

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

**PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS A FONTES DE
ADUBAÇÃO NA RECUPERAÇÃO INICIAL DE ÁREA DEGRADADA
PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GO**

ÁTILA REIS DA SILVA

Orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Coorientador:

Prof. Dr. Leonardo Santos Collier

Maio - 2014

Inserir cópia ficha da biblioteca

ÁTILA REIS DA SILVA

**PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS A FONTES DE
ADUBAÇÃO NA RECUPERAÇÃO INICIAL DE ÁREA DEGRADADA
PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Coorientador:

Prof. Dr. Leonardo Santos Collier

Goiânia, GO - Brasil
2014

ÁTILA REIS DA SILVA

**PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS A FONTES DE
ADUBAÇÃO NA RECUPERAÇÃO INICIAL DE ÁREA DEGRADADA
PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GO.**

Tese DEFENDIDA em 23 de maio de 2014, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Juarez Patricio de Oliveira Júnior
EA-UFG

Prof. Dr. Emiliano Lobo de Godoi
EEC-UFG

Prof. Dr. Rilner Alves Flores
EA-UFSJ

Profa. Dra. Nara Rúbia de Moraes
EA-UFG

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Presidente da EA-UFG

Goiânia - Goiás
Brasil

Aos familiares, professores e amigos, que
acreditaram em meu trabalho.

DEDICO

Aos que demonstram interesse por
pesquisa.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Goiás, à Escola de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste curso.

Agradeço desde ao mais humilde servidor, ao Reitor da Universidade Federal de Goiás. Em especial, ao torcedor do Goiás e secretário da pós-graduação, Wellington Barbosa Mota.

À minha família, Pai, Mãe, Irmão, Cunhadas, por estarem sempre apoiando nesta caminhada.

À minha mulher, Caroline Ribeiro Tunes, pela paciência e amor incondicional.

Ao professor Dr. Wilson Mozena Leandro, pelas orientações, pela amizade durante o curso e pelos conhecimentos adquiridos com essa pessoa magnífica.

Ao professor Dr. Leonardo Santos Collier, pelas orientações e pela amizade durante o curso.

Aos professores, que me ajudaram durante essa jornada.

A todos os meus amigos pelo companheirismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de estudo.

Ao grupo de estudos de manejo agroecológico do solo (GEMAS), inclusive à participação internacional de todos africanos.

À Empresa de Desenvolvimento em Mineração (EDEM) e à Mineradora Santo Expedito, pelo fornecimento de toda ajuda possível para realização deste projeto.

Ao Ministério do Meio Ambiente e ao Fundo Clima, pela aprovação do projeto.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURA	11
LISTA DE APÊNDICES	12
RESUMO GERAL	13
GENERAL ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.1 DEGRADAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS DE BAUXITA.....	18
2.2 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DE MINERAÇÃO	19
2.3 ADUBAÇÃO VERDE EM ÁREAS DEGRADADAS	21
2.4 USO DE ESPÉCIES NATIVAS	23
2.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	24
2.6 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	25
2.7 REFERÊNCIAS	27
3 DESEMPENHO DE ADUBOS VERDES SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL CULTIVADAS EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GOIÁS	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.2.1 Caracterização do local.....	36
3.2.2 Solo.....	36
3.2.3 Vegetação.....	36
3.2.4 Descrição da área.....	36
3.2.5 Plantas testes	36
3.2.6 Instalação e condução do experimento	36
3.2.7 Variáveis estudadas	40
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.3.1 Primeiro ciclo de plantio.....	42
3.3.2 Segundo ciclo de plantio.....	44
3.4 CONCLUSÃO.....	48
3.5 REFERÊNCIAS	49
4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DEGRADADO POR MINERAÇÃO DE BAUXITA APÓS O USO DA ADUBAÇÃO VERDE MANEJADAS COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL.	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT	53
4.1 INTRODUÇÃO.....	54
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.2.1 Localização	56

