

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GIOVANNA SANTOS DE DEUS

**PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE CASCALHO – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Uberlândia

2024

GIOVANNA SANTOS DE DEUS

**PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE CASCALHO – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental

Área de concentração: Recuperação de Áreas
Degradadas

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Tatiane Pereira Santos
Assis

Uberlândia

2024

GIOVANNA SANTOS DE DEUS

**PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE CASCALHO – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental

Área de concentração: Recuperação de Áreas
Degradadas

Uberlândia, 20 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Tatiane Pereira Santos Assis – (ICIAG - UFU)

Dr^ª. Helaine Maria Naves dos Santos – Geógrafa (UFU)

M^a. Lara Luiza Silva – (IG-UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que foi a minha base e que me manteve forte para que pudesse enfrentar os obstáculos ao longo do caminho e alcançar os meus objetivos.

Aos meus pais, Zileide Borges Santos de Deus e José Carlos de Deus Júnior, que foram responsáveis por um apoio incondicional, nunca medindo esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos e por sempre mostrarem o caminho certo a seguir.

Ao meu namorado, João Marcelo de Lima Alves, por sempre acreditar em mim e por caminhar ao meu lado durante todo o tempo.

Aos profissionais da área de meio ambiente com quem pude trabalhar, por compartilharem seus conhecimentos e vivências na área ambiental, além de todo apoio e confiança que me passaram.

Aos professores, por todos os ensinamentos, contribuições e orientações valiosas durante todos esses anos.

Aos amigos de longa data e aos que fiz na faculdade, por tornarem os dias mais leves e me acompanharem nesta caminhada.

RESUMO

O presente trabalho apresenta as principais técnicas utilizadas nos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRADs, com foco em áreas de extração de cascalho, já que a atividade minerária em um contexto geral é muito ampla e existem vários tipos de minerais. Visto isso, cada um é extraído de uma forma e gera impactos e tipos de degradações diferentes. A extração de cascalho afeta principalmente a qualidade do solo e sua topografia, a vegetação que precisa ser suprimida, a hidrografia, devido principalmente ao carreamento de sedimentos e a qualidade do ar com a emissão de material particulado, como a poeira. O licenciamento ambiental, disposto em leis e normas no âmbito federal, estadual e municipal, é uma forma de prevenir e mitigar esses impactos ambientais negativos. Quando não é possível evitar tais impactos é necessário intervir com técnicas de recuperação, como a recomposição da topografia, que pode ser realizada através de medidas de retaludamento, terraceamento, paliçadas, entre outras; o preparo do solo, por meio de controle de formigas, escarificação, coveamento, adubação, etc.; a revegetação, que consiste na introdução de plantas nativas ou criação de uma área propícia à regeneração natural e por fim, o monitoramento e a manutenção da área para garantir o sucesso do plano. É necessário estudar a área de interesse e analisar o nível de degradação para que as técnicas de recuperação sejam aplicadas de acordo com as características e necessidade do local.

Palavras-chave: mineração; impactos; recomposição; revegetação.

ABSTRACT

The present work presents the main techniques used in Degraded Area Recovery Plans (PRADs), focusing on gravel extraction areas, as mining activities in general are very broad, involving various types of minerals. Each mineral is extracted in a specific way, causing different impacts and types of degradation. Gravel extraction mainly affects soil quality and topography, vegetation that needs to be removed, hydrography due to sediment runoff, and air quality due to particulate matter emissions, such as dust. Environmental licensing, governed by federal, state, and municipal laws and regulations, is a way to prevent and mitigate these negative environmental impacts. When it is not possible to avoid such impacts, it is necessary to intervene with recovery techniques, such as topographic restoration, which can be achieved through slope stabilization, terracing, palisades, among others; soil preparation, through ant control, scarification, pitting, fertilization, etc.; revegetation, which involves introducing native plants or creating a suitable area for natural regeneration; and, finally, monitoring and maintaining the area to ensure the plan's success. It is essential to study the area of interest and analyze the level of degradation so that recovery techniques are applied according to the characteristics and needs of the location.

Keywords: mining; impacts; restoration; revegetation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	METODOLOGIA.....	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	12
3.1	Avaliação qualitativa dos impactos ambientais negativos	12
3.2	Legislações ambientais pertinentes	16
3.2.1	Federais	17
3.2.2	Estaduais	19
3.3	Técnicas de recuperação das áreas degradadas.....	20
3.3.1	Recomposição topográfica	20
3.3.2	Preparo do solo	25
3.3.3	Revegetação.....	28
3.3.4	Monitoramento e manutenção	34
4	CONCLUSÃO.....	36
5	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Barreto (2001), ao contrário de outros setores produtivos, a atividade mineral tem como fundamento a extração direta de recursos naturais, enquanto os demais segmentos os empregam e incorporam em seus processos produtivos. Ainda que tais recursos possam ser utilizados como insumos auxiliares em determinadas etapas produtivas, o objetivo principal da mineração permanece sendo a obtenção desses materiais em sua forma natural. Esses recursos são, em geral, classificados como não renováveis, uma vez que sua formação geológica demanda milhões de anos. No entanto, essa categorização pode ser objeto de debate. Assim sendo, a recuperação da área degradada por essa atividade torna-se mais complexa, já que se for levado em consideração o princípio da reconstituição, como os minerais foram retirados, estes demandariam vários anos para serem repostos.

A extração de cascalho pode acarretar vários impactos negativos para o meio ambiente e alguns dos mais notáveis são a perda da cobertura vegetal, os processos erosivos do solo, o assoreamento de cursos d'água próximos às áreas de extração, a desconfiguração da paisagem, entre outros, e esses impactos podem oferecer muitos riscos em relação ao solo, água, vegetação, fauna e atmosfera. Além das significativas alterações na paisagem natural, já foi observado que a exploração mineral impacta significativamente na cobertura vegetal local, que consequentemente acarreta os outros impactos. Portanto, torna-se imprescindível uma gestão integrada e participativa que envolva órgãos responsáveis pela política ambiental, representantes da sociedade e a comunidade local para que as ações de recuperação ambiental das áreas impactadas sejam efetivas (Durães *et al.*, 2017).

Estudos mostram que as variações do ambiente e os impactos adquiridos da atividade minerária influenciam muito na capacidade de retomada da sucessão nessas áreas, por isso faz-se necessário a interferência do homem através de projetos de restauração ou recuperação. Para recuperar essas áreas é preciso levar em consideração várias técnicas, como por exemplo a revegetação, que deve priorizar espécies vegetais indicadoras que têm grande importância ecológica e estrutural no desenvolvimento destas áreas, além de outras técnicas que contribuem significativamente para a melhoria desses locais (Pereira *et al.*, 2015). As medidas de recuperação são abordadas nos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRADs, que são considerados instrumentos muito valiosos para a mitigação dos impactos negativos causados pela atividade minerária no meio ambiente e à população próxima. Dessa forma, a recuperação de áreas degradadas propicia a geração de benefícios ao meio impactado e à própria sociedade,

já que assume o restabelecimento ou aprimoração das características originais do ecossistema degradado pela prática da mineração (Souza *et al.*, 2016).

A mineração tem a sua importância e faz parte dos setores básicos da economia brasileira, podendo contribuir com a melhoria na qualidade de vida de algumas pessoas, contanto que seja operada com responsabilidade social, considerando sempre os preceitos do desenvolvimento sustentável. Visto isso, já foi considerada como atividade essencial para o avanço social e econômico de vários países, já que os recursos minerais são essenciais na vida moderna (Farias, 2002). Embora a mineração possa gerar impactos ambientais significativos, sua realização precisa atender as demandas da indústria, que utiliza esses recursos para produzir bens de alta qualidade, transformando minerais brutos em produtos sofisticados (Resende, 2007). Apesar de ser frequentemente associada a questões negativas do ponto de vista da sustentabilidade, essa atividade pode ser conduzida de maneira responsável por meio do licenciamento ambiental, processo este que permite, ao término da extração, que as áreas impactadas passem por um processo adequado de recuperação ambiental, respaldado pela análise e aprovação do Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD. Tal abordagem aumenta as chances de restabelecimento das condições vegetais e topográficas das áreas afetadas (Moura, 2023).

Embora uma parte da população acredite que atividades minerárias de pequeno porte não necessitam de licenciamento ambiental, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978 as consideram altamente impactantes ao meio ambiente, portanto são passíveis de licenciamento e o que é levado em consideração é o fato de que a atividade mineral provoca impactos à medida que há remoção dos materiais. Locais nos quais as extrações são ilegais precisam ser impedidos de operar, pois não tem por parte do empreendedor um comprometimento com a recuperação do meio degradado, agravando ainda mais os impactos causados, como a dinâmica do local, a descaracterização do relevo e a perda de fauna e flora, que poderiam ser solucionadas através da recuperação da área, com as técnicas e projetos elaborados para esse fim. Logo, tanto as extrações ilegais como as legais causam impactos negativos, porém os responsáveis pelas áreas legalizadas têm o compromisso de recuperar esses ambientes, a fim de evitar e reduzir problemas futuros, enquanto os ilegais não assumem essa responsabilidade (Resende, 2007). Assim, o objetivo principal deste trabalho foi apresentar, através de uma revisão da literatura e análise de conteúdos técnico-científicos, as principais técnicas a serem aplicadas na recuperação de áreas degradadas pela extração de cascalho, que permitem minimizar os impactos negativos causados pela atividade e contribuir com a estabilidade do meio ambiente, assim como para a recomposição do mesmo.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de identificar e apresentar as principais técnicas utilizadas na recuperação dessas áreas degradadas pela extração de cascalho, foi realizada uma abordagem qualitativa e adotada como instrumento a revisão bibliográfica e consulta em estudos científicos, como artigos de periódicos e livros relacionados à mineração e às técnicas de recuperação das áreas impactadas por ela, além das legislações ambientais pertinentes. Partiu-se de questões como: quais são os impactos causados pela extração de cascalho e quais as principais técnicas utilizadas na recuperação de áreas degradadas, para então obter os resultados deste trabalho.

