

CAPÍTULO 8

Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração

Priscila Moreira Curtis Peixoto, Evaldo de Paula, Credigar Gonçalves Moreira, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Igor Borges Peron, Maria Amélia Bonfante da Silva, Maurício Novaes Souza

<http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c8>

Resumo

A atividade de mineração provoca alterações significativas no local onde é praticada. Objetivando a recuperação da qualidade ambiental destas áreas, a *Política Nacional do Meio Ambiente* de 1981, instituiu a obrigação de se recuperar as áreas degradadas (RAD) pelas empresas. Conforme este Decreto, regulamentado em 1989, todos os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão submeter um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), criando a obrigatoriedade de que todo empreendimento mineral deverá apresentar o PRAD juntamente com o Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA. A RAD deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção da estabilidade do meio ambiente. O plano prefixado e requerido por ocasião do PRAD pode causar discussão quando não se define adequadamente a destinação do local, após a realização das atividades do empreendimento. Recomenda-se que todo PRAD seja claro, objetivo e factível. Seu principal objetivo é recuperar a função de uma área degradada e seu ecossistema a uma condição mais próxima de sua condição anterior à degradação. É prioritário o plantio de espécies nativas para promover a reintegração de plantas e animais na área. As principais estratégias do PRAD são as operações de restauração e reabilitação dos locais afetados pelas atividades produtivas, visando principalmente a revegetação via: medidas de sistematização de terreno; restabelecimento da cobertura vegetal; plantio de espécies arbóreas por muda; semeadura direta (“muvucas de sementes”); técnicas nucleadoras; condução da regeneração natural; adubação verde, entre outras.

Palavras-chave: Solo degradado. Legislação ambiental. Fertilidade. Fabáceas

1. Introdução

A prática de mineração tem um papel fundamental na economia: porém, afeta constantemente o meio ambiente. De acordo com Mechi; Sanches (2010)

e *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2011), essa prática provoca desmatamento, poluição hídrica, poluição sonora, subsidências¹⁴ do terreno, assoreamento de rios, impactos visuais, paisagísticos e sobre fauna e flora, além de uma elevada produção de rejeitos

Os rejeitos são consequências dos métodos de tratamento a que são sujeitos os minérios, sendo criados, simultaneamente, ao produto de interesse. Com este fato, grandes empresas mineradoras têm investido na extração de minérios de baixo teor que chegam a apresentar quantidades de ferro inferiores a 40% (VALE, 2012).

A recuperação de áreas degradadas é uma prática amplamente utilizada em AIA de projetos de mineração, sendo considerada em estudos feitos desde a fase de planejamento quando se elabora o PRAD, até os relacionados à inativação do empreendimento (LONGO et al., 2019).

O retorno do “Topsoil”¹⁵ e, ou, a utilização de substitutos, como o plantio de espécies vegetais com destaque às fabáceas (leguminosas), é uma recomendação e exigência básica para os procedimentos de RAD. O sucesso da recuperação abrange outros aspectos, além do uso de espécies resistentes, que são a recuperação da fertilidade do solo, por meio de condicionadores, adubação, fixação biológica, ação de micorrizas e a sucessão ecológica, pois partículas ou elementos estéreis da mineração são limitantes ao desenvolvimento das plantas (COSTA et al., 2018; SOUZA, 2018).

A adubação verde é uma prática que aporta elevada quantidade de matéria orgânica ao solo, por meio de exsudatos de raízes, biomassa radicular e foliar, ácidos orgânicos e diversas substâncias elaboradas, favorecendo os atributos físicos e a ciclagem dos nutrientes do solo. Conforme Alcântara et al. (2000), a sua utilização gera impactos positivos nas propriedades químicas do solo que mudam de acordo com a espécie usada, manejo dado à biomassa, época de plantio e corte, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições do local e interação entre esses fatores.

Dentre os grupos de plantas que são utilizadas como adubo verde, destacam-se as fabáceas: além de promoverem melhorias no ambiente como algumas outras espécies, elas têm o potencial de acumular nitrogênio (N) por

¹⁴ Afundamento abrupto ou gradativo da superfície da terra, com pouco ou nenhum movimento horizontal.

¹⁵ Camada superior do solo, que apresenta maior fertilidade.

meio da fixação biológica e gerar elevada quantidade de massa rica em elementos minerais (PAULO et al., 2006; SOUZA, 2018). O cultivo de fabáceas apropriadas para uma eficiente cobertura vegetal e de formar simbiose com bactérias fixadoras de N atmosférico e com fungos micorrízicos, além de mostrar resultados positivos, tem sido vista como uma atividade viável na recuperação destas áreas (NOGUEIRA et al., 2012).

O presente capítulo discute a atividade de mineração e a disposição de seus resíduos no ambiente, bem como o potencial de algumas fabáceas: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria* spp.) e mucuna (*Mucuna* spp.), na recuperação destas áreas degradadas por rejeito de minério.

2. Extração e resíduos de minério

A extração do minério e seu beneficiamento nas unidades mineiras produzem uma quantidade crescente de rejeitos, devido: ao acréscimo da produção, em função da alta demanda mundial; e dada à exaustão de jazidas de maior teor, a entrada em operação de jazidas de baixo teor (MENDES, 2007; GUIMARÃES, 2011). Os resíduos de minas são preocupantes não apenas em função da grande quantidade produzida, mas pela ocorrência de elementos potencialmente tóxicos (LOTTERMOSER, 2010) (Figura 1).



Figura 1. Área de rejeito de mina de minério de ferro.
Fonte: CONHECIMENTOCIENTIFICO (2019).

Geralmente, esses resíduos de minas sólidas são translocados hidráulicamente para rejeitos de barragens perto do local da mina - impactam o ambiente, por tomarem vastas áreas para a sua disposição, provocarem a supressão da vegetação e prejudicarem a qualidade física e química de águas superficiais e subterrâneas, entre outros. Relaciona-se também às barragens de rejeito os riscos ambientais e à segurança de um rompimento das estruturas de contenção (ICOLD, 2001; SOUZA, 2018).

Esses depósitos de resíduos são sujeitos às falhas devido, em parte, aos custos de manutenção, que se mantêm elevados mesmo depois do fechamento da mina, a falta de regulamentação adequada e os enganos de engenharia no seu projeto (RICO et al., 2008; AZAM; LI, 2010). Como consequência direta dessa instabilidade, o número de falhas de barragens de rejeitos descritas está aumentando progressivamente em todo o mundo, com a ocorrência de pelo menos um acidente grave anualmente nos últimos vinte (20) anos (WISE, 2017).

Umas das tragédias desse setor foi o rompimento da barragem da SAMARCO em Brumadinho (25/01/2019) - o maior acidente de trabalho no Brasil em perda de vidas humanas (270 pessoas mortas e 06 desaparecidos) e o segundo maior desastre industrial do século (Figura 2). Foi um dos maiores desastres ambientais da mineração do país, depois do rompimento de barragem em Mariana. Os municípios mais afetados foram Brumadinho e Rio Paraopeba, MG, além das águas poluídas que afetaram várias cidades, principalmente na bacia do rio Doce (CONHECIMENTOCIENTIFICO, 2019).

O rompimento da barragem da “Mina Córrego do Feijão”, MG, ocorreu de forma abrupta e violenta, causando uma avalanche de lama e rejeitos de minério de ferro (aproximadamente 1,3 milhão de toneladas) que soterrou parte da comunidade da Vila Ferteco, área rural do município, às margens do rio Paraopeba. Segundo a Vale, em torno de 300 funcionários atuavam no local no momento quando ocorreu o rompimento da barragem na Mina Feijão: estava desativada desde 2015.

Esse acidente ocorreu há pouco mais de três anos após o trágico rompimento de uma das lagoas de rejeito da Samarco, em Mariana. O caso emblemático que ocorreu no dia 5 de novembro de 2015, quando uma das barragens de rejeito da mineradora SAMARCO (controlada pela Vale e BHP Biliton), rompeu-se, continua sem solução! Cerca de 32 milhões de m³ de minério de ferro altamente

contaminante, invadiram rios e municípios, degradando-os: 700 km de curso de água foram afetados, principalmente o Rio Doce.



Figura 2. Rompimento da barragem de Brumadinho. Fonte: Mídia Ninja (2019).

De acordo com um comunicado da Organização das Nações Unidas (ONU), três anos depois da tragédia, as medidas tomadas pela empresa podem ser assim classificadas: “São simplesmente insuficientes para lidar com as massivas dimensões dos custos humanos e ambientais decorrentes desse colapso, que tem sido caracterizado como o pior desastre socioambiental da história do país”.

