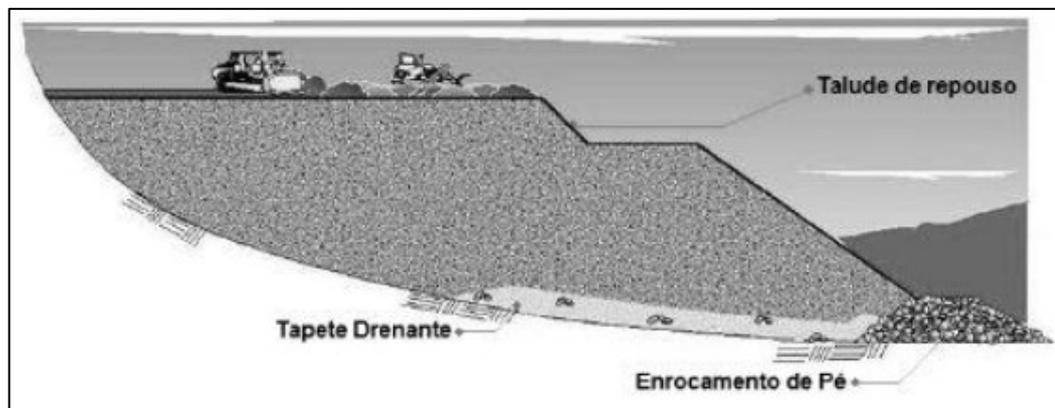


Figura 1: Construção de uma pilha pelo método ascendente.

Fonte: Freitas (2004).

Resumidamente, a formação da pilha de estéril, por este método, se dá pelo transporte e disposição de material para a área a ser alteada até que forme camadas de pequena espessura (aproximadamente de 2 a 3 m). Em sequência um trator de esteira espalha esse material, que é compactado pelo próprio tráfico de veículos sobre ele. Camadas sucessivas são formadas até que se atinja a altura planejada para o banco.

Após a formação dos bancos, os taludes são suavizados (retaludamento) para um valor menor que o ângulo de repouso do material (Figura 2). E, por fim, após a formação dos bancos e o retaludamento, são instalados dispositivos de drenagem e proteção superficial dos taludes.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 3 de 12

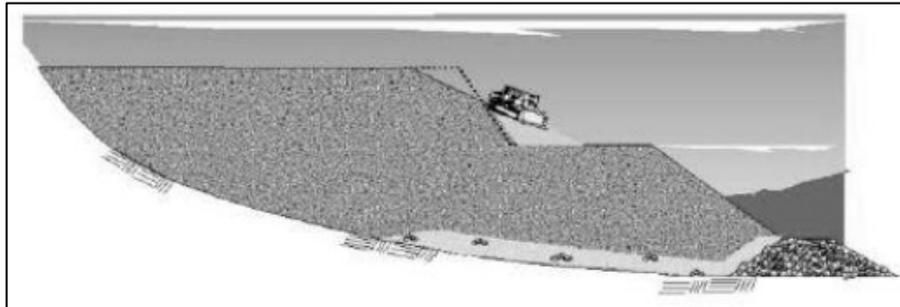


Figura 2: Retaludamento da face do banco da pilha de estéril.

Fonte: Freitas (2004).

Adicionalmente à suavização dos taludes e da implementação de dispositivos de drenagem e proteção, outra vantagem do método ascendente é que cada camada conformada é suportada pela camada inferior, o que garante maior estabilidade à estrutura. Além disso, são deixadas bermas entre cada banco, que servem como vias de acesso para monitoramento dos taludes, drenagem e suavização do ângulo do talude final da pilha, o que permite maior fixação e desenvolvimento de vegetação.