A primeira base de dados digitais utilizada foi a Scientific Electronic Library Online - SciELO, biblioteca eletrônica composta por uma coleção selecionada de periódicos científicos. As pesquisas também foram realizadas através de palavras-chave em inglês, como ("mineral" AND "extraction") e ("gravel") bem como utilizando o método booleano (AND, OR e NOT) a fim de aumentar a amplitude dos resultados. A *Web of Science* foi outra plataforma que contribuiu para a seleção de artigos, que consiste em uma base de dados multidisciplinar que contém estudos de revistas científicas publicadas em todo o mundo, sendo as pesquisas realizadas também com palavras-chave em inglês.

Ademais, foi utilizado o Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, que reúne as publicações de periódicos científicos que são produzidos e editados na Universidade, sendo o Sistema de Bibliotecas da UFU o responsável pelo acompanhamento e avaliação do fluxo editorial. Por fim, foi consultado também o Google Acadêmico com o intuito de obter maior número de estudos relacionados ao tema, porém houve critério de exclusão, optando, preferencialmente, por artigos científicos.

A primeira fase consistiu na identificação dos trabalhos, ou seja, em ler os títulos encontrados e após vasta pesquisa era realizada a leitura dos resumos e conclusões. Caso fossem aprovados, seria realizada uma análise mais criteriosa acerca do tema, analisando resultados e discussões, e concluindo se eram adequados para o uso no trabalho em questão. Com isso, foi possível filtrar os resultados e obter um número menor de estudos, porém mais específicos.

Como critério de inclusão, foi proposta para a seleção de artigos, tanto nacionais quanto internacionais, a data de publicação dos anos de 2010 a 2024 com o intuito de obter resultados mais atuais, que considerassem a evolução das técnicas utilizadas para a recuperação de áreas degradadas. Porém, para melhor entendimento e contextualização de alguns subtemas e obtenção de um número maior de trabalhos, foi necessário realizar buscas nas mesmas bases de

dados digitais considerando datas de publicações com um período de tempo maior, dos anos 2000 a 2024.

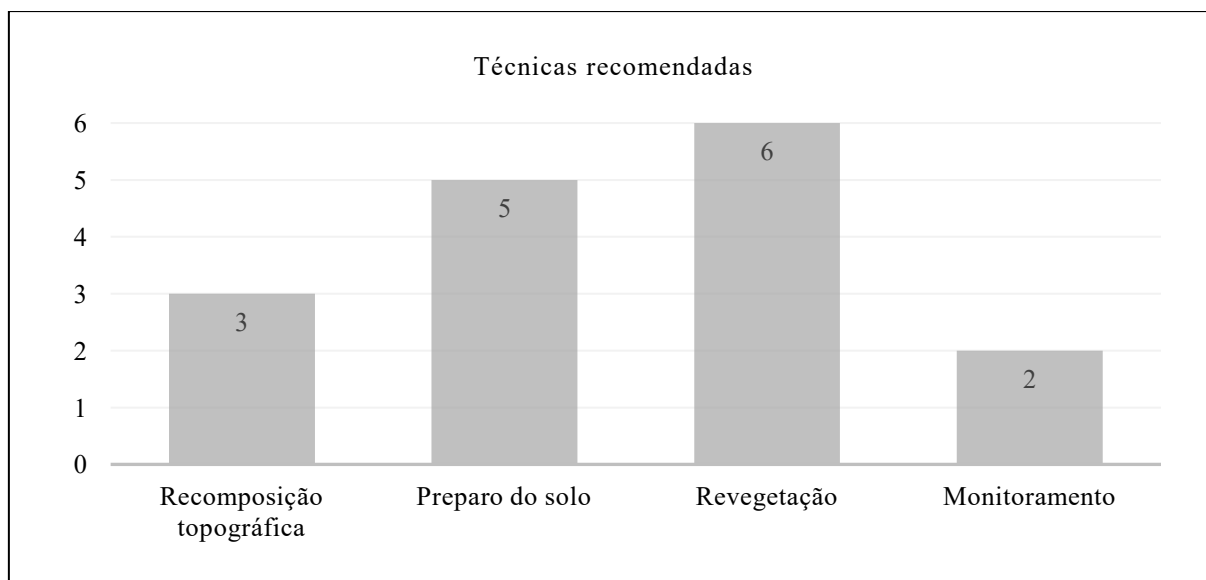
Com o intuito de selecionar técnicas mais específicas para áreas degradadas pela extração de cascalho, utilizou-se de seis estudos específicos (Tabela 1) e posteriormente o conteúdo dessas técnicas foi sendo complementado a partir de outros artigos. No Gráfico 1 é possível observar quantas vezes cada técnica foi citada dentro desses seis estudos.

Tabela 1 – Estudos selecionados contendo as técnicas de recuperação pela extração de cascalho

Autor	Título	Ano
CARVALHEIRA, M. S.	Avaliação do estabelecimento de espécies de cerrado sentido restrito, a partir do plantio direto de sementes na recuperação de uma cascalheira na Fazenda Água Limpa - UNB	2007
DE SOUZA SOARES, A. S. <i>et al.</i>	Projeto de recuperação de uma cascalheira no Município de Conceição do Araguaia/PA	2013
LAVINA, L. N. <i>et al.</i>	Proposta de um plano de recuperação de área degradada por atividade de mineração	2016
SILVA, I. A.; CAMPAGNA, A. R. & LIPP-NISSINEN, K. H.	Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos	2018
TERAN, F. J. C. <i>et al.</i>	Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal	2022
RODRIGUES, S. C.; CONFESSOR, J. G. & PEREIRA, J. S.	Técnicas de manejo voltadas à recuperação de áreas degradadas por erosão: Análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda Experimental do Campus Glória - UFU	2023

Fonte: A autora (2024).

Gráfico 1 – Quantidade de vezes que cada técnica foi citada dentro dos estudos selecionados



Fonte: A autora (2024).

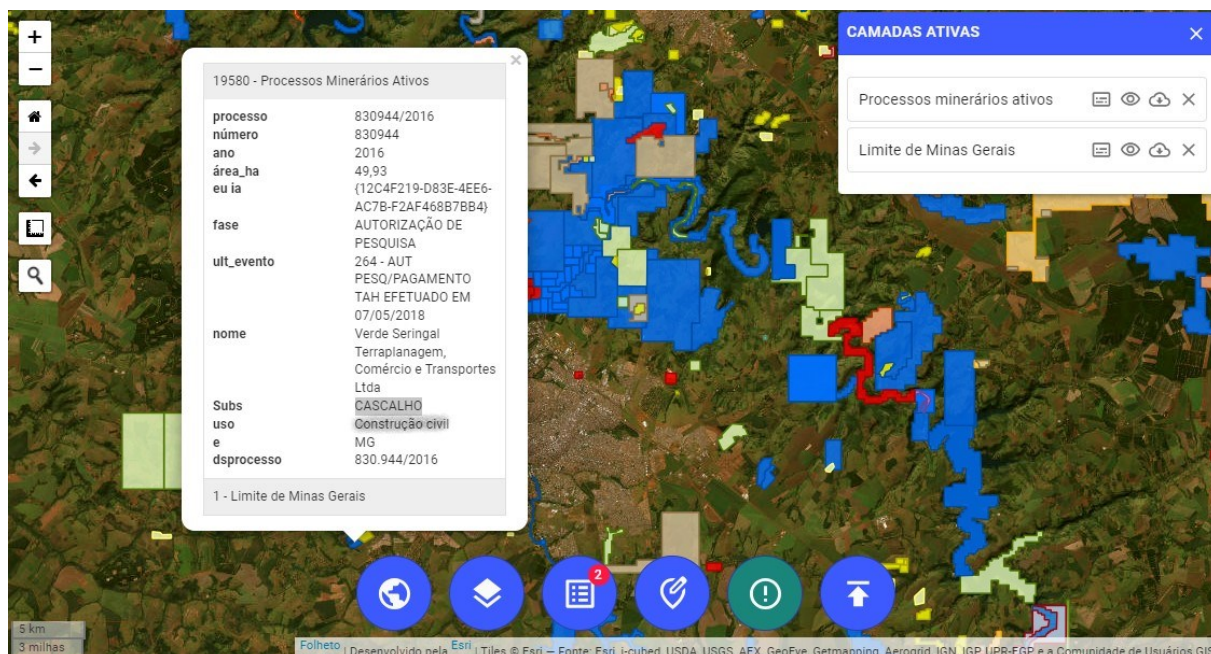
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação qualitativa dos impactos ambientais negativos

A Agência Nacional de Mineração – ANM é responsável pelo setor da mineração e tem como principal função elaborar regras e incentivos nesta esfera. Nesse sentido, existem muitas legislações e normas específicas que permitem o correto desenvolvimento das atividades de extração de minerais, que leva em consideração os empreendedores, o governo e aqueles afetados pela atividade minerária (Brasil, 2024).

É possível consultar em bases de dados públicas se determinado empreendimento está em cumprimento com suas responsabilidades legais, de modo a prevenir e mitigar seus impactos ambientais. Através da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos IDE-Sisema, plataforma que armazena dados ambientais do estado de Minas Gerais, podem ser consultados os processos minerários legalizados pela Agência Nacional de Mineração – ANM dentro do território mineiro (Figura 1). Para a consulta do licenciamento ambiental do estado de Minas Gerais é utilizado o próprio *site* da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD na área de consulta de decisões de processo de licenciamento ambiental, sendo esta realizada por meio do nome do empreendimento, Município, número do processo ou através de outras informações. Quanto às autorizações a nível municipal, dependem da legislação elaborada e utilizada por cada Município.

Figura 1 – Pesquisa dos processos minerários ativos e legalizados pela ANM no Município de Uberlândia-MG através da plataforma de dados ambientais IDE-Sisema



Fonte: SISEMA (2024).

Segundo Mechi e Sanches (2010), a mineração pode causar impactos danosos no equilíbrio dos ecossistemas, como a redução ou destruição de habitats, o afugentamento da fauna, morte de espécies animais e vegetais, desfiguração da paisagem, entre outros. Ademais, existem aqueles relacionados ao meio antrópico, que resultam em desconforto ambiental e impacto à saúde devido à poluição do ar, água e/ou solo. A prevenção e mitigação desses impactos ambientais negativos causados pela atividade minerária é realizada através do licenciamento ambiental, que com base na legislação e no planejamento do empreendimento, pode exigir estudos e documentos como o Estudo de Impacto Ambiental – EIA, o Relatório de Impacto Ambiental – Rima, o Plano de Controle Ambiental – PCA, o Relatório de Controle Ambiental – RCA, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD, entre outros, que garantem a recuperação dessas áreas impactadas.