Dessa forma, observa-se que é assustador o descaso dessa e de tantas outras empresas, posto que as leis que tratam do meio ambiente no Brasil estão entre as mais completas e avançadas do mundo. Até meados dos anos da década de 1990, a legislação cuidava separadamente dos bens ambientais de forma não relacionada. Com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605 de 13 de fevereiro de 1998), a sociedade brasileira, os órgãos ambientais e o Ministério Público, passaram a contar com um mecanismo para punição aos infratores do meio ambiente. Em seu Capítulo I, nas Disposições Gerais, diz (BRASIL, 1998):

Art. 2º Quem, de qualquer forma, concorre para a prática dos crimes previstos nesta Lei, incide nas penas a estes cominadas, na medida da sua culpabilidade, bem como o diretor, o administrador, o membro de conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la.

Art. 3º As pessoas jurídicas serão responsabilizadas administrativa, civil e penalmente conforme o disposto nesta Lei, nos casos em que a infração seja cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou benefício da sua entidade.

Como se pode observar nos dois artigos citados, a Lei de Crimes Ambientais reordenou a legislação ambiental brasileira no que se refere às infrações e punições. Uma das maiores inovações foi apontar que a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras e coautoras da infração. No entanto, mais do que os avanços representados pela lei, o Brasil carece de mecanismos de fiscalização e apuração dos crimes. Ou seja, o Brasil possui um conjunto de leis ambientais consideradas excelentes, mas que nem sempre são adequadamente aplicadas, por inexistirem recursos e capacidades técnicas para executar a lei plenamente em todas as unidades federativas (SOUZA, 2018).

O IBAMA e os órgãos estaduais de meio ambiente atuam na fiscalização e na concessão de licença ambiental antes da instalação de qualquer empreendimento ou atividade que possa causar poluição e degradação. O IBAMA atua principalmente no licenciamento de grandes projetos de infraestrutura que envolva impactos em mais de um estado e nas atividades do setor de petróleo e gás; já os estados cuidam dos licenciamentos de menor porte. Contudo, dadas as dimensões de nosso País, a difícil acessibilidade e o reduzido número de agentes dos referidos órgãos, a fiscalização é muito deficiente (SOUZA, 2021).

Fontes extraoficiais comentam que o último concurso para o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) foi em 2009; ou seja, há 13 anos! Asseguram ainda que são quatro (4) funcionários pra fiscalizar quatrocentas e cinquenta (450) barragens em todo o estado de Minas Gerais, além de denúncias de corrupção de funcionários e grandes pressões dos grupos

empresarias que atuam no setor. O resultado é essa tragédia anunciada: estima-se que poderão ocorrer outros graves acidentes nos próximos anos - a equipe de fiscalização em determinadas localidades é pequena ou inexistente. Além disso, as empresas não querem gastar com barragem - é "gasto sem retorno". Isso é comprovado por pesquisa americana que revelou, em todo o mundo, nos anos em que o preço do minério decresce, os lucros são reduzidos, como consequência, os acidentes aumentam.

No caso da SAMARCO, o Ministério Público Federal apontou vinte e duas (22) pessoas das empresas responsáveis pela barragem. Eles estão respondendo por crimes de inundação, lesão corporal, desabamento e crimes ambientais, além de homicídio qualificado com dolo eventual (quando assume o risco de matar). Entretanto, ainda são necessárias medidas preventivas que impeçam que tais eventos ocorram. O Relatório de Segurança de Barragens 2015 apontou que das 17.359 barragens cadastradas na Agência Nacional de Águas (ANA), apenas 4% foram fiscalizadas (SNISB, 2015).

Segundo o órgão, as quarenta e três (43) unidades fiscalizadoras não dão conta de atender toda a estrutura. A barragem de Fundão, vinculada ao desastre de Mariana, tinha sido classificada como categoria de baixo risco e alto dano potencial associado pelo Departamento de Produção Mineral (DNPM), vinculado ao Ministério de Minas e Energia. O Relatório do Tribunal de Contas da União, de setembro de 2016, confirma que o DNPM não foi capaz de fazer a Samarco cumprir os padrões exigidos pela Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei 12.334/2010). Para agravar ainda mais a situação, projetos visando flexibilizar a concessão de licença ambiental para grandes obras no país são estimulados.

Segundo relatórios do IBAMA, de cada 100 reais de multas que o órgão aplica aos que infringiram regras ambientais, desde 2011, menos de três reais entram nos caixas do Governo Federal - um documento do próprio órgão, de 2017, traz um panorama das autuações feitas entre os anos de 2005 e 2010 - o percentual médio de multas pagas no período foi de 0,75%. As empresas encontram subterfúgio em diversos recursos judiciais e a lentidão do maquinário jurídico para finalizar os processos proporciona que a maioria saia impune (IBAMA, 2020).

O fato é que apesar das inúmeras iniciativas governamentais e organizacionais, os efeitos efetivos da legislação ambiental ainda são discretos: a impunidade persiste. A corrupção e tantos desmandos dos últimos governos demonstram enorme incompetência e incapacidade de resolver as demandas legais pertinentes à legislação brasileira. De acordo com o IBAMA (2020), como agravante, o aperto orçamentário: o Ministério do Meio Ambiente perdeu 43% da sua verba para despesas discricionárias em 2020.

No quesito de segurança, a engenharia brasileira está deixando a desejar. Considerando os impactos decorrentes da disposição dos rejeitos da mineração, de acordo com o EIA/RIMA, os alteamentos de barragens foram regularizados apenas em 2009, por meio de um processo de licenciamento aparentemente irregular: não se exigiu da mineradora um EIA aprofundado. O estudo, que deveria contemplar as possibilidades de desastre e propor ações para minimizá-las, é obrigatório para todo empreendimento em que há supressão de Mata Atlântica, sobretudo de atividades minerárias, conforme a lei nº 11.428, de 2006. À época, a Secretaria de Meio Ambiente (SEMAD) do governo de Minas Gerais constatou que haveria a retirada de três (3) ha de Mata Atlântica - mesmo assim, não exigiu o EIA/RIMA. Contentou-se com o RCA, menos minucioso (VEJA.ABRIL, 2020).

O fato é que o imaginário neoliberal, presente de forma crescente em todo o mundo, reafirma a noção de que os recursos naturais são meramente matéria-prima para a indústria. A conservação ambiental vem sendo relegada ao segundo plano; na prática, o antigo discurso da necessidade de crescimento econômico para a geração de emprego e renda prevalece. Continua vigorando a visão imediatista, cujos resultados finais são conhecidos e previsíveis: a economia global está perdendo muito dinheiro com a destruição dos recursos naturais.

Faz-se necessária a ampliação da consciência ambiental em nível nacional. É um imperativo a necessidade de construção de uma nova perspectiva de modelo de desenvolvimento. Os problemas econômicos, sociais e ambientais continuam como desafios políticos e sociais a ser resolvidos em busca do desenvolvimento sustentável de nosso país.

Desta forma, os rejeitos da mineração são causa de preocupação cada vez mais crescente nas empresas, que visam reduzir os impactos ambientais e

os custos associados aos processos de disposição, contenção e fechamento de barragens de rejeito (PORTES, 2013).

O impacto ambiental negativo configura um dos aspectos mais preocupantes na mineração, concebendo-se em uma de suas consequências mais combatidas. Em contrapartida, a mineração é um dos setores básicos da economia do país e colabora para o desenvolvimento de uma região, estado ou país, via produção de riquezas e a melhoria da infraestrutura local. Para segurança da qualidade de vida, dos presentes e futuras gerações, é essencial que tal empreendimento seja empregado com responsabilidade técnica, ambiental e social, associado aos preceitos do desenvolvimento sustentável (FERNANDES; SANTOS, 2008; SOUZA, 2018).

2.1. Caracterização do rejeito de minério

A caracterização quase não era realizada em rejeitos de usinas de beneficiamento de minérios, sendo esses eliminados sem conhecimentos de suas características físicas, químicas e mineralógicas e de seu retorno ao processo de concentração da fração mineral contida (Figura 3). Contudo, nos dias atuais, isso vem mudando: não somente pela maior preocupação com aspectos ambientais exigidos pela legislação e pelos principais compradores dessas commodities, como ainda em alguns casos, em função da escassez do minério e da perda de reservas, com a consequente redução dos teores das minas (BORGES; da LUZ; FERREIRA, 2008; SOUZA, 2018).

Os rejeitos de mineração constituem um sistema peculiar parecido ao solo natural, tendo desempenho geomecânico e hidráulico caracterizado em termos de resistência, permeabilidade, densidade e grau de saturação, entre outros fatores (PENNA, 2008). O tamanho das partículas de rejeito está na faixa de partículas de areias finas e siltes. As características químicas dos rejeitos divergem de acordo com o mineral de interesse e as substâncias químicas compreendidas no processo de concentração adotado (ARAUJO, 2006).



Figura 3. Rejeitos eliminados sem conhecimentos de suas características e concentração mineral. Fonte: Instituto Minere (2021).

Nessa situação, rejeitos de minério de ferro, mesmo levando em consideração a sua heterogeneidade relacionada ao teor de ferro e ao processo de beneficiamento, estes não têm plasticidade. Apesar dos rejeitos possuírem classificações granulométricas e algumas características geotécnicas bem definidas, não se deve analisar somente o seu comportamento por intermédio dos aspectos convencionais. Contudo, é necessário definir e avaliar as características particulares aos rejeitos, visto que suas composições granulométricas e mineralógicas são alteradas no próprio processo industrial (PEREIRA, 2005).