A operacionalização destas pilhas de estéril devem seguir as exigências da norma ABNT NBR 13029 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006) e dados do projeto executivo. As premissas recomendadas para o sequenciamento da pilha são listadas abaixo, no entanto esses dados técnicos dependem das características individuais de cada depósito e as recomendações de seu projetista conforme Projetos Executivos:

- Método construtivo: Ascendente
- Ângulo da face do talude individual: $26,5^\circ$ (1V:2H)
- Altura do banco: 10 m
- Largura das bermas: 7 m
- Largura dos acessos: 20 m
- Cota máxima: 1010 m (cota máxima licenciada)
- Inclinação das vias de acesso: 8%
- Densidade do estéril: 2 g/cm^3

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 4 de 12

Devido às características do estéril do empreendimento, que foi base para a elaboração deste Manual Técnico, os bancos das pilhas apresentam um ângulo de repouso na ordem de 34° a 37° (1V:1.5H). Para atendimento à norma ABNT NBR 13029 (ABNT, 2006) e garantir uma maior estabilidade da pilha, os taludes são suavizados com um trator de esteira até que atinjam um ângulo de aproximadamente $26,5^\circ$ (1V:2H).

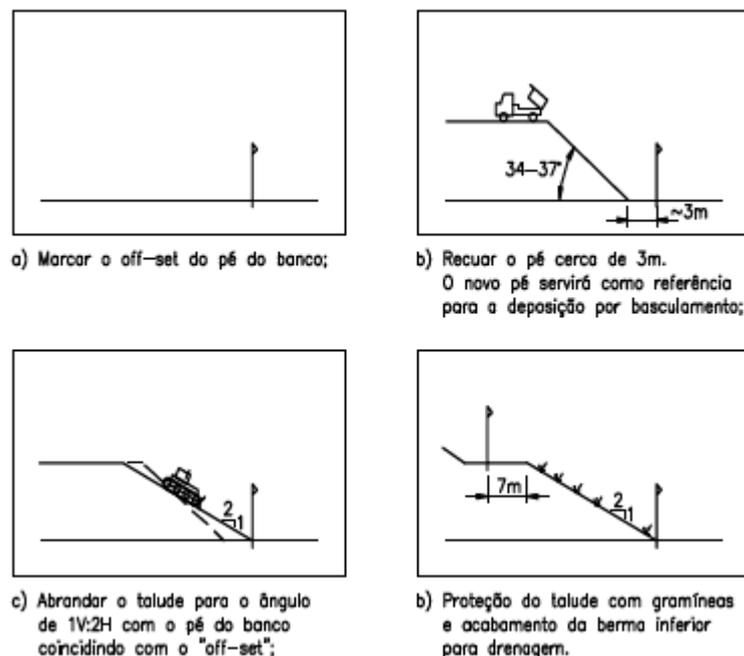


Figura 3: Procedimento de execução da Pilha de Estéril

Fonte: Projeto Geoconsultoria (GO17RT01-R0).¹

As bermas executadas com 7 metros de largura permitem o desenvolvimento das leiras de proteção e controle da drenagem das águas de chuva na própria bermas. Já as drenagens superficiais deverão apresentar declividade de 0,3 a 0,5% no sentido longitudinal e de 5% no sentido transversal do pé do talude a fim de proporcionar uma melhor condução das águas pluviais.

O layout final da pilha, de forma operacional, com vias de acesso, bancos e bermas, foi elaborado utilizando o software Studio 3.

¹ Desenho que consta no Projeto elaborado pela empresa Geoconsultoria Ltda para a construção de Depósito de Estéril.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 5 de 12

4.2 - Disposição do estéril em pilhas

4.2.1 - Definição e caracterização da área onde será retirado o *topsoil*

A definição da área onde será retirado o *topsoil* normalmente não se trata de uma escolha aleatória, sendo necessário o aproveitamento do material oriundo dos avanços da lavra da operação da mina. A Figura 4 a seguir apresenta uma foto aérea da cava da mina e do local, delimitado em amarelo, onde será avançada a cava e conseqüentemente retirado o material de *topsoil*.



Figura 4: Mina de fosfato em Catalão-GO. Destaque em amarelo do avanço de lavra.

Fonte: Lucas Fraga - ECOUP Consultoria e Soluções Ambientais

Definida a área onde será retirado o *topsoil*, a próxima etapa é a caracterização da área identificando o uso do solo e o tipo de vegetação predominante. A identificação consiste em coleta de coordenadas geográficas e registros de fotografias (se possível aéreas com uso de drone) e a caracterização é realizada levando em conta o uso do solo atual, ou seja, se é exclusivamente de pastagens, área de cerrado preservada ou uma combinação das duas.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 6 de 12

4.2.2 - Retirada do *topsoil*

Para a remoção do *topsoil* é necessário primeiramente promover a supressão vegetal das espécies com rendimento lenhoso (após devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente), ou seja, àquelas que possuem DAP acima de 15 centímetros. Toda essa lenha é cortada com o uso de motosserras e posteriormente picotadas à toras com comprimento menores.