O desmate ou a deterioração do solo é considerado degradação ou perturbação, de acordo com a intensidade do dano. A degradação é quando o ambiente não se recupera de forma espontânea em um determinado período de tempo e necessita de intervenção humana através da aplicação de técnicas de recuperação, já a perturbação é quando o ambiente mantém a sua resiliência, ou seja, quando preserva a sua capacidade de regeneração natural, todavia ainda é possível buscar a intervenção humana para acelerar o processo de recuperação (Corrêa, 2007).

A prática da mineração de cascalho causa impactos ambientais e os seguintes meios são afetados:

Topografia e qualidade do solo

Além da mineração alterar a forma da paisagem, causa compactação dos horizontes superficiais do solo, o que posteriormente impede o estabelecimento da vegetação. Portanto, torna-se imprescindível o manejo correto da topografia e seu substrato, para então evoluir as condições biológicas e químicas da área minerada (Corrêa, 2007).

Ainda de acordo com Corrêa (2007), solos de regiões tropicais caracterizadas por média e alta pluviosidade, são mais propensos a ter erosão quando a vegetação é retirada do ambiente e essa situação é agravada devido aos períodos, de seca e chuvas, serem bem definidos no bioma Cerrado. Existem algumas formas de erosão hídrica que são provocadas após a extração de minerais, como a laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas, sendo que a laminar precede a erosão em sulcos e que a erosão das ravinas resulta nas voçorocas.

Erosão laminar: de acordo com Franco (2015), esse tipo de erosão se caracteriza pela perda uniforme de porções do solo ao longo de sua superfície, ou seja, consiste em uma perda mais superficial que é causada pelo escoamento da água que arrasta as partículas menores e mais superficiais.

Erosão em sulcos: tem como principal característica a formação de sulcos nas falhas do terreno nas quais o escoamento superficial torna-se mais abundante, o que altera a parte superficial do solo formando as depressões e irregularidades na terra, visto que o volume e a velocidade da água se tornam maiores nesses espaços (Franco, 2015).

Ravinas: se formam a partir do aumento da extensão dos sulcos resultante da ação contínua do escoamento superficial e isso as diferenciam das voçorocas, ou seja, estas possuem o mesmo comportamento dos sulcos, porém com maiores dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dessas irregularidades (Lafayette; Cantalice; Coutinho, 2011).

Voçorocas: segundo Corrêa (2007), consistem em um caso extremo de erosão nas áreas de mineração as quais são resultantes da passagem de grande volume de água que alarga e aprofunda ravinas e ao alcançarem o lençol freático, tornam-se voçorocas, que por sua vez são mais complexas de serem recuperadas, pois demandam obras civis e impedem a regeneração natural das espécies vegetais.

Qualidade do ar

A prática da extração mineral contribui com a poluição do ar devido à emissão de materiais particulados que ficam suspensos na atmosfera. Esses materiais geralmente são emitidos devido à própria atividade de lavra, mas também através do beneficiamento e transporte (Mechi; Sanches, 2010). A poeira oriunda da atividade de mineração muitas vezes é considerada quimicamente inerte e pode ser gerada através de várias fontes, como carregamento, transporte, limpeza da área, entre outros. Contudo, o controle de gestão de qualidade do ar nessas áreas é de difícil realização, pois devido à complexidade e variabilidade das operações na mineração, torna-se inviável determinar com segurança taxas de emissões de poeira fina em suspensão (Schwegler, 2006).

Vegetação

Segundo Mechi e Sanches (2010), praticamente toda atividade mineral acarreta na supressão de vegetação, além de impedir a regeneração natural. À vista disso, essa retirada causa impactos na vida animal local, pois a fauna e a flora têm suas interações e formam uma complexa rede que permite manter suas relações e produzir componentes utilizados na cadeia alimentar, portanto, existe dentro desse ecossistema uma organização dos organismos animais e vegetais que se mantêm em equilíbrio (Aumond, 2007). As perturbações causadas pela retirada de vegetação na atividade de extração de cascalho causam o afugentamento da fauna, que busca outros locais para sobrevivência e por isso é necessário a realização dos planos de recuperação, que permite que a flora e a fauna habitem novamente a área (De Souza Soares, 2013). A retirada da cobertura vegetal propicia a erosão causada pela precipitação, pois os solos do Cerrado já são susceptíveis a esse impacto (Corrêa, 2007). Com a extração do cascalho e o consequente desmatamento da área, o solo torna-se exposto e favorece os processos erosivos, que podem evoluir para ravinas e até mesmo voçorocas com grandes dimensões ao longo do tempo caso não haja interferência para aplicação das técnicas de recuperação (Durães *et al.*, 2017). E além da exploração de recursos minerais contribuir com a destruição da vegetação nativa na área em questão, pode facilitar também o aparecimento e desenvolvimento de espécies exóticas (Hetmański; Jarosiewicz; Jankowiak, 2023).

Hidrografia

De acordo com Corrêa (2007), as áreas mineradas normalmente apresentam o desenvolvimento de ravinas e voçorocas, que além de provocarem os impactos na topografia,

também contribuem para o assoreamento dos corpos hídricos. A chuva é outro fenômeno, que quando atinge e passa pelos substratos desnudos, desagrega as partículas do solo e provoca o aumento da compactação e redução da capacidade que o substrato tem de armazenar água.

Na prática da mineração de cascalho, o solo da superfície é retirado e com isso os solos remanescentes ficam expostos tornando-se suscetíveis a erosões e por isso podem causar o carreamento de sedimentos e consequentemente o assoreamento de corpos d'água próximos às áreas em que é praticada a extração de minerais. Além disso, pode ocorrer interferências na qualidade das águas próximas a essas áreas, como por exemplo a alteração no parâmetro turbidez, que é causada pela presença de sólidos em suspensão, além do transporte de compostos lixiviados, que podem ser de origem sintética, presentes nas áreas degradadas (Mechi; Sanches, 2010).

Bayram e Onsoy (2014) analisaram os impactos que a mineração de cascalho e areia causaram em um curso d'água localizado na Turquia e nesse local foram analisados parâmetros físico-químicos como manganês, cromo total, ferro total, dureza, sólidos em suspensão, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, entre outros. A conclusão foi que não houve impacto em termos de oxigênio dissolvido, alumínio, pH, condutividade elétrica e dureza, porém houve um aumento significativo na turbidez, pois além da possibilidade de carreamento de sedimentos, o curso d'água era utilizado para lavagem dos materiais minerados, portanto também houve aumento nos teores de manganês, cromo total, ferro total e sedimentos em suspensão.

3.2 Legislações ambientais pertinentes

Os termos de referência para elaboração dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRADs disponibilizados pela Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM e pelo Instituto Chico Mendes – ICMBio, possuem basicamente o mesmo formato, como identificação do empreendedor, empreendimento e responsável pela elaboração do plano, origem da degradação, diagnóstico da área, implantação do projeto, manutenção, monitoramento e cronograma (FEAM, 2024; ICMBio, 2014). Além disso, é possível consultar as diretrizes para elaboração e apresentação dos projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração através da norma técnica ABNT/NBR 13.030/1999.

As principais legislações consultadas foram as restritas ao âmbito federal (Tabela 2) e estadual (Tabela 3), que neste último caso, atuam nos limites físicos do estado de Minas Gerais.

3.2.1 Federais

Tabela 2 – Legislação federal pertinente à mineração de cascalho

Legislação	Função
Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978	Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências
Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências
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
Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa
Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967	Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas)
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
Decreto nº 10.965, de 11 de fevereiro de 2022	Altera o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018
Instrução Normativa ICMBio nº 11, de 11 de dezembro de 2014	Estabelecer procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada - PRAD, para fins de cumprimento da legislação ambiental

Fonte: A autora (2024).

A degradação é definida como processos decorrentes de impactos ambientais que provocam a perda ou a redução de determinadas propriedades naturais, como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais. Já a recuperação, tem por objetivo restabelecer uma área degradada conforme um plano previamente definido para a ocupação do solo, com o intuito de alcançar a estabilidade ambiental (Brasil, 1989). Assim como definido na Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC.

De acordo com a Lei nº 12.651, de 2 de maio de 2012, a extração de minerais como areia, argila, saibro e cascalho são consideradas atividades de interesse social (Brasil, 2012) e para realização da mineração é necessário obter o licenciamento, que depende do registro na Agência Nacional de Mineração – ANM que atualmente substitui o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Na Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, é definida uma área máxima para aproveitamento de substâncias minerais de 50 hectares (Brasil, 1978).

Um dos princípios mencionados no Art 2º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 é a recuperação de áreas degradadas, que contribui com o objetivo da Política Nacional de Meio Ambiente de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental (Brasil, 1981). Posto isso, no Decreto nº 97.632/1989 é estabelecido que empreendimentos que praticam a atividade de mineração precisam submeter ao órgão ambiental competente o Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD quando apresentados o Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório do Impacto Ambiental – RIMA.

No Código de Minas, Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, é definido em seu Art. 43-A que o titular de concessão de lavra deverá arcar com as responsabilidades previstas neste Decreto-Lei e na legislação ambiental pertinente, incluídas a recuperação da área degradada e a responsabilidade civil. Assim como no Decreto nº 10.965, de 11 de fevereiro de 2022, que aborda sobre a responsabilidade do minerador de prevenir, mitigar e compensar os impactos ambientais causados pela atividade, além de recuperar o ambiente (Brasil, 2022). Posto isso, em eventual término ou caducidade da concessão, o concessionário também é obrigado a realizar a recuperação ambiental de acordo com o órgão ambiental competente e apresentar Plano de Fechamento de Mina e Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Brasil, 1967).

De acordo com o Art. 55 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, é considerado crime ambiental quem executa pesquisa, lavra ou extração de recursos minerais sem a devida licença ou em desacordo com a obtida. Além disso, a pena para quem deixa de recuperar a área pesquisada ou explorada pode ser de detenção e/ou multa.