4.2.2	Solo	56
4.2.3	Vegetação	57
4.2.4	Descrição da área	57
4.2.5	Plantas testes	57
4.2.6	Instalação e condução do experimento	58
4.2.7	Variáveis estudadas	59
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.4	CONCLUSÃO	66
4.5	REFERÊNCIAS	67
5	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DEGRADADO POR MINERAÇÃO DE BAUXITA APÓS O USO DA ADUBAÇÃO VERDES EM BARRO ALTO - GOIÁS	70
	RESUMO	70
	ABSTRACT	71
5.1	INTRODUÇÃO	71
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	73
5.2.1	Localização	73
5.2.3	Solo	74
5.2.4	Vegetação	74
5.2.5	Descrição da área	75
5.2.6	Plantas testes	75
5.2.7	Instalação e condução do experimento	75
5.2.8	Amostragem	77
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.4	CONCLUSÃO	87
5.5	REFERÊNCIAS	87
6	CRESCIMENTO INICIAL DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE BAUXITA COM UTILIZAÇÃO DE ADUBOS VERDES SOD ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL	91
	RESUMO	91
	ABSTRACT	92
6.1	INTRODUÇÃO	92
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	94
6.2.1	Caracterização do local	94
6.2.2	Solo	95
6.2.3	Vegetação	95
6.2.4	Descrição da área	96
6.2.5	Instalação e condução do experimento	96
6.2.6	Instalação das arbóreas	97
6.2.7	Variáveis estudadas	99
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
6.4	CONCLUSÕES	104
6.5	REFERÊNCIAS	104
7	CONCLUSÕES GERAIS	107
	APÊNDICES	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento	39
Tabela 3.2. Altura da parte aérea (cm) de adubos verdes em cinco épocas de amostragem após dias de emergência (DAE) e índice relativo de clorofila (SPAD) no florescimento	43
Tabela 3.3. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e teor de clorofila (SPAD)	44
Tabela 3.4. Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes (Kg ha^{-1}) na parte aérea de adubos verdes no segundo ciclo.....	46
Tabela 3.5. Efeito entre as fontes de adubação sobre a fitomassa e acúmulo de nutrientes	47
Tabela 4.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento	59
Tabela 4.2. Influência dos adubos verdes nas propriedades químicas do solo.....	62
Tabela 4.3. Influência das fontes nas propriedades químicas do solo	63
Tabela 4.4. Propriedades químicas do solo no início e final do experimento	65
Tabela 5.1. Características físicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa	78
Tabela 5.2. Resistência à penetração do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa	78
Tabela 5.3. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para os tratamentos estudados.....	80
Tabela 5.4. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para as profundidades estudadas.....	80
Tabela 5.5. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para as épocas amostradas	81
Tabela 5.6. Valores médios da resistência à penetração (RP), obtidos para os tratamentos estudados.....	85

Tabela 5.7. Valores médios da resistência à penetração (RP), obtidos para as profundidades estudadas.....	86
Tabela 5.8. Valores médios da resistência à penetração (RP) de todas as plantas de cobertura, obtidos para as épocas estudadas.....	86
Tabela 6.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento	97
Tabela 6.2. Espécies implantadas na área de recuperação no município de Barro Alto, GO. Os grupos ecológicos P: pioneira, S: secundária e CL: climácias.....	98
Tabela 6.3. Altura (cm) e diâmetro (mm) da parte aérea das três espécies arbóreas 90 dias após o plantio	99
Tabela 6.4. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e diâmetro (mm) das arbóreas 90 dias após o plantio.....	100
Tabela 6.5. Altura (cm) e diâmetro (mm) da parte aérea (cm) das três espécies arbóreas 270 dias após o plantio	101
Tabela 6.6. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e diâmetro (mm) das arbóreas 270 dias após o plantio.....	101
Tabela 6.7. Valores mínimos, médios, máximos e desvio padrão dos atributos do solo das arbóreas aos 270 dias após o plantio	103
Tabela 6.8. Correlação de Pearson e significância do teste entre altura e diâmetro de arbóreas e atributos químicos e físicos do solo aos 270 dias após o plantio	103