3. Recuperação de áreas degradadas

A mineração é uma importante atividade econômica no Brasil, contribuindo com 4,2% do PIB (IBRAM, 2017), sendo responsável pelo suprimento de matéria-prima para inúmeras atividades. Em relação à mineração de ferro, segundo dados dessa mesma fonte, o Brasil possui a segunda maior produção no mundo e detém a quarta maior reserva (VITA ENGENHARIA, 2019).

Contudo, ao envolver a apropriação de recursos naturais, a mineração caracteriza-se como uma atividade predominantemente modificadora do meio ambiente. Causa, portanto, uma série de impactos e conflitos socioambientais, de menor ou maior intensidade, dependendo do seu processo de planejamento e operação. Os impactos socioambientais desta atividade estão associados à supressão vegetal, alteração ou perda de habitats, erosão, assoreamento de cursos d'água, alteração do fluxo subterrâneo de água, alteração do terreno e instabilidade de taludes¹⁶, contaminação da água e pressão sobre áreas protegidas ou de expansão urbana (SOUZA, 2018).

A degradação do solo é a redução de condições desejáveis, relacionadas ao desenvolvimento de plantas e ao ambiente, consistindo em um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais, representando risco para as gerações futuras (ALVES et al., 2012). De acordo com Souza (2018), na fase de planejamento, após a realização do EIA, deve ser obrigatoriamente, elaborado o PRAD.

Majoritariamente, os solos das áreas degradadas apresentam níveis baixos de nutrientes e com características físico-químicas diferenciadas, quando comparadas ao solo original. Portanto, o êxito inicial na recuperação de um ecossistema degradado depende das práticas de manejo a serem efetuadas no sítio e de espécies da flora regional, dando início desta forma, ao restabelecimento dos processos ecológicos.

3.1. Intervenções e aspectos ambientais da mineração

O processo de lavra causa grandes degradações físicas, químicas e biológicas nos solos minerados (FRANCO, 2010). Essas modificações interferem na estrutura do solo e na microbiota, com perda da vegetação. O correto manejo deve predizer a melhoria e a manutenção, pelo maior tempo possível, da matéria orgânica no solo, o que pode ser alcançado com o uso de resíduos orgânicos (COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006).

Dentre as causas da degradação do solo, destacam-se a redução da cobertura vegetal, erosão hídrica, acidificação dos solos, exaustão de nutrientes e redução do teor de carbono orgânico e da biodiversidade, tornando-o inviável

¹⁶ Compreendem-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podem ser naturais, casos das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros.

para a exploração socioeconômica e ambiental. As práticas de mineração retiram as camadas superficiais do solo, deixando-o exposto e com maior suscetibilidade à erosão (CARNEIRO et al., 2008; SOUZA, 2018). De acordo com Corrêa; Bento (2010), o uso de cobertura vegetal sobre superfícies mineradas é a alternativa mais comum de recuperação, mas exige a construção de um ambiente edáfico que seja compatível com as espécies vegetais a serem usadas.

Em agroecossistemas, os estresses submetidos aos solos podem ser de origem natural e, ou, antrópica, como é o caso da mineração. As práticas de uso da mineração possuem um grau de impacto ambiental de ampla magnitude devido às modificações físicas, químicas e bióticas, causadas nas áreas de influência direta e indireta do projeto. Esse impacto pode ser maior, interferindo não apenas na área explorada, mas na circunvizinhança, por exemplo, um problema de erosão ou a contaminação do recurso hídrico (SILVESTRINI, 2013).

A RAD pode ser definida como um grupo de práticas idealizadas e realizadas por especialistas de diversas áreas do conhecimento, a fim de promover o reestabelecimento das condições de equilíbrio e de sustentabilidade existentes anteriormente no sistema (DIAS; GRIFFITH, 1988; SOUZA, 2018).

3.2. Intervenções técnicas de manejo

Um estudo realizado por Moreira (2004) compreendeu uma avaliação das intervenções técnicas de manejo na melhoria das propriedades físico-químicas do solo e crescimento da vegetação em área minerada de bauxita, localizada na Cia. Geral de Minas, empresa do Grupo Alcoa, no planalto de Poços de Caldas (Minas de Campo: Morro das árvores).

Os objetivos do trabalho foram verificar o efeito da subsolagem, da adição da camada superficial do solo ("topsoil"), da correção da fertilidade do solo e da adubação verde na recuperação de área degradada, avaliada a partir do desempenho do crescimento e desenvolvimento de espécies arbóreas da flora regional implantada, decorrente da sua interação com as intervenções de manejo. O solo é uma associação de Cambissolos/Neossolos. Posteriormente à instalação do experimento, foi semeado a lanço um coquetel de propágulos de adubo verde de inverno e incorporado no solo cento e vinte e seis (126) dias

depois do plantio, para posterior plantio das 18 espécies arbóreas nativas (MOREIRA, 2004).

De acordo com esse mesmo autor, considerando que este solo apresenta tendências de elevado escoamento superficial devido ao relevo, a subsolagem foi efetiva no aproveitamento das chuvas incidentes pela melhoria eventual da taxa de infiltração básica e decorrente melhoria das condições de absorção de nutrientes. Com relação à recolocação do “topsoil”, ocorreu a melhoria das condições de fertilidade, aumento dos teores de matéria orgânica e dos aspectos biológicos: são de vital importância para RAD, referentes às melhores condições para o desenvolvimento e manutenção da microbiota do solo.

Alba (2010), depois de vinte (20) anos de experiência em RAD, confirma que a atividade de revegetação de solos degradados com uso de fabáceas é uma alternativa extremamente eficaz para restabelecer os processos ecológicos de áreas impactadas. Para Valcarcel et al. (2007), as técnicas realizadas para a recuperação de áreas mineradas são diversas: a incorporação de adubos verdes, fabáceas, gramíneas e espécies nativas, como fonte de matéria orgânica e cobertura do solo é uma delas (Figura 4).



Figura 4. Talude vegetado com leguminosas, gramíneas e espécies nativas. Fonte: Pereira (2018).

A matéria orgânica melhora as características físicas do material exposto, aumenta a sua fertilidade e auxilia na manutenção de microrganismos e fauna de solo (PIGNARO NETTO et al., 2009). Por isso, os adubos verdes são muito usados em recuperação de solos minerados (BORGES, 2013; CARNEIRO et al., 2008; FRANCO, 2010; SOUZA, 2018). No caso da revegetação de obras de barragem, há demanda de técnicas adequadas, sendo importante observar a relação positiva entre adubação mineral e verde, uma vez que nessas áreas foram retiradas toda a vegetação e a camada fértil do solo (CAMPOS et al., 2011).

De acordo com Modesto et al. (2009), o retorno de áreas degradadas ao estado anterior, pode não acontecer ou ser muito lento. A recuperação dos solos degradados até alcançar as condições próximas às originais, com sistemas de manejo, é pouco provável, evento que pode exigir dezenas e ou mesmo centenas de anos. Alves; Souza (2008) confirmam que a recuperação da estrutura dos solos é lenta e deve ser reconstruída no tempo por meio do manejo de solo e plantas (Figuras 5 e 6).



Figuras 5 e 6. Revegetação em área alterada no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba, MG. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2013).

A utilização de plantas de cobertura como resíduo orgânico, para a formação de uma cobertura vegetal sobre superfícies expostas pela mineração, tem-se mostrado eficaz em diversos ecossistemas (ADANI et al., 2007; CORRÊA et al., 2010; ALVES et al., 2012). Porém, pesquisas que abordam qualidade dos substratos vegetados com o uso desses materiais são escassas (CORRÊA; BENTO, 2010), mesmo sendo de enorme importância e necessidade para se

conhecer um melhor manejo desses em áreas mineradas. Em taludes com declividade acentuada e em áreas mineradas, barreiras de vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) é uma espécie que tem sido bastante utilizada (Figuras 7 e 8).