3.2.2 Estaduais

Tabela 3 – Legislação estadual pertinente à mineração de cascalho

Legislação	Função
Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017	Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências
Deliberação Normativa COPAM nº 219, de 02 de fevereiro de 2018	Altera a Deliberação Normativa COPAM nº 213, de 22 de fevereiro de 2017, que regulamenta o disposto no art. 9º, inciso XIV, alínea “a” e no art. 18, § 2º da Lei Complementar Federal nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será atribuição dos Municípios
Deliberação Normativa COPAM nº 220, de 21 de março de 2018	Estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e o fechamento de mina, estabelece critérios para laboração e apresentação do relatório de Paralisação da Atividade Minerária, do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD e do Plano Ambiental de Fechamento de Mina - PAFEM e dá outras providências

Fonte: A autora (2024).

A DN nº 217/2017 que estabelece critérios para classificar e definir as modalidades do licenciamento ambiental, em sua Subseção I aborda individualmente sobre as atividades minerárias e as diferentes atividades ligadas à mineração encontram-se na Listagem A, denominada como Atividades Minerárias (Minas Gerais, 2017). Na DN nº 219/2018, alteração da DN nº 213/2017, também é apresentada a listagem de atividades, a qual busca "estabelecer

as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento será atribuição dos Municípios" (Minas Gerais, 2018).

Segundo a Deliberação Normativa Copam nº 220, de 21 de março de 2018, a atividade minerária é de interesse nacional e social, além de ser de utilidade pública e impulsionar o desenvolvimento. Contudo, é necessário que os empreendedores respeitem as normas ambientais que objetivam o desenvolvimento sustentável e por isso os empreendimentos devem buscar instrumentos que garantam a recuperação ambiental dessas áreas a fim de preservar o meio ambiente. No fechamento de minas, por exemplo, ficam obrigados a protocolizar o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD no órgão público responsável pela área na qual está inserido o empreendimento (Minas Gerais, 2018).

Ainda de acordo com a DN COPAM nº 220/2018, o PRAD consiste em um instrumento que permite diagnosticar, estudar, projetar e agir com o intuito de permitir a avaliação dos impactos ambientais e consequentemente a designação de medidas de recuperação. A recuperação é um processo que deve ser realizado ao longo do tempo e existência do estabelecimento, a fim de que o local impactado crie condições estáveis. Para a avaliação da eficiência das medidas de recuperação ambiental que já foram desenvolvidas no empreendimento e para aquelas adequações que precisam ser consideradas em outros períodos, o estudo de desempenho ambiental deve ser realizado a cada renovação da licença ambiental (Minas Gerais, 2018).

3.3 Técnicas de recuperação das áreas degradadas

3.3.1 Recomposição topográfica

Algumas das etapas primordiais para a elaboração de um planejamento de recuperação de áreas degradadas são a caracterização física do ambiente, adequação do relevo, devido às erosões, e ajustamento de condições básicas para o desenvolvimento das plantas (Carvalheira, 2007) sendo uma das áreas que embasam tal recuperação a geotecnia, que consiste em garantir a estabilidade física, para que posteriormente as outras técnicas possam ser aplicadas (Corrêa, 2007).

O controle de erosão é necessário para que o plano de recuperação obtenha bons resultados e a medida mais eficaz para o controle da erosão laminar consiste na aplicação da técnica de revegetação, porém para que novas plantas sejam inseridas no ambiente degradado é preciso adotar primeiramente medidas físicas ou mecânicas, edáficas e/ou biológicas. Como medidas físicas ou mecânicas têm-se a reconstrução de elementos da paisagem e retaludamento,

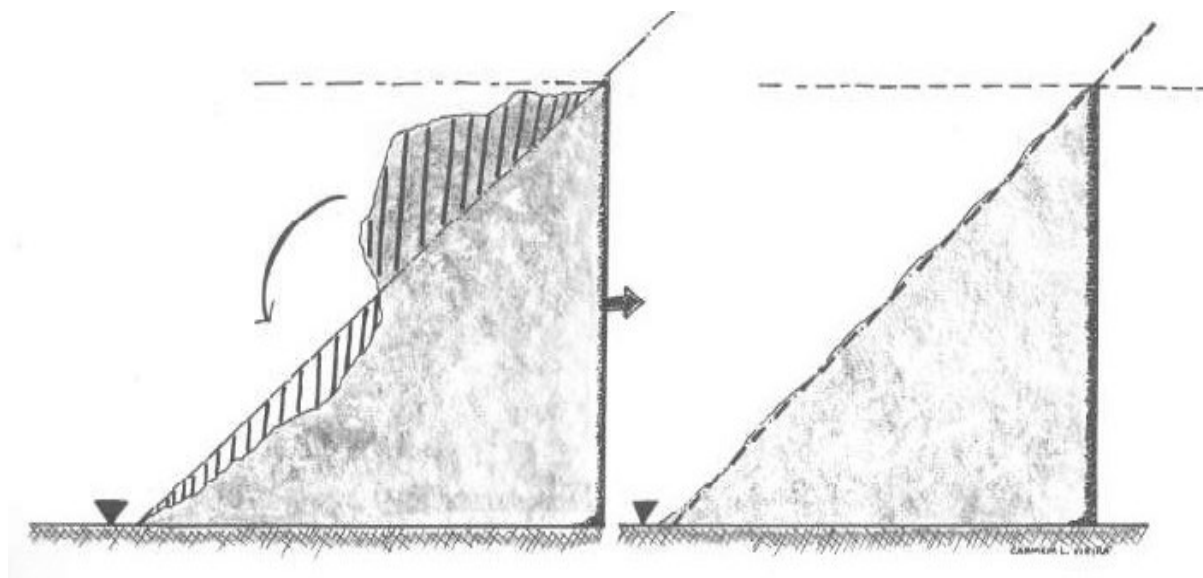
já as edáficas consistem na realização do método de escarificação, tratamento do substrato e a incorporação de matéria orgânica e por fim, têm-se as biológicas, que também abrangem a incorporação de matéria orgânica e a revegetação. Essas estratégias servem para otimizar a cobertura vegetal e para controlar o escoamento superficial da água, o que permite a sua infiltração e evita a piora da erosão (Corrêa, 2007).

Como formas de controle da erosão, recuperação e adequação do relevo são utilizadas os seguintes métodos:

Retaludamento

De acordo com Verdum, Vieira e Canappele (2016), o retaludamento tem como principal característica diminuir os declives do terreno para que a vegetação possa se restabelecer, ou seja, suavizar as irregularidades dos taludes deixados pela prática da mineração (Figura 2). A inclinação dos taludes deve levar em consideração o tipo de solo da área objeto de recuperação, se são mais arenosos ou argilosos, a fim de garantir a sua eficiência. Segundo MCA (1998) e COFA (2006) apud Silva; Campagna e Lipp-Nissinen (2018), os taludes devem ser modelados em formato côncavo a fim de diminuir a velocidade da água e permitir a infiltração.

Figura 2 – Esquema retaludamento para suavização de irregularidades de taludes

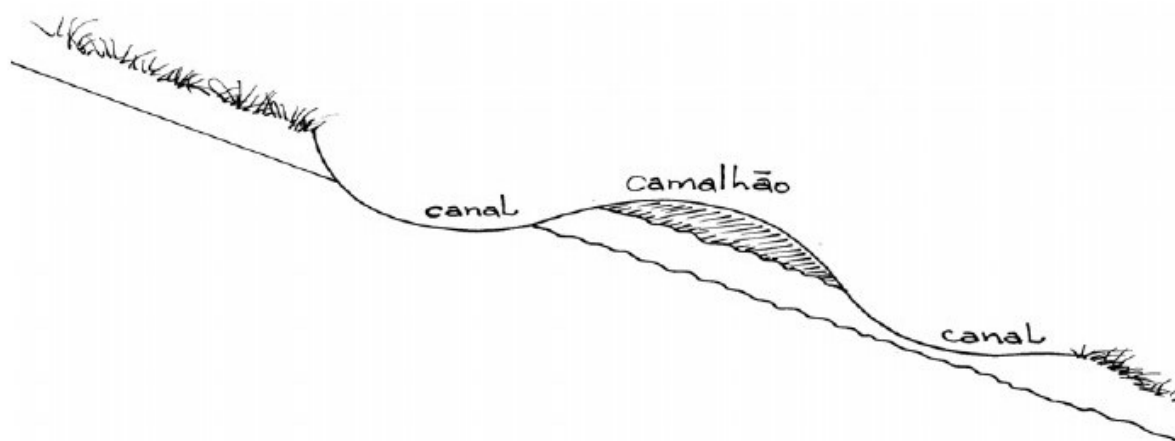


Fonte: Verdum, Vieira e Canappele (2016).

Terraceamento

A construção destes contribui para a suavização de terrenos mais inclinados e permite o condicionamento do fluxo da água e infiltração da água no solo. O terraço consiste em um dique e um canal com dimensões calculadas de acordo com a declividade, tipo e uso do solo, arquetipados transversalmente em relação ao declive da área, ou seja, são barreiras físicas que controlam o fluxo turbulento do escoamento superficial a fim de evitar erosão (Figura 3). Existem alguns tipos de terraços, como o de retenção, responsável por reter a água da chuva até que a mesma seja infiltrada, o terraço de drenagem, no qual a água é direcionada para fora da área que está sendo recuperada, entre outros modelos (Verdum; Vieira; Caneppele, 2016). É uma das técnicas mais antigas de conservação do solo e seu intuito é formar obstáculos a fim de reduzir a velocidade da água e consequentemente dividir o volume do escoamento superficial que facilita a infiltração de água no solo, além de guiar o escoamento a um lugar com boas condições para recebê-lo (Tavares *et al.*, 2008).

Figura 3 – Exemplo de terraço para suavização do terreno, infiltração e condicionamento do fluxo de água



Fonte: Corrêa (2007).

Drenagem

Quando uma voçoroca, que é o caso mais extremo de uma erosão, alcança o lençol freático e evidencia uma mina de água subterrânea, torna-se necessário que essa água seja captada e direcionada no sentido de um leito de drenagem efetivo, sendo este um dreno construído de pedras ou feixes de material vegetal, como o bambu (Tavares *et al.*, 2008). Portanto, os drenos são implantados nos leitos das voçorocas quando há fluxo de água devido

a erosão subterrânea e podem ser construídos de várias maneiras, como por exemplo através de amarração de bambus em feixes, utilização de manilhas perfuradas, entre outras (Verdum; Vieira; Canappele, 2016).