A madeira é enleirada para posterior uso nobre dentroda própria propriedade, como por exemplo na confecção de cercas e/ou uso na recuperação de áreas degradadas, principalmente pastagens, por meio do uso dos métodos de nucleação e enriquecimento com o plantio de mudas.

Vencida a etapa da retirada da vegetação de grande porte, dá-se o início da retirada do *topsoil* com o uso de tratores de esteira alcançando uma profundidade de no máximo 50 centímetros. Sequencialmente com a remoção do *topsoil*, este material vai sendo enleirado (Figura 8) na própria área de origem para posterior transporte e aplicação, conforme detalhado nos itens seguintes.



Figura 5: Remoção e enleiramento de *topsoil*.

Fonte: Do autor (2019).

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 7 de 12

4.2.3 - Aplicação do *topsoil*

Comumente, toda operação em uma mina, que requeira abertura de novas regiões possibilita a remoção e/ou estocagem de *topsoil*. Recomenda-se que ele seja utilizado para devidos fins de maneira imediata, de forma que ele não perca suas características biológicas e umidade, que são importantes na revegetação de outras áreas. Caso não seja possível utilizar o *topsoil* de imediato, devem-se tomar alguns cuidados especiais com a estocagem desse material para que ele não perca suas características biológicas de recuperação do solo. Os pontos que requerem maior atenção na armazenagem do *topsoil* são:

- Estocar o *topsoil* na forma de leiras ou cordões. Caso se opte por usar o *topsoil* por um período superior a 5 meses, recomenda-se que as suas leiras devem ter no máximo 1,5 m de altura ou, ainda, na forma de pilhas com volume variando entre 5 m³ a 8 m³, sem ultrapassar a altura indicada para evitar compactação por sobrecarga;
- Estocar o *topsoil* por um período de no máximo 2 anos. Após este período o material é classificado como estéril também;
- Realizar o revolvimento dos estoques de *topsoil* a cada 120 dias durante o período de estocagem superiores a 5 meses com a finalidade de promover a aeração necessária à manutenção da atividade biológica;
- Evitar a compactação do depósito de *topsoil*.

O sequenciamento da aplicação do *topsoil* se dá da seguinte forma: carregamento de caminhões basculantes por máquinas pá carregadeiras no local onde o *topsoil* foi armazenado, transporte desse material pelos caminhões até o local onde será aplicado, lançamento do material pelos caminhões no talude do depósito e finalização com o espalhamento utilizando tratores de esteira, conforme Figuras 6 e 7. Tentar-se-á manter uma camada de *topsoil* homogênea em todo o talude com uma espessura entre 15 e 30 cm.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 8 de 12



Figura 6: Lançamento de *topsoil* no talude da Pilha de Estéril.
Fonte: Vandeir Toledo.



Figura 7: Talude da Pilha de Estéril com aplicação de *topsoil*.
Fonte: Vandeir Toledo.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 9 de 12

4.2.4 - Monitoramento do desenvolvimento da vegetação

Após a aplicação do *topsoil* a continuação do método se dá por meio de monitoramento da evolução do desenvolvimento vegetal. São realizadas inspeções técnicas mensais que inclui registros fotográficos e avaliações de possíveis surgimentos de erosões.

A medição e monitoramento da evolução da recuperação ambiental após a aplicação do *topsoil* é realizada de três formas:

- Análise histórica de imagens de satélites

O objetivo desta análise é apresentar a evolução tanto do próprio depósito de estéril quanto também a recuperação ambiental de seus taludes. Isso permite visualizar em um espaço de tempo maior como se comporta este tipo de estrutura. A metodologia para fazer esse levantamento é o uso da área do depósito já georreferenciada e lançada no software Google Earth Pro. Após *uploading* desta área no software, o mesmo permite visualizar o histórico de imagens disponíveis deste mesmo local.



Figura 8: Sequência de imagens de satélite da evolução de uma Pilha de Estéril (2013, 2016 e 2018 respectivamente).