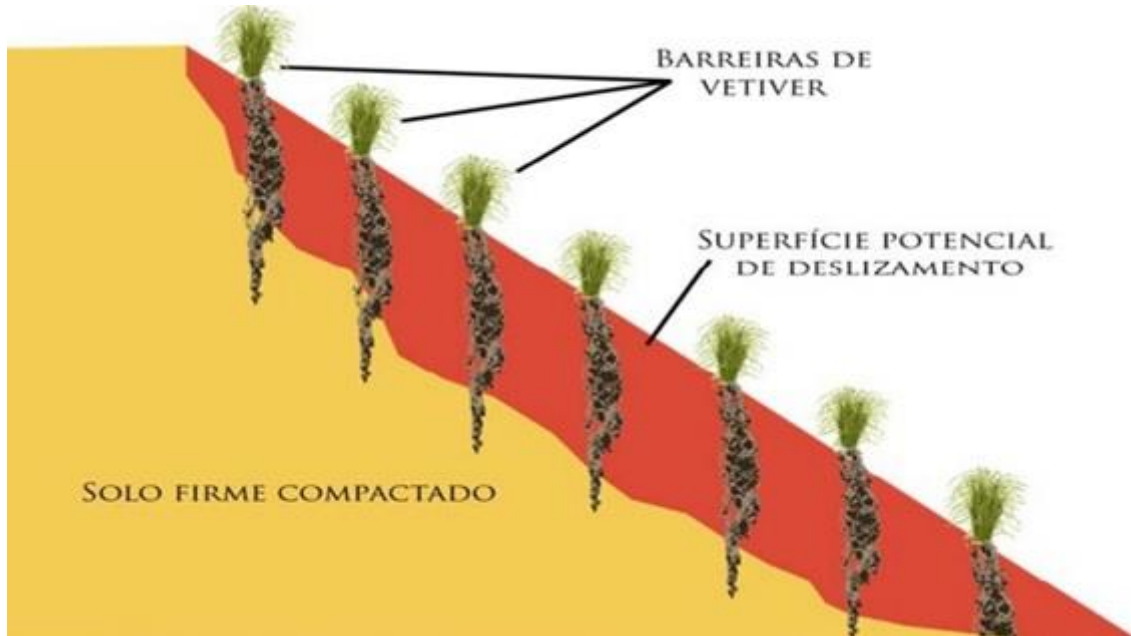


Figura 7. Barreiras de vetiver. Fonte: Pereira (2018).



Figura 8. Talude de área minerada revegetado com leguminosas, vetiver e gramíneas. Fonte: Pereira (2018).

O fato é que a proteção ambiental e as questões ligadas ao desenvolvimento precisam ser intensificadas, como também a necessidade de recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, em vista de novos níveis de prosperidade - que podem ser sustentados quando são observados os aspectos econômicos, ecológicos e sociais - conquista-se crescentemente maior número de pessoas em seu serviço. Entretanto, para atingir tais objetivos, faz-se necessário (SOUZA, 2018):

a) assumir novas estratégias; b) estabelecer compromissos mais fortes; e c) investir em trabalhos que evidentemente são difíceis, como intensificar as pesquisas para aprender mais sobre recuperação ambiental.

Souza (2018) define recuperação ambiental como o tratamento de áreas alteradas/perturbadas para criar pedopaisagens estáveis e condições edáficas para se sustentarem, mediante uso do solo em sua condição predeterminante, exigindo condições mínimas de manutenção. Além disso, as comunidades existentes no local recuperado deverão conviver com essa nova paisagem em harmonia, dentro de uma nova realidade socioeconômica, onde haja maior equidade social: ou seja, propõe-se a recuperação socioambiental, que garantirá, de fato, a autossustentabilidade do ambiente.

4. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD)

A *Política Nacional do Meio Ambiente* (PNMA) de 1981, objetivando a recuperação da qualidade ambiental, instituiu em seu artigo 2º, a obrigação de recuperar as áreas degradadas pelos empreendimentos. A regulamentação da lei ocorreu em 1989, com a edição do Decreto nº 97.632. Conforme este Decreto, todos os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão submeter o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), criando a obrigatoriedade de que todo empreendimento mineral deverá apresentar o PRAD juntamente com o EIA/RIMA (BRASIL, 1989).

A RAD deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo,

visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (BRASIL, 1989; PONTES; FARIAS; LIMA, 2013).

O “plano preestabelecido” requerido por ocasião do PRAD pode causar discussão quando não se define adequadamente a destinação do local, após a realização das atividades do empreendimento. Recomenda-se que todo PRAD seja claro, objetivo e factível. O objetivo almejado no PRAD pode ser uma simples recuperação do ambiente degradado a uma situação não degradada, ou a reabilitação, ou a restauração ou mesmo a revitalização do ecossistema.

O principal objetivo na elaboração do PRAD é recuperar a função de uma área degradada e seu ecossistema a uma condição mais próxima de sua condição anterior à degradação (MMA, 2013; SOUZA, 2015; 2018; 2021). É prioritário o plantio de espécies nativas para promover a reintegração de plantas e animais na área. As principais estratégias do PRAD são as operações de restauração e reabilitação dos locais afetados pelas atividades produtivas, principalmente:

- ✓ Medidas de sistematização de terreno.
- ✓ Restabelecimento da cobertura vegetal.
- ✓ Plantio de espécies arbóreas por muda.
- ✓ Semeadura direta (“muvucas de sementes”).
- ✓ Técnicas nucleadoras.
- ✓ Condução da regeneração natural.
- ✓ Outras.

5. Adubação verde em áreas degradadas

A prática da adubação verde é considerada uma tecnologia que objetiva fornecer para o agroecossistema, matéria orgânica e nitrogênio (N), oriundo da fixação biológica com bactérias. Adubação verde é a incorporação no solo de uma massa não decomposta de plantas cultivadas, a fim de preservar e, ou, recuperar a produtividade das terras cultiváveis (RAGOZO et al., 2014).

De acordo com Fávero et al. (2008), em regiões onde há limitações ambientais à regeneração natural, esta pode ser intensificada por meio de espécies facilitadoras. Nesse caso, normalmente são usadas espécies da família das fabáceas: apresentam certas características importantes para a RAD.

Ecologicamente, são espécies com boa adaptação a diversas condições edafoclimáticas. O uso como adubo verde pode ser visto como uma prática muito importante para o agroecossistema, promovendo melhorias ao solo e ao ambiente (NOGUEIRA et al., 2012).

A inclusão de plantas dessa família pode promover benefícios. Segundo Silva; Menezes (2007), o motivo maior para essa preferência está em sua capacidade de simbiose com bactérias fixadoras do N₂ (nitrogênio) atmosférico. Esses mesmos autores mencionam também a rusticidade, a alta produção de matéria seca e o sistema radicular, normalmente, profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo e romper camadas adensadas.

O objetivo no uso dos adubos verdes é promover um ambiente favorável para que plantios simultâneos com outra espécie tenham melhores chances de progresso, reduzindo a mortalidade e melhorando o desenvolvimento das espécies (BELTRAME; RODRIGUES, 2008).

A prática do Sistema de Plantio Direto – SPD, por exemplo, sem a utilização de herbicidas é um dos grandes desafios da atualidade para a pesquisa em agroecologia. A implantação de rotação de culturas com grande produção de matéria vegetal para cobrir o solo, na forma de adubação verde com gramíneas e leguminosas, apresenta-se como uma das opções para solucionar tal problema (SOUZA; RESENDE, 2014).

5.1. Plantas leguminosas com potencial para adubação verde

Em áreas degradadas por mineração é comum se encontrarem metais pesados presentes no solo entre os seus principais contaminantes. É muito importante saber escolher espécies capazes de tolerar e imobilizá-los, sendo fundamental que as mesmas apresentem elevada produção de massa seca da parte aérea, onde as maiores concentrações de metais pesados devem estar presentes para que se tenha eficiência no processo de remediação (SCRAMIN et al., 2001; ANDRADE et al., 2009).

De acordo com Lasat (2002), essas plantas devem possuir elevada tolerância ao metal, capacidade de absorção e translocação de altas concentrações do metal da raiz para a parte aérea e obter alta produção de biomassa.

Um pequeno grupo de variáveis químicas, físicas e biológicas, estudadas ao passar do tempo, é capaz de identificar as modificações da qualidade do solo de acordo com o manejo (LARSON; PIRCE, 1994). A recuperação da área pode ser alcançada com a utilização de sistemas de manejo com o uso de plantas recuperadoras de solo, como as fabáceas e gramíneas, que contêm maiores quantidades de N na sua biomassa, aumentando o teor da matéria orgânica - subsequente do seu crescimento acelerado, proporcionam a recuperação das características físicas, químicas e biológicas do solo (BERTONI et al., 1972; MIYASAKA, 1984; SOUZA, 2015; CRESPO et al., 2022). Estas espécies de plantas promovem, com o tempo, uma melhoria nas características químicas, restrita inicialmente às camadas superficiais (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Onde se pratica o plantio direto, depois da colheita as plantas de cobertura são introduzidas nas áreas de cultivo. Os adubos verdes têm o papel de proteger a superfície e melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo, beneficiando as culturas comerciais. Para escolher a espécie adequada a cada situação, é preciso prestar atenção a uma série de fatores.

Para Fontanetti (DIÁRIO VERDE, 2020), na agricultura convencional, baseada em sementes transgênicas e uso intensivo de herbicidas e outros aditivos químicos, esse controle é feito principalmente por meio do glifosato (N-(fosfonometil) glicina). Na agricultura orgânica, a principal forma de controle adotada, até aos dias atuais, tem sido o revolvimento do solo. De acordo com essa mesma autora, com a exposição ocorre perda de matéria orgânica e aumento da susceptibilidade à erosão; ou seja, o início de um processo de degradação do solo: objetivo contrário à agricultura orgânica.