Os drenos trapezoides ou parabólicos são muito recomendados e podem ser recobertos por material rochoso, com ou sem argamassa, geotêxteis que permitem o desenvolvimento de vegetação, estruturas armadas e sacos com terra e cimento. Estes servem para proporcionar a estabilização de taludes e o seu direcionamento deve ter um escoamento equilibrado para não causar impactos, como a erosão, na área de recebimento desse fluxo drenado (MCA, 1998; PDEP, 2012 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018).

De acordo com Filizola *et al.*, (2011), outra forma de instalação de sistema de drenagem é o formato espinha de peixe, que consiste em uma tubulação principal e suas ramificações, que podem ser classificadas como:

Dreno cego: valeta composta por um segmento de tubo perfurado e revestida com elemento que permite a filtração;

Dreno de bambu: acomodação de bambus ligados em feixe em valas cobertas com manta geotêxtil;

Dreno com geotêxtil: vala envolvida por material geotêxtil e preenchida com material que permite a filtração.

Paliçada

As paliçadas são utilizadas com o intuito de suavizar os taludes de uma grande erosão para estabilizar o perfil do solo e impedir que os sulcos se aprofundem. São barreiras dispostas continuamente, de acordo com a orientação das curvas de nível, que têm a finalidade de criar um obstáculo para reduzir a velocidade da água das chuvas e permitir a infiltração da mesma no solo e o preenchimento da feição atingida pela erosão (Verdum; Vieira; Canappele, 2016).

A contenção das paredes pode ser realizada através de paliçadas feitas de material vegetal, como por exemplo o bambu, que pode ser utilizado verticalmente ou horizontalmente para conter as paredes ou para diminuir a velocidade de escoamento superficial da água pluvial, além de reter os sedimentos, e o eucalipto, que é utilizado à frente da paliçada de bambu que reveste taludes mais inclinados que não puderam ser suavizados e para sua completa eficiência deve ser enterrado por pelo menos 50 centímetros em solo firme. O bambu é acoplado às toras de eucalipto através de arame, a fim de mantê-los o mais unidos possível, além disso, deve-se

encaixar as estacas do bambu nos taludes para maior resistência da estrutura. Ademais, próximo às paliçadas é recomendado construir uma barreira através de terraços ou até mesmo uma fileira de sacos de terra para que a água não danifique o sistema construído (Tavares *et al.*, 2008).

Enrocamento

Segundo Verdum, Vieira e Canappele (2016), essa técnica consiste na deposição de fragmentos de rochas de forma arranjada em pilha ou em muro. Quando há formação de voçorocas e afloramento do lençol freático são colocadas de maneira transversal ao fluxo da água para servirem de obstáculo e fazer com os sedimentos fiquem depositados no local, assim como para o preenchimento das irregularidades do terreno, além de permitirem a permeabilidade da água.

Ademais, a estruturação do enrocamento pode ser realizada através da acomodação de estacas de material vegetal e do preenchimento dos espaços com pedras e solo e ser executada com o auxílio de maquinários, como retro escavadeira hidráulica, ou de forma manual. Com isso, o enrocamento de pedras em taludes é capaz de proporcionar uma proteção e estabilização para a base dos mesmos, além de garantir o desenvolvimento da vegetação (Araújo-Filho; Holanda; Andrade, 2013).

Aterro resíduo de construção civil

Em áreas que foram impactadas pela extração mineral de cascalho e que é desejada a sua restauração, ou seja, quando busca-se restaurar o ambiente e deixá-lo o mais próximo possível de como era originalmente, pode ser escolhido como medida o depósito de material inerte até a cota topográfica, a fim de restaurar a topografia de forma mais econômica do ponto de vista financeiro e posteriormente realizar a revegetação, visto que para recuperar a topografia do terreno com um material próximo ao que foi retirado é considerado economicamente inviável (Bom *et al.*, 2019). Em vista disso, considerando que o gerenciamento de resíduos sólidos é um dos principais desafios enfrentados pelos órgãos ambientais, devido principalmente à quantidade gerada e à disposição inadequada, além de ser sustentável no ponto de vista econômico é também no ponto de vista ambiental, pois além de evitar os problemas causados pelo mau gerenciamento desse tipo de resíduo, que em várias ocasiões são descartados incorretamente em áreas já degradadas e contribuem com a degradação, colabora com a recuperação de áreas (Vicente *et al.*, 2012).

3.3.2 Preparo do solo

O solo, através da edafologia, é visto como um reservatório de água, ar, matéria e nutrientes e para a recuperação nas áreas do Cerrado é necessário o conhecimento básico desse bioma, pois influencia diretamente na sobrevivência e crescimento de indivíduos arbóreos nas fases iniciais do desenvolvimento. Portanto, o primeiro passo na preparação do solo após a criação de paisagens estáveis é fazer com que os substratos minerados se tornem aptos a receber vegetação, para então definir as espécies de plantas capacitadas para iniciarem o processo de sucessão ecológica (Corrêa, 2007).

De acordo com Lavina *et al.* (2016), o preparo do solo tem por objetivo melhorar as condições físicas do mesmo, incorporando ou não fertilizantes e corretivos, a fim de contribuir com o estabelecimento do povoamento. Várias técnicas e equipamentos podem ser utilizados no preparo, a depender das características físicas, químicas e topográficas, visto isso, se torna imprescindível a coleta e análise do solo na área do plano de recuperação. Além disso, na maioria das vezes, é necessário realizar a correção do pH mediante calagem segundo análise realizada, para que esteja na faixa ideal para o desenvolvimento das plantas. Já a fertilização nas covas, busca corrigir a escassez mais severa de nutrientes e é recomendado, preferencialmente, adubação orgânica.

Controle de formigas

Segundo Rodrigues, Confessor e Pereira (2023), técnicas a fim de controlar esse tipo de inseto normalmente são implantadas antes de iniciar o processo de revegetação, controlando previamente a população de formigas cortadeiras que prejudicam o desenvolvimento da vegetação recém plantada, porém após o controle inicial, doses de manutenção ainda podem ser necessárias. Assim sendo, é preciso percorrer a área para identificação de formigueiros e para combatê-los são utilizados formicidas sob orientação de especialistas, como engenheiros agrônomos (Lavina *et al.*, 2016). A utilização desses compostos químicos, como formicidas e pesticidas, deve ser extremamente cautelosa para que estes não sejam dispersados para fora da área de interesse, que nesse caso são os formigueiros e todos os produtos utilizados devem ser autorizados e estarem de acordo com o que a legislação local exige (Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018).

É possível também utilizar outras espécies de plantas para obter o controle de formigas, como a Embaúba (*Cecropia sp.*), que é uma planta capaz de atrair esses insetos servindo como proteção para o restante da vegetação. A Embaúba é uma espécie de planta do grupo ecológico

pioneira que tem bastante influência no Cerrado, pois consegue abrigar as formigas no interior de seu tronco formando uma relação de simbiose que é conhecida há muitos anos (Londe, 2004).

Escarificação

Carvalheira (2007) utilizou de um escarificador de três hastes na área degradada objeto do seu estudo com o intuito de romper a parte compactada e superficial do solo, assim os torrões de terra foram desfeitos para posteriormente realizar o plantio. Segundo Aumond e Maçaneiro, 2014 apud Silva, Campagna e Lipp-Nissinen (2018), essa técnica permite uma maior infiltração de água no solo devido ao nível de rugosidade causado pela escarificação, consequentemente possibilita o estímulo a revegetação e evita a erosão.

Coveamento

Conforme sugerido por Carvalheira (2007), em sua área de trabalho foram perfurados dois tipos de covas, as rasas, que consistiram na retirada de pequeno volume de terra com enxada e medidas aproximadas de 25 centímetros de profundidade por 25 centímetros de diâmetro, e as profundas, nas quais foram realizadas perfurações no solo para fragmentar as camadas menos superficiais que o escarificador não alcançou e posteriormente, com a volta do material retirado na perfuração, foram realizados os furos com volumes aproximados das covas rasas, ou seja, com 25 centímetros de profundidade por 25 centímetros de diâmetro. Contudo, esses tamanhos podem variar de acordo com as características do solo e as espécies a serem plantadas e no interior das mesmas é recomendado colocar o adubo, de origem orgânica ou inorgânica, e a até mesmo hidrogel, para garantir maior eficiência no desenvolvimento das mudas.

Quanto maior o volume e a concentração de nutrientes nas covas, mais apropriado o desenvolvimento da vegetação será, pois haverá um avanço do sistema radicular que consequentemente influenciará no aumento da parte aérea da planta. Por outro lado, covas pequenas limitam o crescimento das raízes. No Cerrado são recomendadas covas de 0,4 metros de diâmetro por 0,4 metros de profundidade até 0,8 por 0,8 metros, pois covas maiores aumentam as chances de sobrevivências das mudas, porém, do ponto de vista financeiro, os custos do projeto aumentam na mesma proporção (Corrêa, 2007).

Adubação

A estabilização química só é proposta quando comprovada a sua necessidade após análises e geralmente é aplicada 15 dias antes da aplicação de fertilizantes e/ou adubos (DNIT; IPR, 2009 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018). A adubação nessas áreas torna-se mais complexa devido ao fato de não existirem recomendações para espécies nativas, com isso costuma-se optar por fertilizar as covas com adubo orgânico, de origem vegetal ou animal, como o esterco bovino (Lavina *et al.*, 2016). Outros materiais orgânicos que podem ser utilizados na recuperação dos solos das áreas degradadas são o lodo de esgoto, vermicomposto, composto lixo e cama de frango, e a escolha de aplicação depende principalmente dos custos para obtenção e aplicação destes (Carvalheira, 2007).

Lodo de esgoto: a aplicação do lodo traz inúmeros benefícios para a recuperação de uma área degradada pela atividade de mineração e de acordo com Teran *et al.* (2022), se o solo for apto a receber o lodo de esgoto haverá aumento na concentração de matéria orgânica e consequentemente a diminuição da densidade, melhora da retenção de água, da condutividade hidráulica e da agregação, além de dar uma destinação sustentável para esse passivo ambiental. No quesito matéria orgânica na matéria seca, sua porcentagem de 61% fica abaixo somente do vermicomposto que proporciona cerca de 80%, em compensação as porcentagens de macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio são maiores no lodo de esgoto (Corrêa, 2007).