Fonte: Google Earth Pro adaptado pelo autor (2019).

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 10 de 12

- Monitoramento fotográfico mensal

O objetivo deste monitoramento é permitir o acompanhamento visual da evolução da área em reabilitação. A metodologia trata simplesmente de registrar com fotografias, utilizando máquina fotográfica ou mesmo celular com câmera de resolução acima de 10 mega pixes, o desenvolvimento da vegetação após a aplicação do *topsoil*. Os registros ocorrem mensalmente e são utilizadas para priorizar ações de enriquecimento nas áreas com menor desenvolvimento vegetal. A Figura 9 apresenta um exemplo de imagens de outubro de 2017 até abril de 2018.



Figura 9: Sequência de fotos do depósito de estéril: Acima/Esquerda Outubro/2017, Acima/Direita Dezembro/2017, Abaixo/Esquerda Março/2018 e Abaixo/Direita Abril/2018. Fonte: Vandeir Toledo.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 11 de 12

- Inventário florestal da área recuperada

O inventário florestal é realizado de forma amostral, definindo uma frente do depósito e determinando quadrantes com dimensões pré definidas. O método a ser utilizado deve ser escolhido pelo profissional habilitado para executar o serviço, considerando pelo menos as variáveis de porcentagem de cobertura, quantidade de espécies identificadas, origem (nativa e exótica) e forma de vida (erva/liana, arbusto/subarbusto e árvore).

5 - INDICADORES

Anualmente, a área de planejamento de lavra deve realizar o sequenciamento dos depósitos de estéril com base no projeto entregue pela área de geotecnia. O sequenciamento dos depósitos é fundamental e permitirá estimar a quantidade de hectares a ser reabilitada anualmente. De posse dessa informação, será possível a emissão dos indicadores.

Periodicamente deve-se emitir indicadores para acompanhamento da evolução das atividades de RAD. Os indicadores podem ser qualitativos e/ou quantitativos, que permitam verificar a eficácia dos tratamentos realizados nos distintos taludes em recuperação.

Esta atividade tem por objetivo possibilitar a correção das estratégias e/ou operações executadas, caso sejam constatados desvios expressivos nos resultados prognosticados, gerando ainda evidências documentais sobre a execução das mesmas.

Os indicadores mínimos recomendados são:

- Área recuperada por ano (hectares)
- Cumprimento do Plano de Recuperação (área a ser recuperada prevista x área recuperada hectares)

Para questões de padronização e melhor uso dos indicadores, as áreas em que o *topsoil* for aplicado são consideradas como recuperadas, desde que sigam a metodologia recomendada por esse procedimento.

Manual Técnico Simplificado

Transposição de *topsoil* para recuperação de taludes de depósito de estéril

Pág.: 12 de 12

No relatório de emissão de indicadores deve ser contemplado o registro documental, textual e fotográfico dos trabalhos realizados, buscando usar pontos de referência e/ou enquadramento permanente das áreas recuperadas ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento.

O monitoramento das frentes em recuperação deverá ser realizado até que se possa constatar a efetividade de todos os processos e não por um período em específico. A suspensão das atividades de monitoramento das áreas em recuperação deverá ser precedida da elaboração de relatório técnico gerado por profissional habilitado atestando que a área está devidamente recuperada.

6 - REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1998. p. 15-26.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Mechanical and biological chiseling to reduce compaction of a sandy loam alfisol under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, jun. 2004.
- ALMEIDA, A. D. **Uso da camada superficial de solo na revegetação do estéril de extração de granito**. 2006. Tese (Doutorado em Plantas e Nutrição do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ANDERSON, D. R.; BURNHAM, K. P. Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. **The Journal of Wildlife Management**, New York, v. 66 n. 3, p. 912-918, July 2002.
- ANDRÉS, P.; JORBA, M. Mitigation strategies in some motorway embankments (Catalonia, Spain). **Restoration Ecology**, Danver, v. 8, n. 3, p. 268-275, Sept. 2000.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.
- ARONSON, J.; DURINGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, n. 44, p. 1-38, ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13029**: coletânea de normas de mineração e meio ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 7 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**: 2014. São Paulo: ANDA, 2014. 176 p.