Assim, a ideia que norteou seu estudo foi substituir a prática do revolvimento pelo cultivo de plantas que, consorciadas com o milho, promovessem a cobertura do terreno, evitassem a emergência e proliferação de ervas daninhas e melhorassem a qualidade do solo, por meio da reciclagem natural de nutrientes. Para cumprir tal função, os “adubos verdes” não podem competir com o milho, posto que reduziriam a produtividade.

A barreira proporcionada pelos “adubos verdes” à proliferação de plantas espontâneas se deve, principalmente, à cobertura física do solo - reduz a incidência dos raios solares e, por decorrência, dificulta a quebra de dormência e a germinação das sementes de ervas daninhas. Um fator adicional pode ser a

liberação de metabólitos secundários, com função herbicida, pelas folhas e raízes ou pela decomposição da palha dos “adubos verdes” (FONTANETI, DIÁRIO VERDE, 2020).

De acordo com a EPAGRI (2020), quanto às necessidades da cultura comercial, cada espécie de planta de cobertura pode ter efeitos diferentes sobre as culturas implantadas na sequência. Técnicos e extensionistas da EPAGRI de Atalanta, SC, recomendam que se leve em consideração o fator mais limitante na produção da cultura comercial: se uma cultura é altamente exigente em N, como o milho, é interessante que entre as culturas que estão nessa área haja alguma fabácea, por o fixarem naturalmente. Alguns exemplos de fabáceas são o tremoço (Figura 9), as ervilhacas, a ervilha forrageira, as mucunas, o feijão de porco e o guandu anão.



Figura 9. Tremoço produz bastante massa seca e é capaz de fixar nitrogênio no solo. Fonte: EPAGRI (2020).

No caso da fruticultura, por exemplo, a situação é diferente. Caso haja muita fixação de N no solo, isso poderá aumentar a incidência de doenças na videira e diminuir o grau brix da uva. Nos pomares, é preciso analisar se a florada da planta de cobertura pode competir com a florada da cultura principal, já que as fruteiras dividem a área com as espécies de cobertura. Nos pomares catarinenses, a aveia preta, o nabo forrageiro e consórcios de aveia preta com

ervilhaca ou com nabo são as plantas de cobertura mais comuns (EPAGRI, 2020).

Com relação à **produção de fitomassa**, em um solo com baixo teor de matéria orgânica, deve-se incluir plantas de cobertura que fixam maior quantidade de carbono em menor tempo, que tenham raízes agressivas e profundas e bastante massa seca, como milho, capim sudão, braquiária, nabo forrageiro ou tremoço. De acordo com a EPAGRI (2020), ao longo de anos, ter-se-á um solo com características físicas muito parecidas com as originais após a retirada da mata nativa.

Para esses mesmos autores, de nada resolve que a planta de cobertura tenha as características desejadas, se o produtor não tiver condições de manejá-la adequadamente. No caso de plantas que produzem bastante massa seca, é preciso ter equipamentos adequados para incorporá-las e implantar os cultivos em sucessão (Figura 10). Ou seja, é importante saber se o produtor tem as ferramentas para colher, armazenar e semear adequadamente cada tipo de planta de cobertura. Outro fator importante é a capacidade de produzir sementes em quantidade suficiente para aumentar a área de cultivo.



Figura 10. Rolo-faca utilizado para plantio direto. Fonte: EPAGRI (2020).

5.2. Características da planta de cobertura

É fundamental conhecer o comportamento da planta de cobertura antes de levá-la a campo. De acordo com EPAGRI/CEPAF (2020), características importantes há de se observar na hora da escolha, tais como: “velocidade de crescimento inicial, eficiência na cobertura do solo, capacidade de reciclagem de nutrientes, sistema radicular profundo e bem desenvolvido, elevada produção de fitomassa, resistência à seca, resistência à geada, baixo nível de ataque de pragas e doenças, tolerância à baixa fertilidade, capacidade de adaptação a solos degradados e não ter comportamento de invasora”.

Com relação à época de semeadura, de acordo com a EPAGRI (2020), existem plantas de cobertura mais indicadas para cultivo no verão e outras para o inverno. No entanto, usam-se essa denominação apenas para identificar as espécies, uma vez que a época de plantio ocorre a partir do momento em que o solo não se encontra cultivado com uma cultura comercial. Em função do tamanho dessa janela e da próxima cultura é que o agricultor vai escolher a planta de cobertura.

Para esses mesmos autores, as **espécies de inverno**, chamadas plantas de cobertura de inverno, são aquelas semeadas desde o fim do verão (início de março) até o início do inverno (junho). As principais são a aveia preta, aveia branca, centeio, azevém, tremoço branco, tremoço azul, ervilha forrageira, ervilhaca comum, ervilhaca peluda, gorga¹⁷ e nabo forrageiro.

Com relação às espécies de verão, as plantas de cobertura podem ser semeadas de meados de setembro até dezembro (onde não há risco de geada, o período pode se estender até o fim do verão). Elas são cultivadas, preferencialmente, entre a colheita da cultura de verão (primeira safra) e a semeadura da cultura de inverno. É o período chamado de janela outonal, no qual o solo tem ficado descoberto, sendo tomado por inços¹⁸, perpetuando pragas e doenças e sofrendo sérios problemas de erosão por causa das chuvas intensas do período (EPAGRI, 2020).

¹⁷ Planta invasora muito frequente na região Sul, infestando principalmente culturas de inverno como trigo, aveias e cevada. Devido ao grande número de sementes produzidas e alta taxa de germinação, forma verdadeiros tapetes de pequenas plantas, que não chegam a se desenvolver completamente em virtude da competição intraespecífica. Tem valor forrageiro.

¹⁸ Quantidade de ervas daninhas que brotam entre plantas cultivadas.

As espécies de verão mais comuns são as mucunas, as crotalárias, feijão-de-porco, guandu anão, caupi ou feijão miúdo, teosinto, milheto, capim sudão, sorgo e trigo mourisco (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2011).

Em trabalho realizado por Fontanetti (DIÁRIO VERDE, 2020), além do Feijão guandu anão, que apresentou o melhor resultado, outras plantas testadas com tradição de uso na alimentação animal, foram: a puerária (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth); o calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.); e a soja perene (*Neonotonia wightii* (Wight & Arn) Lackey)). São plantas herbáceas baixas, menores do que o guandu e bem menores do que o milho. O melhor resultado foi obtido com o calopogônio, que mais rapidamente cobriu o solo, evitando a emergência de plantas daninhas.

Dentre as espécies de plantas leguminosas com potencial para adubo verde elevado, as mais utilizadas em regiões tropicais são a crotalária, o feijão-de-porco e a mucuna (EIRAS; COELHO, 2011).

✓ **Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.)**

O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) é uma espécie leguminosa herbácea, anual e de porte ereto, com rápido crescimento inicial, tendo um ciclo curto, 170 a 200 dias, precisando de 90 a 100 dias para florescer (Figuras 11 e 12). É considerada uma espécie rústica ao clima e de fertilidade do solo - a cultura proporciona uma total cobertura do solo (RODRIGUES et al., 2004).

Das espécies designadas à fitorremediação, o feijão-de-porco vem se destacando pelo seu considerável potencial de tolerar e acumular metais pesados. Esta cultura é bastante cultivada em regiões de clima tropical e apresenta rápido crescimento inicial, sendo eficiente também no controle de plantas invasoras. Adapta-se tanto aos solos argilosos quanto arenosos; quanto à fertilidade, tem pouca exigência (ROCHA; RIBEIRO; DA SILVA, 2020).



Figura 11. Área sob plantio de feijão-de-porco. Fonte: EPAGRI (2020).



Figura 12. Área sob plantio de feijão-de-porco e a cobertura/proteção do solo. Fonte: EPAGRI (2020).

Uma das principais características dessa cultura é a sua elevada produção de massa verde e seca: por isso, muito usada no manejo de solos - produz de 20 a 40 toneladas de massa verde, 3 a 6 toneladas de massa seca, o N fixado com o reciclado varia de 80 a 160 kg ha⁻¹. A quantidade de nutrientes contidos na matéria seca afirma o potencial de contribuição dessa leguminosa à reciclagem de nutrientes no solo, principalmente do N absorvidos do ar atmosférico e fixados nos nódulos em suas raízes (VALADÃO JÚNIOR et al., 2020).

Corrêa et al. (2016), em trabalho sobre desempenho de espécies leguminosas para adubação verde no oeste do Pará, o objetivo foi estudar o potencial de três (3) espécies de feijão (feijão-de-leite, feijão guandu e feijão-de-porco) como adubos verdes. Diante dos resultados, concluíram que o feijão-de-porco se destacou por apresentar maiores valores para produção de fitomassa (Tabela 1).

Deve-se considerar que o maior e principal efeito do manejo utilizando essa leguminosa é em relação ao aporte de matéria orgânica no solo, produzida pela sua biomassa, incorporada ou aplicada como cobertura morta, gerando benefícios de aspectos biológicos e químicos (LOPES, 1998) (Figura 13).