Vermicomposto: consiste na conversão de resíduos orgânicos, degradados por minhocas, em fertilizantes em estado líquido e/ou sólido. Esse tipo de biofertilizante possui muitos nutrientes, além de estarem associados a efeitos bioestimulantes e acidificação das raízes (Zandonadi; Busato, 2012 apud Melo Benites *et al.*, 2014).

Composto lixo: o Composto de Lixo Urbano – CLU pode ser utilizado na atividade agrícola, o que torna sua disposição mais adequada do ponto de vista ambiental, pois além de incorporar matéria orgânica ao solo, apresenta baixos custos. Contudo, é necessário ter cautela e utilizá-lo de maneira e na área correta, pois em sua composição pode haver contaminantes, metais pesados e até mesmo patógenos humanos (Pires; Coscione; Andrade, 2006).

Cama de frango: é composta por excretas e compostos residuais de frangos, como penas, água, insetos e restos de ração que resultam em um substrato orgânico complexo. As características desse substrato variam de acordo com as condições do local de criação dessas aves, como a

situação dos bebedouros, a quantidade de animais, a composição da ração, entre outras. Portanto, é importante saber como essa cama é manejada e de onde vem para garantir a qualidade e segurança em sua utilização (Vaz, 2022).

De acordo com Lira *et al.* (2024), o uso do hidrogel, que consiste em um polímero capaz de reter água e assim melhorar o desenvolvimento de plantas em condições adversas, tem o seu potencial e pode contribuir com a recuperação de áreas degradadas. No entanto, o uso varia conforme a espécie da muda, dosagem utilizada e o motivo de sua utilização, portanto, pode ser que os resultados sejam limitados para algumas espécies e bom para outras e por isso é importante ajustar sua aplicação de acordo com o ambiente e as características de cada planta.

Isolamento

É realizado com o intuito de evitar que animais domésticos, como bovinos, equinos e demais, entrem na área de recuperação e prejudiquem o desenvolvimento da vegetação recém plantada. A ocorrência desses animais no local da recuperação contribui com a redução de sucesso das outras técnicas implantadas, visto que os mesmos provocam o pastoreio e pisoteio, o que prejudica o desenvolvimento e impede a eficácia da recuperação (Rodrigues; Confessor; Pereira, 2023).

A área pode ser isolada através do uso de cercas de arame capazes de impedir a entrada desses animais de grande porte e que não impedem o trânsito de animais silvestres, também importantes para o estabelecimento do ecossistema. Ademais, é necessário evitar o acesso de máquinas e veículos na área degradada e nas adjacentes, agricultura sem técnicas conservacionistas no entorno do local, cessar completamente a atividade de extração, entre outras (Tavares *et al.*, 2008).

3.3.3 Revegetação

Alguns solos, principalmente os do Bioma Cerrado, dispõem de restrições químicas que influenciam negativamente no desenvolvimento de plantas e torna mais complexo o processo de regeneração natural. Além disso, a sucessão costuma recuperar a vegetação de solos desmatados e não de substratos minerados, que consistem em áreas que perderam seus horizontes superficiais devido à erosão ou à prática da mineração. Os projetos que incluem a revegetação precisam levar em consideração os ciclos da natureza para não comprometer a sustentabilidade ecológica (Corrêa, 2007).

A revegetação artificial, que objetiva acelerar o processo de regeneração natural com o plantio de mudas, é mais eficiente, pois além de fazer com que o ambiente se recupere mais rapidamente, também oferta pontos positivos relacionados ao controle da densidade e espaçamento dos indivíduos arbóreos (Lavina *et al.*, 2016). Portanto, a revegetação consiste na inserção de vegetação nativa na área degradada ou na criação de um ambiente apto a ter uma regeneração natural.

Seleção e disposição das mudas

É necessário fazer um trabalho de levantamento florístico do ambiente e próximo à área degradada para que sejam selecionadas espécies nativas mais resistentes e com maior capacidade de desenvolvimento (Carvalheira, 2007). Além de observar essas características, é preciso levar em consideração a distribuição fitogeográfica e a genética a fim de evitar a propagação de vegetação invasora e exótica (Heiden *et al.*, 2006 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018).

Ainda segundo essas autoras, é recomendado espécies pioneiras, de crescimento mais acelerado, que vão favorecer o desenvolvimento das espécies tardias, como as secundárias e clímax, e substituí-las posteriormente permitindo a sucessão ecológica. Uma família de plantas muito utilizada é a *Fabaceae*, mais conhecidas como leguminosas, pois além de terem diferentes hábitos para sobrevivência, contribuem com a incorporação de nitrogênio no solo e assim diminuem a necessidade de reaplicação de fertilizantes (Nogueira *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2013 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018). O uso de espécies com sementes aladas, facilmente dispersadas pelo vento, e as frutíferas, que tem sua dispersão viabilizada por animais como pássaros e insetos, é bastante recomendado, pois contribuem com a revegetação diminuindo a necessidade de mais plantio (Reis *et al.*, 1999 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018).

A Tabela 4 apresenta alguns exemplos de espécies nativas, pioneiras e não pioneiras (secundária inicial, secundária tardia ou clímax), que também possuem o estado de Minas Gerais como sua zona de ocorrência:

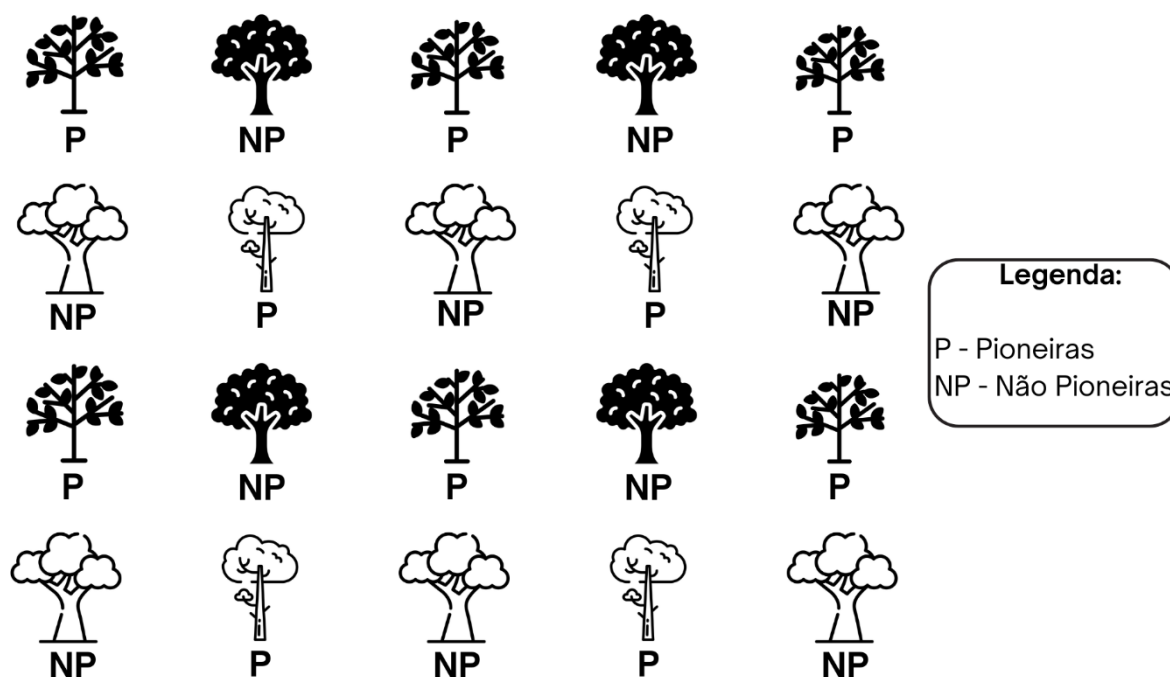
Tabela 4 – Espécies nativas, pioneiras e não pioneiras, que ocorrem em Minas Gerais

Nome científico	Nome popular	Família	Grupo ecológico
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco	Fabaceae	Secundária inicial
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Gonçalo-Alves	Anacardiaceae	Secundária inicial
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá	Lecythidaceae	Secundária tardia
<i>Cybistax antispythilitica</i>	Ipê-verde	Bignoniaceae	Pioneira
<i>Dalbergia sp.</i>	Jacarandá	Fabaceae	Secundária tardia
<i>Enterolobium gummiferum</i>	Orelha-de- macaco	Fabaceae	Secundária inicial
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	Cambará	Asteraceae	Pioneira
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. Ex A. DC.) Mattos	Ipê-amarelo	Bignoniaceae	Secundária tardia
<i>Handroanthus heptaphylus</i> (Mart.) Mattos	Ipê-roxo	Bignoniaceae	Secundária tardia
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Fabaceae	Clímax
<i>Inga vera</i>	Ingá	Fabaceae	Pioneira
<i>Libidibia ferrea</i>	Pau-ferro	Fabaceae	Clímax
<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	Açoita-cavalo	Malvaceae	Secundária inicial
<i>Paubrasilia echinata</i> L.	Pau-brasil	Fabaceae	Clímax
<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A. Robyns	Embiruçu	Malvaceae	Pioneira
<i>Psidium guajava</i>	Goiaba	Myrtaceae	Pioneira
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira	Anacardiaceae	Pioneira
<i>Senna macanthera</i> (DC. Ex Collad.) H. S. Irwin & Barneby	Fedegoso	Fabaceae	Pioneira

Fonte: Vieira *et al.* (2017); Santana, Silva e Silva (2016).

Existe o modelo de plantio em linhas alternadas, caracterizado por uma linha de espécies pioneiras e outra de não pioneiras e assim sucessivamente e outro quando as plantas são dispostas de forma intercalada (Figura 4), ou seja, em diferentes grupos que permitem o preenchimento da área através das espécies pioneiras e secundárias iniciais e a biodiversidade através das secundárias tardias e climácicas. Cada grupo ecológico possui uma característica e tem a sua importância para a sucessão ecológica, as pioneiras e secundárias iniciais, por exemplo, são encontradas em locais com clima e condição dos solos muito diferentes, o que favorece o preenchimento devido a distribuição. Já as secundárias tardias têm a deciduidade como maior característica e as climácicas são a parte final da sucessão ecológica, na qual é garantida uma maior biodiversidade (Budowski, 1965 apud Paula; Silva; Júnior; Santos; Souza, 2004).