BAHRAM, M. Structure and function of the global *topsoil* Microbiome. **Nature**, London, v. 560, n. 7717, p. 233-237, Aug. 2018.

BECHARA, F. C. *et al.* Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 9-11, jul. 2007. Suplemento 1.

BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras**: floresta estacional semidecidual, cerrado e restinga. 2006. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BELLINGHAM, P. J.; SPARROW, A. D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. **Oikos**, Copenhagen, v. 89, n. 2, p. 409-416, May 2000.

BOCHET, E.; GARCÍA-FAYOS, P. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. **Restoration Ecology**, Danver, v. 12, n. 2, p. 166-174, June 2004.

BRADSHAW, A. D. Underlying principles of restoration. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 53, p. 3-9, 1996. Supplement 1.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 out. 1988. Seção 10, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial d União**, Brasília, DF, 12 abr. 1989.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* Funções múltiplas das florestas: conservação e recuperação do meio ambiente. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]**. Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. v. 1, p. 113-118.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 3177-3190, Oct. 2014.

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

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CAETANO, R. S. X. Soil seed banks. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, nesp., p. 74-78, ago. 1998.

COLE, R.; HOLL, K.; ZAHAWI, R. Seed rain under tree islands planted to restore degraded land in a tropical agricultural landscape. **Ecological Applications**, Tempe, v. 5, n. 20, p. 1255-1269, July 2010.

DENSLOW, J. S.; GOMEZ DIAZ, A. E. Seed rain to tree-fall gaps in a Neotropical rain forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 20, n. 5, p. 642-648, Feb. 1990.

DIAMOND, J. M. **Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. 5. ed. Rio de Janeiro: Record, 2007. 683 p.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1998. p. 1-8.

DONAGEMA, G. K. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011. 230 p.

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

FENGLER, F. H. *et al.* Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: a new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 108, p. 93-99, Nov. 2017.

FERREIRA, M. C. **Dinâmica da regeneração natural de áreas em restauração pela transposição de solo superficial de cerrado e de floresta estacional**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FERREIRA, M. C.; WALTER, B. M. T.; VIEIRA, D. L. M. *Topsoil* translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. **Restoration Ecology**, Danver, v. 23, n. 6, 723-728, Nov. 2015.

FINEGAN, B. Forest succession. **Nature**, London, v. 312, n. 5990, p. 109-114, 1984.

FREITAS, M. A. **Apostila sobre formação de pilha de estéril e rejeito**. Belo Horizonte: Ed. IETEC, 2004. 17 p.

GALETI, P. A. **Conservação do solo-reflorestamento-clima**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 286 p.

GASTAUER, M. *et al.* Mine land rehabilitation in Brazil: goals and techniques in the context of legal requirements. **Ambio**, Oslo, v. 48, n. 1, p. 74-88, Jan. 2019.

GHAZOUL, J. *et al.* Conceptualizing forest degradation. **Trends in Ecology & Evolution**, Barking, v. 30, n. 10, p. 622-632, Oct. 2015.

GISLER, V. T. **O uso da serrapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de Bauxita, Poços de Caldas, MG.** 1995. Dissertação (Mestrado de Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. **Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Ecosystem.** Reta: Pollination and Seed Dispersal, 2006. v. 2, 383 p.

GRANT, C. D. State-and-transition successional model for bauxite mining rehabilitation in the jarrah forest of Western Australia. **Restoration Ecology**, Danver, v. 14, n. 1, p. 28-37, Mar. 2006.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 148, n. 1/3, p. 185-206, July 2001.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, May 2011.

HUBBELL, S. P. *et al.* Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. **Science**, New York, v. 283, n. 5401, p. 554-557, Jan. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015.** Brasília: IBRAM, 2015. 25 p.

JAKOVAC, A. C. C. **O uso do banco de sementes florestal contido no *topsoil* como estratégia de recuperação de áreas degradadas.** 2007. Dissertação (Mestrado em Biologia Florestal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020.** Rio de Janeiro: Jardim Botânico, 2019. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2019.

JESUS, R. M.; ROLIM, S. G. Experiências relevantes na restauração da Mata Atlântica. *In:* GALVÃO, A. P. M.; SILVA, W. P. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso.** Colombo: Embrapa Floresta, 2005. p. 59-86.