Tabela 1. Desempenho de espécies leguminosas para adubação verde no Pará

Variáveis/espécies	Altura plantas (cm)	Diam. caule (cm)	Comp. Raiz (cm)	Diam. Folha (cm)	Número folhas (un)	Matéria fresca (mg.ha)	Matéria seca (mg.ha)
Feijão-de-porco	40,00a	0,57 ^a	20,30 ^a	6,20a	27,50 ^a	7,04a	1,90 ^a
Feijão-de-leite	52,67 ^a	0,43 ^a	20,33 ^a	2,33b	43,67 ^a	1,87b	0,70b
Feijão guandu	28,50 ^a	0,38 ^a	13,50 ^a	3,53ab	21,83 ^a	2,21b	0,53b

Fonte: Corrêa et al. (2015).

* Valores das variáveis analisadas das três espécies aos 90 dias após semeadura. Letras iguais na mesma coluna indicam a semelhança estatística entre as espécies.



Figura 13. Área sob plantio de feijão-de-porco em consórcio com milho. Fonte: Grãos orgânicos (2020).

Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento vegetativo do feijão-de-porco, cultivado para adubação verde em plantios do cafeeiro em sistemas sombreados ou arborizados frente ao cultivo a pleno sol, um trabalho foi conduzido por Ricci; Menezes (2018). O experimento foi constituído por três sistemas de cultivo do café Conilon (*Coffea canephora*): café arborizado com *Gliricidia sepium*, café com *Erythrina poeppigiana* e café a pleno sol. Em cada entrelinha do cultivo do café, foram semeadas duas linhas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*, L.).

Como resultados, observou-se que a maior produção de biomassa seca da parte aérea do feijão-de-porco ($3,30 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi obtida no café com gliricídia, assim como maiores acúmulos de nitrogênio e magnésio nas folhas; enquanto o número e o peso fresco das vagens e o número de sementes por vagem, foram significativamente menores. Portanto, o sombreamento com gliricídia promoveu maior desenvolvimento da parte aérea em detrimento à parte reprodutiva do feijão-de-porco, concluindo que este é uma espécie com potencial para adubação verde de cafezais arborizados.

✓ **Feijão guandu (*Cajanus cajan*)**

O feijão guandu (*Cajanus cajan*), também conhecido como “andu”, é uma fabácea oriunda da África e bastante difundida em todo o Brasil (ROCHA et al., 2017). De acordo com Rayol; Alvino-Rayol (2012), produz muita biomassa na parte aérea: indica-se o seu uso como adubo verde em áreas de reflorestamento, na alimentação animal, na rotação de culturas, como adubação verde, entre outros. É um arbusto semi perene do qual o ciclo inicia da semeadura até o pleno florescimento que persiste entre 80 (variedades anãs) e 180 dias (variedades normais) (FORMENTINI et al., 2008).

A Embrapa Pecuária Sudeste, em parceria com a Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras (Unipasto), tem feito um trabalho de divulgação sobre o Guandu BRS Mandarin para recuperação de pastagens degradadas (Figura 14). Em sistemas de integração com braquiária, a fabácea tem contribuído para restabelecer a fertilidade do solo e melhorar o desempenho animal, substituindo o farelo de soja e o amendoim pelo feijão Guandu BRS Mandarin, cujo teor de proteína na matéria seca está em torno de 15% (EMBRAPA, 2019).



Figura 14. Feijão guandu usado na terminação de bovinos. Fonte: EMBRAPA (2019).

O feijão guandu é muito usado na RAD ao ser inserido como adubo verde, pois apresenta características que promovem benefícios aos atributos físicos e químicos do solo em médio e longo prazo (RAYOL; ALVINO-RAYOL, 2012). Em regiões semiáridas, são usadas como fonte de cobertura morta, com o objetivo de reter maior umidade em áreas de baixa precipitação (FERREIRA et al., 2016). Por ser uma fabácea, a adubação verde é uma atividade indicada para áreas degradadas: utiliza a própria parte vegetativa para cobrir e proteger o solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Em trabalho realizado por Fontanetti (DIÁRIO VERDE, 2020), o feijão guandu foi a melhor planta para fazer consórcio com o milho orgânico: dificultou a invasão por ervas daninhas e aumentou o teor de N do cereal que é usado na gastronomia. De acordo com essa mesma autora, tal uso não é novidade, posto que a Embrapa desenvolveu um modelo, chamado ‘Santa Brígida’, para o plantio consorciado.

Porém, de acordo com essa mesma autora, tal manejo vinha sendo realizado no modelo da agricultura convencional, com uso de herbicidas. Nesse trabalho, o objetivo foi estabelecer um manejo para a produção orgânica. Foram testadas plantas para o consórcio: dentre elas, a que apresentou o melhor resultado foi o feijão guandu anão (*Cajanus cajan* L.). Trata-se de uma planta de porte pequeno, que demora mais tempo para germinar do que o milho; por isso, confere a este uma vantagem competitiva. Verificou-se que o guandu anão não afetou a produtividade do milho, dificultou a proliferação de plantas espontâneas e aumentou o teor de N nas plantas de milho – o que pode contribuir para o incremento de biomassa e de produtividade.

Além de ser uma planta de interesse gastronômico, outro uso possível é como planta forrageira na alimentação animal: soltando-se o gado na área cultivada depois da colheita do milho. De acordo com essa mesma autora, vários testes foram feitos para descobrir também a melhor forma de plantio - o guandu anão, tanto nas entrelinhas das fileiras de milho, quanto nas próprias linhas, respondeu de forma adequada.

De acordo com a Revista Campo Negócio (2017), por estar adaptado aos solos tropicais e subtropicais, o feijão guandu pode ser utilizado em várias condições agroecológicas no País, principalmente como adubo verde: visando proteção, recuperação e mobilização de nutrientes em áreas degradadas ou em

cultivo. Colabora, sobretudo, para o fornecimento de N (fixação simbiótica com bactérias), para o aumento da matéria orgânica e da fertilidade do solo, além de muitos outros benefícios em características físicas e biológicas do solo e também em características agronômicas de culturas em esquemas de rotação ou sucessão, de faixas intercalares ou com as espécies florestais.

Além disso, o consórcio tecnicamente bem planejado de espécies florestais com lavouras de grãos e, ou, adubos verdes/pastagens, podem contribuir, também, para a redução dos custos de implantação e manutenção de um cultivo florestal, além da contribuição à conservação e, ou, preservação da biodiversidade.

Em áreas mineradas, pode apresentar resultados bastante satisfatórios: é considerada o “zebu” das leguminosas, devido à sua rusticidade, mantendo-se verde durante todo o ano - característica que pode ser atrativa em condições de degradação e procedimentos de recuperação, devido ao estabelecimento de uma cobertura vegetal mais duradoura nessas áreas. De acordo a Revista Campo Negócio (2017), o guandu pode fixar valores variáveis de N entre 37 a 280 kg ha⁻¹ ano e, conseqüentemente, para o aumento deste nutriente e de matéria orgânica no solo.

✓ **Crotalária (*Crotalaria* spp)**

A crotalária é uma leguminosa plantada em toda região tropical. Desenvolve-se bem em solos pobres, incluindo os arenosos de diferentes fertilidades e bem drenados (Figura 15). Exige calor, luz e umidade, tolerando geadas leves (CALEGARI, 1993; FERREIRA et al., 2016).



Figura 15. Área sob plantio de crotalária como adubo verde para o cultivo de mini-milho no Ifes campus de Alegre. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2017).

O gênero *Crotalária* possui diferentes espécies com aspectos favoráveis para a rotação de culturas, bastante definidas na literatura, ressaltando-se: 1) Eficácia na simbiose, com bactérias capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (REIS et al., 2017; ARF et al., 2018); e 2) Controle eficiente dos principais nematoides que causam danos as culturas da soja e do milho (COSTA et al., 2014; DEBIASE et al., 2016). Sendo assim, a crotalária apresenta aspectos de grande importância na melhoria da eficácia da utilização de fertilizantes, no acréscimo de matéria orgânica no solo, assim como na redução da suscetibilidade e de prejuízos resultantes de quesitos fitossanitários (GARCIA; STAUT, 2018).

Segundo Garcia; Staut (2018), dentre as diferentes espécies de crotalárias, a crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), a crotalária ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*) e a crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*) estão entre as mais difundidas, tanto cientificamente quanto no âmbito produtivo, visto que existe uma maior disponibilidade de sementes no mercado. Entretanto, as espécies possuem atributos diferentes entre si, o que pode afetar na tomada de decisão para certas práticas agrícolas, tais como espaçamento entrelinhas, população de plantas, época de plantio, manejo para dessecação.

Chieza et al. (2017) avaliaram diferentes maneiras de manejo do consórcio entre milho e *Crotalaria juncea* L., que possam otimizar a produção “in situ” de massa vegetal, sem afetar o potencial produtivo do milho. A *Crotalaria juncea*, quando plantada na primavera-verão, mostrou potencial para disponibilizar N ao milho como alternativa à adubação nitrogenada de cobertura.