Figura 4 – Disposição de mudas de acordo com o grupo ecológico (pioneiras e não pioneiras)



Fonte: Adaptada de Macedo (1993) apud Lavina *et al.* (2016)

Espaçamento e quantidade das mudas

Segundo Lavina *et al.* (2016), caso já exista no local uma cobertura caracterizada por gramíneas e invasoras, o espaçamento deve ser menor, ou seja, é recomendado um modelo de alta densidade para que o solo seja recoberto em um período menor de tempo. Nesse caso é indicado um espaçamento de 2 metros por 3 metros. Porém o mesmo pode se adaptar ao local que está sendo recuperado, assim como a densidade de mudas por área. Carvalheira (2007), por

exemplo, optou pela semeadura direta em um espaçamento de 3 metros por 3 metros para as covas rasas e entre estas, no ponto médio, inserir as covas profundas, resultando em um espaçamento de 1,5 metro por 1,5 metro entre os dois tipos, alternadamente. Visto isso, é possível concluir que a quantidade de mudas dependerá da extensão da área a ser recuperada e do espaçamento escolhido entre as plantas.

Técnicas de plantio

É necessário que as linhas de plantio sejam alinhadas paralelamente às curvas de nível e que a disposição das mudas seja realizada de forma intercalada utilizando espécies pioneiras e não pioneiras (Figura 4). Existem duas maneiras de realizar o plantio, simultaneamente ou em épocas diferentes, porém é mais satisfatório que seja realizado em períodos distintos, visto que os estágios de sucessão ecológica entre as espécies não são iguais e cada uma possui um tempo de desenvolvimento (Lavina *et al.*, 2016).

A nucleação é uma técnica usada na recuperação de áreas degradadas e segundo De Souza Soares *et al.* (2013), consiste em dispor núcleos ao longo da área e com isso estimular o crescimento da vegetação variada nos espaços vazios entre eles, a fim de induzir o processo de regeneração natural. Já a semeadura direta é outra técnica e equivale à inserção das sementes diretamente no solo, de preferência em época de chuva, muito utilizada também para acelerar o processo de regeneração e sucessão ecológica, visto que os custos e tempo de implantação são menores se comparada à técnica de plantio de mudas (Cole *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2007 apud Rego; Urbanetz, 2017).

Poleiros

Consistem em estruturas de madeira para que animais como pássaros e morcegos possam pousar e através de suas fezes, dispersar sementes de plantas nativas no local da recuperação (Reis *et al.*, 2003 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018). De acordo com as autoras deve ser uma medida auxiliar, ou seja, utilizada junto de outras técnicas por não ser suficiente quando aplicada individualmente.

Segundo Reis *et al.* (2003), existem algumas formas de poleiros para descanso e abrigo de animais dispersores de sementes, principalmente aves e morcegos, como:

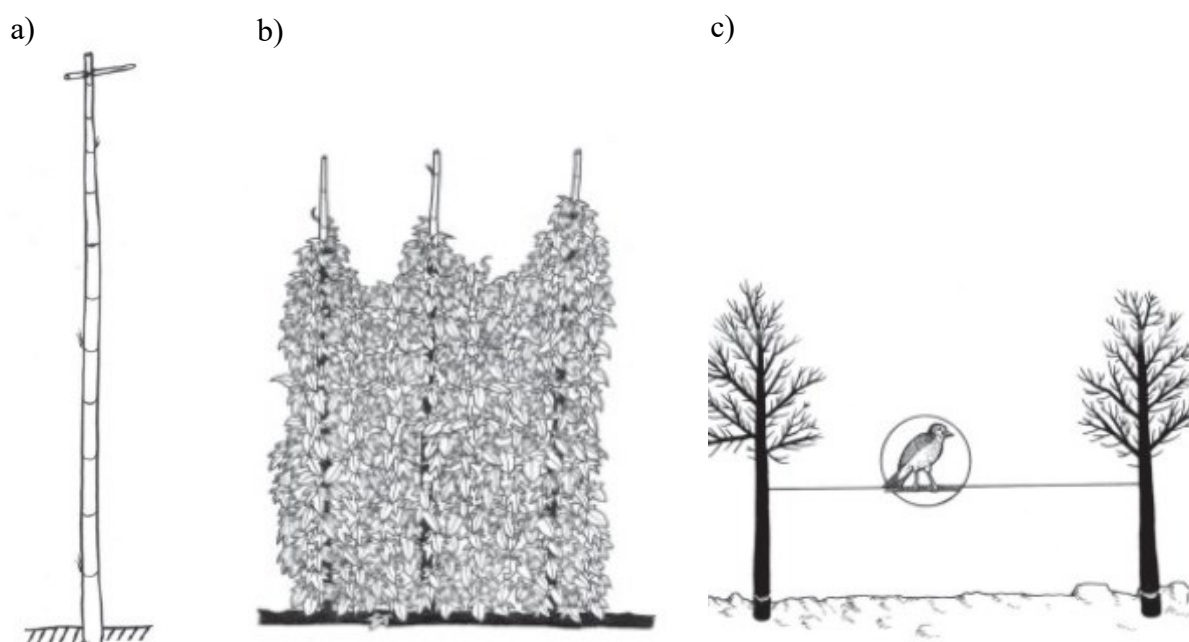
Poleiro seco: que utiliza de galhos secos para obter sua estrutura e servem principalmente como locais de observação (Figura 5a);

Poleiro vivo: no qual a diferença para o poleiro seco é que este imita galhos com folhagens e além de servirem para repouso, as aves podem usá-lo para observar caça e alimentação;

Torre de cipó: que é uma técnica que copia o formato de quando as árvores são dominadas por cipós e são propícias para o abrigo de animais dispersores, principalmente morcegos (Figura 5b);

Poleiro de cabo aéreo: que remete aos postes de fiação elétrica e podem ser feitos com galhos secos unidos por cordas ou outro material parecido (Figura 5c).

Figura 5 – Exemplos de poleiro seco, torre de cipó e poleiro de cabo aéreo para descanso e abrigo de animais dispersores de sementes



Fonte: Reis *et al.* (2003).

Banco de sementes

A faixa superior do solo deve ser reposta na área que se deseja implantar o plano de recuperação e uma forma de repor essa camada é coletar o solo de áreas adjacentes, nas quais não há exploração de minerais, em busca de um substrato com presença de bastante sementes. (MCA, 1998 apud Silva; Campagna; Lipp-Nissinen, 2018). A regeneração natural do ambiente pode ser utilizada como forma de revegetação e consequentemente de recuperação de uma área degradada, contudo, segundo Machado *et al.* (2013), apesar do banco de sementes ser o principal meio de regeneração após uma modificação no ambiente, só é uma técnica viável

desde que seja analisada antes da implementação para conferir a presença ou não presença de sementes viáveis (espécies arbóreas de vegetação nativa) e para que não haja infestação de vegetação invasora e plantas daninhas. O enriquecimento do banco de sementes depende, principalmente, de fragmentos conservados ao redor da área objeto de recuperação para que se torne mais fácil o processo de dispersão de sementes, o que geralmente não é comum em áreas mineradas.

3.3.4 Monitoramento e manutenção

De acordo com Lavina *et al.* (2016), para o sucesso do plano implementado é recomendado a realização de manutenção na área e esta pode ser realizada através da reposição de mudas, retirada de plantas invasoras, controle de formigas, adubação, irrigação (caso necessário), entre outras. Ademais, além do monitoramento ser uma medida necessária para garantir o sucesso da implementação do PRAD, é abordado em ambos os termos de referências apresentados, da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (Minas Gerais, 2018) e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (Brasil, 2014).

Coroamento e Aceiros

O coroamento é realizado ao redor das mudas com o intuito de evitar a competição com ervas daninhas e plantas invasoras e o raio é escolhido de acordo com as características do local e do projeto, como por exemplo 0,60 metros (Lavina *et al.*, 2016). Além disso, existem os aceiros que são utilizados ao redor da área como barreira natural para evitar que o fogo proveniente das queimadas em época de seca chegue até o local que está em processo de recuperação.

O fogo é comum principalmente em períodos de baixa umidade, visto que o Cerrado apresenta sazonalidade pluviométrica ao longo do ano com verões chuvosos e invernos secos e para evitar a sua propagação os aceiros podem ser construídos através de grades de arado, que revolve o solo e soterra a vegetação rasteira criando um ambiente com solo exposto que serve como obstáculo no desenvolvimento da queimada na área objeto do plano de recuperação (Rodrigues; Confessor; Pereira, 2023).

Eliminação de vegetação invasora

A simples eliminação de espécies de plantas invasoras, principalmente em áreas que foi adotado o processo de regeneração natural, pode ser suficiente para estimular a sucessão

ecológica na área, não ameaçar o ecossistema e não influenciar a perda da biodiversidade. Esse processo funciona como uma condução da regeneração do local e pode ser realizado de várias formas, como por exemplo a capina total das invasoras e posteriormente a capina seletiva, que consiste na manutenção depois de um determinado período (Moraes, 2012). Portanto, essa prática pode ser realizada através de roçagem manual em intervalos específicos ou de acordo com a necessidade da área (Carvalheira, 2007).

Reposição de plantas

A reposição consiste na substituição das plantas que não sobreviveram e é realizada após alguns dias ou poucos meses após o plantio, para que consigam se desenvolver junto as outras mudas que foram plantadas anteriormente (Lavina *et al.*, 2016), possibilitando uma revegetação que seja considerada satisfatória, com variedade de espécies nativas e número apropriado (Almeida; Sánchez, 2005).

Irrigação

A redução na frequência e volume das precipitações resulta na diminuição da umidade dos solos, fator essencial para o desenvolvimento e propagação das plantas. Como alternativa a não dependência exclusiva das chuvas naturais, pode-se adotar o fornecimento de água de forma artificial através da prática da irrigação (Rodrigues; Confessor; Pereira, 2023). No entanto, recomenda-se priorizar a realização do plantio durante o período chuvoso para que não haja necessidade de implantar um sistema na área. Caso o plantio seja conduzido em época de seca por interesse ou não do responsável, a instalação e operação do sistema de irrigação torna-se viável e condições adequadas para o desenvolvimento das plantas são garantidas (Lavina *et al.*, 2019).