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

KLIMEŠOVÁ, J.; KLIMEŠ, L. Bud banks and their role in vegetative regeneration: a literature review and proposal for simple classification and assessment. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 8, n. 3, p. 115-129, Mar. 2007.

KOCH, J. M.; WARD, S. C. Establishment of understorey vegetation for rehabilitation of bauxite-mined areas in the jarrah forest of Western Australia. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 41, n. 1, p. 1-15, May 1994.

LOPES, S. F. *et al.* Canopy stratification in tropical seasonal forests: how the functional traits of community change among the layers. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1551-1562, set./out. 2014.

MAMEDE, L.; NASCIMENTO, M. A. L. S.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. *In*: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil. Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981. p. 301-376.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2009. 270 p.

OLIVEIRA, S. L. **Ampliação do Depósito Lobo Guará - Projeto Executivo.** São Paulo: Geoconsultoria, 2011. GO17RT01-Rev.0

OZÓRIO, T. F. **Potencial do uso da serapilheira em áreas degradadas pela mineração de ferro.** 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PARROTA, J. A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 115-133, July 1992.

PETERSEN, S. L.; ROUNDY, B. A.; BRYANT, R. M. Revegetation methods for high elevation roadsides at Bryce Canyon National Park. **Restoration Ecology**, Danver, v. 12, n. 2, p. 248-257, June 2004.

PORTO, K. G. **Consequências do uso do solo nas áreas de vegetação ciliar sobre a qualidade da água no Ribeirão Samambaia, Catalão (GO).** 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2012.

POTTHOFF, M. *et al.* Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California. **Restoration Ecology**, Danver, v. 13, n. 1, p. 61-73, Mar. 2005.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Viena: R Foundation for statistical computing, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 23 out. 2019.

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

RIBEIRO, A. I. *et al.* Diagnosis of a compacted area by mining activity, in the Amazon forest, utilizing geoestatistic methods to the mechanical resistance variable to the penetration of the soil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 83-89, jan./mar. 2006.

RIBEIRO, R. A. *et al.* Topsoil application during the rehabilitation of a manganese tailing dam increases plant taxonomic, phylogenetic and functional diversity. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 227, p. 386-394, Dec. 2018.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; BARROS, L. C. Tropical Rain Forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, n. 2/3, p. 323-333. 2004.

ROKICH, D. P. *et al.* Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. **Restoration Ecology**, Danver, v. 8, n. 2, p. 196-208, June 2000.

SÁNCHEZ, L. E. Land reclamation in Brazil: current situation and future trends. *In*: WASTE ENERGY MINERAL PRODUCTION, 2., 1992, Calgary. **Proceedings [...]**. Calgary: FGC/UL/UC, 1992. p. 129-135.

SILVA, E. P. *et al.* Evaluation of the potential of seed rain as an alternative for forest restoration in permanent preservation areas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 21-28, jan./fev. 2016.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2008. p. 69-88.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 731-740, jul./ago. 2008.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA (SER). **Padrões internacionais para a prática da restauração ecológica - incluindo princípios e conceitos chaves**. Washington: SER, 2016. 48 p.

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

TACEY, W. H.; GLOSSOP, B. L. Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah Forest of Western Australia. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 195-201, Apr. 1980.

TINSLEY, M. J.; SIMMONS, M. T.; WINDHAGER, S. The establishment success of native versus non-native herbaceous seed mixes on a revegetated roadside in Central Texas. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 231-240, Mar. 2006.

VIANI, R. A. G.; NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R. Transference of seedlings and aloctone young individuals as ecological restoration methodology. *In*: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (ed.). **High diversity forest restoration: methods and projects in Brazil**. New York: Nova Science, 2006. p. 145-170.

VIEIRA, D. L. M. *et al.* **Avaliação de indicadores da recomposição da vegetação nativa no distrito federal e em Mato Grosso**. São Paulo: INPUT, 2017. 29 p.

WALKER, L. R. *et al.* The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development: chronosequences, succession and soil development. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 98, n. 4, p. 725-736, July 2010.

WICKHAM, H. **ggplot2 - Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2009. 213 p.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A.; REIS, J. L. B. (coord.). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

YOUNG, T. P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, Cambridge, v. 92, p. 73-83, Jan. 2000.