✓ **Mucuna (*Mucuna* spp.)**

O gênero *Mucuna* Adans. (Leguminosae, Faboideae, Phaseoleae) apresenta cerca de cem (100) espécies difundidas nas regiões tropicais e subtropicais, principalmente no “Velho Mundo” (SCHRIRE, 2005). Neste gênero, existe a espécie *Mucuna pruriens* (L.) DC. (Leguminosae, Faboideae), que possui valor econômico, sendo importante para o ciclo do N e como adubo orgânico (ORTIZ-CEBALLOS et al., 2007), bem como propriedades medicinais (SALAT; TOLOSA, 2013; SILVA-LÓPEZ; VIDAL, 2010).

A espécie *Mucuna pruriens* (L.) DC é uma das mais adotadas na adubação verde, além de *Canavalia ensiformis* (L.) DC. e *Crotalaria* spp.

(ESPÍNDOLA; ALMEIDA; GUERRA, 2004). A *Mucuna pruriens* é presente em toda a região neotropical com muitos indicativos de que seja uma planta subespontânea no continente americano (MOURA, 2013).

Dentre as diversas espécies de mucuna, as principais são: mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), mucuna cinza (*Stylobium cinereum*) e mucuna preta (*Stylobium aterrimum*) (Figuras 16 e 17).



Figuras 16 e 17. Área sob plantio de feijão-guandu e de mucuna. Fonte: Grãos orgânicos (2020).

A mucuna preta é uma espécie anual que desenvolve bem em regiões tropicais e subtropicais. Exige climas quentes, invernos amenos, sem ocorrência de geadas, sendo tolerantes à seca. Desenvolve tanto nos solos arenosos como nos argilosos e intermediários, podendo também tolerar solos ácidos, sombreamento, altas temperaturas e encharcamento por pequenos períodos (CALEGARI, 1993). A mucuna anã apresenta hábito herbáceo determinado com altura de 0,6 a 1,0 m. Tem um bom crescimento em solos tropicais e subtropicais, apresentando resistência à seca e baixa exigência quanto à fertilidade. Planta de mediana rusticidade, pode ser adotada como adubo verde.

6. Considerações finais

A mineração é uma prática bastante importante para a economia: porém, gera aspectos e impactos negativos sobre o ambiente, tais como desmatamento, assoreamento de rios, impactos visuais na paisagem e redução da fauna e da flora.

Em todo o mundo, tem-se observado que um dos principais fatores de degradação ambiental é a falta de políticas de uso e ocupação do solo – caso clássico do que acontece no Brasil. Com relação às políticas de regulamento de uso do solo e preservação de APP, por exemplo, acredita-se que a conservação

restrita a uma área pode apenas deslocar o uso e a atividades para outro lugar, resultando em aumento do desmatamento no entorno: pode anular ou reduzir os resultados positivos de tal regulamentação.

Diante disso, a recuperação de áreas degradadas por mineração e na sua área de influência indireta, é uma ferramenta bastante adotada e eficiente para o sucesso dos procedimentos de recuperação. Recomenda-se o uso de espécies vegetais resistentes e de potencial regenerador do solo para o uso como adubos verdes. Nesse aspecto, as espécies de fabáceas se destacam: devido à elevada quantidade de N na sua biomassa e o aporte da matéria orgânica, contribuindo para a recuperação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Dentre as fabáceas com elevado potencial para adubação verde, algumas se destacam em regiões tropicais, como o feijão-de-porco, feijão guandu, a crotalária e a mucuna, na recuperação de áreas que foram degradadas pela atividade minerária.

7. Referências

ADANI, F.; GENEVINI, P.; RICCA, R.; TAMBONE, F.; MONTONERI, E. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application. **Waste Management**, Padova, v. 27, n. 3, p. 319-324, 2007.

ALBA, J. M. F. **Recuperação de áreas mineradas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 360, 2010.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUSA, Z. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2505-2516, 2008.

ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006, 133 p. (Dissertação de Mestrado).

ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 153-162, 2018.

AZAM, S.; LI, Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years, **Geotechnical News**, n. 5, p. 50-53, 2010.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência Solo**, n. 21, p. 235-239, 1997.

BELTRAME, T. P.; RODRIGUES, E. Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. **Scientia Forestalis**, v. 36, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do Solo**. 7ª Edição, Editora Ícone. São Paulo, SP, 2008. 355 p.

BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1972. 56 p. (Circular, 20).

BORGES, A. A.; LUZ, J. A. M. da; FERREIRA, E. Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito Ouro Preto, REM - **Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p. 29-34, 2008.

BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas com forrageiras e cafeeiro pós-mineração de bauxita**. 2013. 124 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BOVENDORP, R. S.; BOFF, S.; FUJIKAWA, A.; NISHIMURA, P. Y. **Seleção sexual e aborto de sementes no feijão-da-praia *Sophora tomentosa* (Fabaceae)**. In: Livro do curso de campo “Ecologia da Mata Atlântica”, p. 1-5, 2009. Disponível em:

<http://ecologia.ib.usp.br/curso/2009/pdf/PO3/PO3_mani_de_la_playa.pdf>.

Acesso em: 03 abr. 2017.

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: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605. Acesso em: 13 out. 2019.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. (1993) **Adubação verde no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria de Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 346 p.

CAMPOS, F. C.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 796-803, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, N total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 621-632, 2008.

CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, E. D. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 189-196, 2017.

COLODRO, G.; ESPINDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo em resposta aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 28, p. 1-5, 2006.

CONHECIMENTOCIENTIFICO. **Barragem de rejeito e desastre ambiental: É hora de mudar os conceitos?** 2019. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/barragem-de-rejeito-e-desastre-ambiental-e-hora-de-mudar-os-conceitos/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CORRÊA, M. L. P.; SILVA, G. R. C.; FERREIRA, T. O.; SILVA, D. N. Desempenho de espécies leguminosas para adubação verde no Oeste do Pará. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

CORRÊA, R. S.; BENTO, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1435-1443, 2010.

CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M.; SANTOS, P. F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 538-544, 2010.

COSTA, M. J. N. da; PASQUALLI, R. M.; PREVEDELLO, R. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 1, p. 63-70, 2014.

COSTA, T.; de SOUZA, F. A.; NETTO, D.; de ALMEIDA, L. G.; ROCHA, H.; VIANA, J.; ARAÚJO, N. (2018). **Estabelecimento de espécies arbóreo-arbustivas no rejeito de minério de ferro da barragem de Fundão em Mariana-MG, tratado com calcário, fertilizantes e microrganismos**. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. C.; ARAÚJO, J. B. S.; RANGEL, O. J. P.; SOUZA, J. L. de; GONÇALVES, D. da C. The green

corn development and yield on different summer soil covering plants in the organic no-tillage system. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS) Peer-Reviewed Journal**. ISSN: 2349-6495 (P) | 2456-1908 (O). v. 9, n. 3; p. 217-225, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.93.27>.

DE ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II-Formas e disponibilidade para plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1889-1898, 2009.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

DIÁRIO VERDE. **Adubação verde protege o milho orgânico contra ervas daninhas**. Disponível em: <https://diarioverde.com.br/adubacao-verde-protege-o-milho-orgânico-contra-ervas-daninhas>. Acesso em: 18 abr. 2022.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1988. 252 p.

EIRAS, P. P.; COELHO, F. C. Utilização de leguminosas na adubação verde para a cultura de milho. **InterSciencePlace**, v. 1, n. 17, 2015.

EMBRAPA. **Guandu BRS Mandarin para recuperação de pastagens degradadas**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pecuaria-sudeste>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EPAGRI. **Como escolher as plantas de cobertura**: confira dicas da Epagri. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/noticias/938/como-escolher-as-plantas-de-cober-tura-confira-dicas-da-epagri>. Acesso em: 23 abr. 2022.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. 2004. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia. Doc. 174 p. 13 (Embrapa CNPAB). ISSN 1517-8498.

FÁVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de áreas degradadas com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

FERNANDES, E. A.; SANTOS, H. I. **Análise da operação da barragem de rejeitos da Mineração Serra Grande S.A., Município de Crixás, Goiás. Goiânia, 2008.** Disponível em: <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/barragemfeitos/mineracao/serra/grande/>. Acesso em: 24 fev. 2017.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S. LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 15, n. 1, p. 228-246, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/19594/pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

FORMENTINI, E. A. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória: Incaper. p. 27, 2008.

FRANCO, A. M. P. **Erosão em entressulcos e qualidade física de solos construídos após mineração de carvão**. 2010. 108 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GARCIA, R. A.; STAUT, L. A. **Como inserir crotalária em sistemas de produção de grãos**. Embrapa Agropecuária Oeste-Circular Técnica (INFOTECA-E). 2018.

GRÃOS ORGÂNICOS. **Feijão-de-porco em consórcio com milho**. Disponível em: <https://www.graoorganico.com.br/graoorganico/2020/01/13/feijao-de-porco-em-consorcio-com-milho/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minérios de ferro visando a sua disposição em pilhas**. Belo Horizonte: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgicas e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado). 2011. 110 p.