4 CONCLUSÃO

Os principais impactos gerados a partir da prática da mineração de cascalho são aqueles que afetam a topografia local e a vegetação. Assim sendo, técnicas de recomposição topográfica e medidas como retaludamento, terraceamento, drenagem, entre outras, e de revegetação como preparo do solo e seleção e disposição de mudas são implantadas a fim de reverter a situação de degradação. Essas medidas que serão adotadas precisam estar claras em um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD, já que se trata de um instrumento importante que permite conquistar o equilíbrio ecológico e a manutenção da biodiversidade, tanto da flora quanto da fauna.

A revegetação é uma técnica imprescindível, porém, além do plantio, é importante adotar técnicas essenciais e criar condições para que as plantas possam se desenvolver, como recompor a topografia, preparar o solo e posteriormente realizar a manutenção na área. A escolha das plantas influenciará diretamente no sucesso da recuperação e caso não haja um monitoramento na área ao longo do tempo, todo trabalho, principalmente de plantio, pode ser perdido. Isso se deve à ocupação de vegetação invasora, ataque de pragas e formigas, falta de nutrientes no solo, entre outras. Ademais, quanto maior a diversidade de espécies e a diversificação do grupo ecológico, melhor para a garantia da sucessão ecológica.

Não é uma regra que todas as medidas e técnicas sejam utilizadas em todos os empreendimentos. Portanto, é necessário analisar as características de cada local e seu nível de degradação para então definir qual a melhor técnica a ser adotada para aquele caso. A revegetação quase sempre é uma exceção e precisa ser implementada, visto que para a extração de cascalho é preciso retirá-la, o que torna necessário realizar o replantio ou favorecer a regeneração natural. Além disso, é necessário considerar a importância do tópico de monitoramento e acompanhamento de resultados, que apesar de ter sido o menos citado nos estudos selecionados, os termos de referências, tanto o disponibilizado pela legislação federal quanto o estadual, abordam sobre a sua necessidade e importância para a correta recuperação da área degradada.

5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 47-54, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622005000100006>.
- ARAÚJO-FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. R. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 9, n. 7 (a), 2013.
- AUMOND, J. J. **Adoção de uma nova abordagem para a recuperação de área degradada pela mineração**. 2007. 265 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- BARRETO, M. L. *et al.* **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215 p.
- BAYRAM, A.; ONSOY, H. Sand and gravel mining impact on the surface water quality: a case study from the city of tirebolu (giresun province, ne turkey). **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 73, n. 5, p. 1997-2011, 29 jul. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3549-2>.
- BOM, T. F. *et al.* Projeto de recuperação, reuso e restauração de área degradada por mineração de agregados para pavimentação no Município de Morro Redondo/RS. **As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI 2**, [S.L.], p. 132-144, 7 out. 2019. Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.80519071013>.
- BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Regulação**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/regulacao>. Acesso em: 11 out. 2024.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm#art39. Acesso em: 16 out. 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 10.965, de 11 de fevereiro de 2022**. Altera o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10965.htm. Acesso em: 17 out. 2024.
- 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 14 out. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 2 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978.** Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6567.htm#:~:text=LEI%20No%206.567%2C%20DE%2024%20DE%20SETEMBRO%20DE%201978.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20regime%20especial%20para,especifica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 16 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 12 dez. 2024.

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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 16 out. 2024

BRASIL. Política Nacional de Meio Ambiente. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 14 out. 2024.

CARVALHEIRA, M. S. Avaliação do estabelecimento de espécies de cerrado sentido restrito, a partir do plantio direto de sementes na recuperação de uma cascalheira na Fazenda Água Limpa-UnB. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGCF.DM 082/2007, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 33 p.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado:** manual para revegetação. 2007, 173 p.

DE SOUZA SOARES, A. *et al.* Projeto de recuperação de uma cascalheira no Município de Conceição do Araguaia/PA. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 2013, 3 p. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/VI-038.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2024.

DURÃES, M. C. O. *et al.* Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lamberto, Montes Claros/MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, vol. 9, nº 1, p. 49-61, 2017.

FARIAS, C. E. G. Mineração e meio ambiente no Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CTMineral/Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral/CGE. 2002, 42 p. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/5224/1/2002_mineracao_e_meio_ambiente_no_brasil_pnud_contrato_2002_001604.pdf. Acesso em: 06 mar. 2024.

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Fechamento de Mina.** 2024. Disponível em: <https://www.feam.br/recuperacao-de-areas-de-mineracao/fechamento-de-mina>. Acesso em: 17 out. 2024.

FILIZOLA, *et al.* Controles dos Processos Erosivos Lineares (ravinas e voçorocas) em Áreas de Solos Arenosos. Circular Técnica, Jaguariúna, SP. p. 1-7. Dezembro, 2011.

FRANCO, M. R. S. **Formação de ravinas:** significância para a perda de solo por erosão hídrica. Tese (Doutorado) – Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2015.

HETMAŃSKI, T.; JAROSIEWICZ, A.; JANKOWIAK, L. The gravel pit lakes' water quality, their aquatic ecosystem function, and the effects of environmental changes in northern Poland. **Studia Quaternaria**, [S.l.], p. 57-66, 14 dez. 2023. Polish Academy of Sciences Chancellery. <http://dx.doi.org/10.24425/sq.2023.148032>.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Instituto Chico Mendes. **Instrução Normativa ICMBio nº 11, de 11 de dezembro de 2014.** Estabelecer procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada – PRAD, para fins de cumprimento da legislação ambiental

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 35, n. 6, p. 2167-2174, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000600031>.

LAVINA, L. N. *et al.* Proposta de um plano de recuperação de área degradada por atividade de mineração. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 123-135, 2016.

LIRA, L. M. S. *et al.* Uso de hidrogel em espécies florestais nativas. **Revista Caribeña de Ciências Sociales**, v. 13, n. 8, p. e4249-e4249, 2024. <http://dx.doi.org/10.55905/ressv13n8-011>.

LONDE, G. B. Análise química da Cecropia adenopus (EMBAÚBA). 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2004.21>.

MACHADO, V. M. *et al.* Avaliação do banco de sementes de uma área em processo de recuperação em cerrado campestre. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 303-312, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582013000200007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/9kc8DXLkdLshGhWZ95zMHCt/?lang=pt>. Acesso em: 05 ago. 2024.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, [S.l.], v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142010000100016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TNzjZ3HD8K6rCvSSWPtsZgC/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 03 set. 2024.

MELO BENITES, V. *et al.* **16th World Fertilizer Congress on CIEC:** Proceedings of the Technological Innovation for a Sustainable Tropical Agriculture, Rio de Janeiro, Brazil, 20-24 October 2014. p. 256-258, 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017.** Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para

definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: 10 out. 2024.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 219, de 02 de fevereiro de 2018**. Altera a Deliberação Normativa COPAM nº 213, de 22 de fevereiro de 2017, que regulamenta o disposto no art. 9º, inciso XIV, alínea “a” e no art. 18, § 2º da Lei Complementar Federal nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será atribuição dos Municípios. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45858>. Acesso em: 10 out. 2024.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 220, de 21 de março de 2018**. Estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e o fechamento de mina, estabelece critérios para laboração e apresentação do relatório de Paralisação da Atividade Minerária, do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD e do Plano Ambiental de Fechamento de Mina – PAFEM e dá outras providências. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45938>. Acesso em: 10 out. 2024.

MORAES, L. F. D. de. Chuva de sementes após a implantação de duas técnicas de restauração ecológica na reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. 24 p. b

MOURA, M. S. *et al.* Diagnóstico dos planos de recuperação de áreas degradadas por extração mineral para implantação das atividades petrolíferas no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. 2023, 17 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.VI-019>. Acesso em: 22 mar. 2024.

PAULA, A.; SILVA, A. F.; JÚNIOR, P. M.; SANTOS, F. A. M.; SOUZA, A. L. Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 407-423, set. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062004000300002>.

PEREIRA, I. M. *et al.* Estrutura da vegetação colonizadora em ambiente degradado por extração de cascalho em Diamantina, MG. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 77-88, 2015.

PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R.; ANDRADE, L. F. D. B. **Compostos de lixo do Estado de São Paulo e parâmetros de qualidade exigidos pelo MAPA**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

REGO, N. H.; URBANETZ, C. Potencial do uso da semeadura direta para a recomposição florestal no Pantanal da Nhecolândia, MS. Embrapa Pantanal: Circular Técnica 117 (INFOTECA-E), Corumbá, MS, p. 5, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173680/1/Potencial.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

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

RESENDE, T. M.; MORAIS, M. F.; PACHECO, P. P. Exploração mineral na porção Norte do Município de Uberlândia: o caso de Cruzeiro dos Peixotos. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 23, p. 140-146, 2007.

RODRIGUES, S. C., CONFESSOR, J. G.; PEREIRA, J. S. Técnicas de manejo voltadas à recuperação de áreas degradadas por erosão: Análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda Experimental do Campus Glória-UFU. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2317>.

SANTANA, C. A. de A.; SILVA, V. G. da; SILVA, A. T. Manual de identificação de mudas de espécies florestais. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Segunda Edição**, 2016.

SCHWEGLER, F. Air quality management: a mining perspective. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 86, 2006.

SILVA, I. A.; CAMPAGNA, A. R.; LIPP-NISSINEN, K. H. Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n. 3, p. e0691-e0691, 2018.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: **IDE-Sisema**, 2024. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 10 set. 2024.

SOUZA, C. A. *et al.* Serviços ambientais associados à recuperação de áreas degradadas por mineração: potencial para pagamento de serviços ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 137-168, 2016.

TAVARES, S. R. de L. *et al.* Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 238 p.

TERAN, F. J. C. *et al.* Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal: Assessment of the recuperation of degraded areas by exploration of lateritic gravel by means of sewage sludge incorporation. Case study Federal District of Brazil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 3, p. 2973-2984, 2022.

VAZ, C. S. L. **Manejo da cama de frango**. In: CONFERÊNCIA FACTA. Anais: avicultura, o futuro é agora. FACTA, Campinas, SP. Embrapa Suínos e Aves: Concórdia, SC. 2022, 13 p

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 p.

VICENTE, T. M. *et al.* III-442–Reabilitação de áreas degradadas através da disposição de resíduos sólidos inertes e de material de desaterro. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012.

VIEIRA, D. L. M. *et al.* Espécies arbóreas e estratégias para a recomposição da vegetação nativa no bioma cerrado. Embrapa Agrobiology. 2017.