IBAMA. **Licenciamento ambiental na mineração**. 2020. Disponível em: www.ibama.gov.br/174-licenciamento-ambiental/mineracao. Acesso em: 12 abr. 2022.

ICOLD. **Tailings dams-risk of dangerous occurrences**. Lessons learnt from practical experiences. Paris: Committee on Tailings Dams and Waste Lagoons. 2001.

INSTITUTO MINERE. **Premissas dos rejeitos em projetos de pilhas de filtrados**. 2021. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/O-minimo-que-voce-precisa-saber-sobre-projetos-de-pilhas-de-rejeito-filtrado>. Acesso em: 16 mar. 2022.

LARSON, W. E.; PIRCE, F. J. The dynamics of soil quality as measure of sustainable management. In: DORAM, J. W. et al. (eds.) **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, American Society of Agronomy, 1994. p. 37-51.

LASAT, M. M. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 109-120, 2002.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. de. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**. Instituto Agrônomo de Campinas, v. 70, n. 1, p. 139-146, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/28225>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

LONGO, R. M.; SOUZA, C. A., SOLERA, M. L., IKEMATSU, P., CAMPOS, S. J. A. M.; BITAR, O. Y. Recuperação de áreas degradadas por mineração: associação de técnicas de bioengenharia de solos com geração e manutenção de serviços ecossistêmicos. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 3, n. 12, 2019.

LOPES, O. M. N. **Feijão-de-porco leguminosa para adubação verde e cobertura de solo**. Recomendações básicas 37. Embrapa Amazônia Oriental. Abril, 1998, p. 1-4.

LOTTERMOSER, B. G. **Mine wastes-characterization, treatment, and environmental impacts** (3rd ed.). Dordrecht: Springer. 2010.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MENDES, M. B. **Comportamento Geotécnico de uma barragem de rejeito de minério de ferro alteada para montante**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). 2007. 189 p.

MIDIANINJA. **3 anos do maior crime ambiental do Brasil**: o rompimento da barragem do Fundão em Brumadinho. 2022. Disponível em: <https://midianinja.org/brumadinho/>. Acesso em: 13 fev. 2022.

MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Adubação verde no Brasil**. Campinas, 1984. p. 64-124.

MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1489-1498, 2009.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 139 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100645>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MOURA, T. M. **Filogenia de *Mucuna* Adans. (Leguminosae-Papilionoideae) e taxonomia das espécies ocorrentes no continente americano**. 389 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

NASCIMENTO, M. R.; JAEGGI, M. E. P. C.; SOUZA, M. N. Efeito da adubação verde na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista UniVap**, v.22, p.698-713, 2017.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A. S.; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 2121-2131, 2012.

ORTIZ-CEBALLOS, A. I.; PEÑA-CABRIALES, J. J.; FRAGOSO, C.; BROWN, G. G. Mycorrhizal colonization and nitrogen uptake by maize: Combined effect of tropical earthworms and velvetbean mulch. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 181-186, 2007.

PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; BULISANI, E. A.; KASAI, F. S. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, p. 115-120, 2006.

PENNA, L. R. **Estudo da construção de aterros em depósitos estratificados de rejeitos de mineração**. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 170 p. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005, 185 p. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, I. M. **Revegetação de taludes**. Departamento de Engenharia Florestal - DEF Florestal/DEF Lab. de Conservação de Ecossistemas e Recuperação de Áreas Degradadas. Apresentação em *Power point*. Lavras: UFLA. 2018. Disponível em: [https://pereiraim.webnode.com.br/_files/200000056-9ceae9de4f/aula%20revegetação %20de%20taludes.pdf](https://pereiraim.webnode.com.br/_files/200000056-9ceae9de4f/aula%20revegetação%20de%20taludes.pdf). Acesso em: 21 abr. 2022.

PIGNARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, 2009.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta**. Belo Horizonte: Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013, 154 p. (Dissertação de Mestrado).

RAGOZO, C. R. A.; LEONEL S.; TECCHIO, M. A. Nutritional balance and yield for green manure orange trees. **Ciencia Rural**, n. 44, p. 616-621, 2014.

RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. L. Uso de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) para adubação verde e manejo agroecológico de plantas espontâneas em reflorestamento no estado do Pará. **Rev. Bras. de Agroecologia**, v. 7, n. 1,

p. 104-110, 2012. Disponível em: <http://orgprints.org/22977/1/Rayol_Uso.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.

REIS, A. F. B.; ALMEIDA, R. E. M.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; NASCENTE, A. E. Effect of cover crops on soil attributes, plant nutrition, and irrigated tropical rice yield. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 837-846, 2017.

REVISTA CAMPO NEGOCIO. **Feijão guandu – Fonte de nitrogênio para as florestas**. 2017. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/feijao-guandu-fonte-de-nitrogenio-para-as-florestas/>. Acesso em: 2 maio 2022.

RICCI, M. dos S. F.; MENEZES, M. B. Desenvolvimento do feijão de porco plantado para adubação verde do cafeeiro cultivado sob manejo orgânico e arborizado. **Sci. agric.**, v. 92, n. 12, p. 138-144, 2018.

RICO, M.; BENITO, G.; SALGUEIRO, A. R.; DíEZ-HERRERO, A.; PEREIRA, H. G. Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context. **Journal of Hazardous Materials**, n. 152, p. 846–852, 2008.

ROCHA, R. G. L.; RIBEIRO, M. C. C.; DA SILVA, F. D. B. Desenvolvimento inicial do feijão guandu em diferentes profundidades e posições da semente na vagem. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 297-301, 2017.

RODRIGUES, J. E. L. F.; ALVES, R. N. B.; LOPES, O. M. N.; TEXEIRA, R. N. G.; ROSA, E. S. **A Importância do feijão-de-porco (Canavalia ensiformis DC.) como cultura intercalarem rotação com milho e feijão-caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA**. Comunicado Técnico- Embrapa. Belém - PA. n. 96, 2004.

SALAT, D.; TOLOSA, E. 2013. Levodopa in the treatment of Parkinson's disease: current status and new developments. **Journal of Parkinson's disease**, v. 3, n. 3, p. 255-269. Doi: 10.3233/JPD-130186.

SCHRIRE, B. D. Phaseoleae. In: LEWIS, G.; SCHRIRE, B.; MACKINDER, B.; Lock, M. Legumes of the world. **Royal Botanic Gardens**, Kew, p. 393-431, 2005.

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. de; SILVA, C. M. M. S.; SCRAMIN, S.; SPESSOTO, A. (Ed.). **Biodegradação**. Jaguariuna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 369-371, 2001.

SILVA, T. O. da; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II- Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.1, p. 39-49, 2007.

SILVA-LÓPEZ, R. E.; VIDAL, N. N. M. *Mucuna pruriens* (L.) DC (Leguminosae). **Revista Fitos Eletrônica**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 34-42, 2010. ISSN 2446-4775.

SILVESTRINI, T. A. M. **Projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto: possíveis implicações dos usos futuros aplicados às áreas visando à segurança e estabilidade dos solos construídos.** 71p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **Relatório de Segurança de Barragens 2015.** Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores/2015-1>. Acesso em: 10 maio 2022. 2015. 168 p.

SOUZA, J. L. de; REZENDE, P. **Manual de horticultura orgânica.** 3 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 841p.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental.** Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 376 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais.** Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 376 p.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021. 133 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. 2011. **EIA Technical Review Guideline: Non-Metal and Metal Mining.** 1 v., part. 1. United States: EPA, 196p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/mining_vol1.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SOUZA, F. F. DE L.; VALADÃO, F. C. de A.; POLIZEL, C. R.; SILVA, R. G. da. Desenvolvimento do feijão-de-porco em latossolo submetido à compactação. **Agronomic Crop Jornal**, v. 29, n. 3, p.348-364, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n3p348-364>.

VALCARCEL, R.; VALENTE, F. D. W.; MOROKAWA, M. J.; CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, C. R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 923-930, 2007.

VALE. Projeto Ferro Carajás. 48 p. 2012. Disponível em:< <http://www.vale.com/PT/aboutvale/initiatives/s11d/Documents/Final-BookS11D-PORT.pdf>>. EMBRAPA. **Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária.** 2015.

VEJA.ABRIL. **Barragens da Vale licenciadas irregularmente.** 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/barragem-de-brumadinho-foi-ampliada-sem-licenca/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

WISE, World Information Service on Energy (2017). **Chronology of major tailings dam failures**. Available at: <http://www.wiseuranium.org/mdaf.html>. Last webpage update on 3 Apr 2017.

Autores

Priscila Moreira Curtis Peixoto, Evaldo de Paula, Credigar Gonçalves Moreira, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Igor Borges Peron, Maria Amélia Bonfante da Silva, Maurício Novaes Souza*

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

* Autor para correspondência: mauricios.novaes@ifes.edu.br