LISTA DE FIGURA

Figura 2.1. Seções geológicas esquemáticas e tipologia da bauxita de Barro Alto, GO....	19
Figura 3.1. Situação da área antes do experimento, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO...	38
Figura 3.2. O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator <i>Tobata</i> , equipado com enxada rotativa, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.....	40
Figura 3.3. Desenvolvimento dos adubos verdes em área de degradada de mineração de bauxita, fevereiro 2013, Barro Alto, GO.....	41
Figura 3.4. Altura da parte aérea (cm) de adubos verdes no segundo ciclo em Barro Alto, GO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	44
Figura 3.5. Efeito entre os tipos de adubação sobre altura (cm) no segundo ciclo em Barro Alto, GO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	45
Figura 4.1. Situação da área antes do experimento, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO...	58
Figura 5.1. Situação da área antes do experimento e após plantio do segundo ciclo de adubo verde, em Barro Alto, GO, 2013.....	76
Figura 5.2. Fissuras no solo, ocasionado pelo ciclo de umedecimento e secagem do solo em recuperação, em Barro Alto, GO.....	82
Figura 5.3. Limitação do desenvolvimento de plantas na área degradada de mineração de bauxita em Barro Alto, GO, 2012.....	83
Figura 5.4. Resistência do solo à penetração, de 0 a 60 cm de profundidade, para todos tratamentos avaliados em outubro de 2013. CRO - Crotalaria Isolada, CROC - Crotalaria Consorciada, FG- Feijão Guandu, FGc - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FPc - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUCc - Mucuna Consorciada. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	84
Figura 6.1. O preparo do terreno para plantio foi realizado com o micro trator <i>Tobata</i> , equipado com enxada rotativa, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.....	98
Figura 6.2. Espaçamentos entre espécies arbóreas no plantio, fevereiro de 2013, Barro Alto, GO.....	98
Figura 6.3. Desenvolvimento das arbóreas e adubos verdes em área de degradada de mineração de bauxita, fevereiro 2013, Barro Alto, GO.....	99

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos no desenvolvimento de adubos verde no primeiro ciclo em Barro Alto, GO	108
Apêndice 2. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos no desenvolvimento de adubos verde no segundo ciclo em Barro Alto, GO	108
Apêndice 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas. Produção de fitomassa (Mg ha^{-1}), quantidade de nutrientes acumulados nos adubos verdes (Kg ha^{-1})	108
Apêndice 4. Teores de nutrientes aplicados no solo, para cada ciclo de adubo verde no plantio em Barro Alto, GO	108
Apêndice 5. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos químicos do solo em Barro Alto, GO	109
Apêndice 6. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos físicos do solo em Barro Alto, GO	109
Apêndice 7. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos físicos do solo em Barro Alto, GO	109

RESUMO GERAL

SILVA, A. R. **Plantas de cobertura associadas a fontes de adubação na recuperação inicial de área degradada pela mineração de bauxita em Barro Alto, GO.** 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.¹

A jazida de bauxita de Barro Alto, Goiás, é a primeira jazida de bauxita viável economicamente na região Centro-Oeste do Brasil e apresenta características peculiares. Após a lavra, as características químicas, físicas e biológicas do solo são inadequadas para a revegetação, o que dificulta a recuperação ambiental. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações em atributos do solo durante a recuperação inicial de área de mineração de bauxita com utilização de adubos verdes, manejada com diferentes adubações e introdução de sistema agroflorestal. A área de estudo possui 5 mil m² e está em processo de recuperação desde fevereiro de 2012. Foram realizados dois ciclos de plantio de adubo verde, o primeiro em março de 2012 e o segundo em dezembro de 2012. Os tratamentos foram: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milho consorciado com feijão guandu; 6 - milho consorciado com feijão-de-porco; 7 - milho consorciado com crotalária; 8 - milho consorciado com mucuna. E as três fontes de adubação foram: 1- adubação com fosfato de Arad; 2 - adubação com esterco bovino; 3 - adubação com fertilizante mineral de liberação controlada. Foram analisadas as características fitotécnicas dos adubos verdes (altura, teor de clorofila, produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes), atributos químicos (pH, macronutrientes e matéria orgânica do solo) e físicos do solo (densidade do solo, macro e microporos, volume total de poros, umidade gravimétrica e resistência à penetração). Foi implementado em fevereiro de 2013 um sistema agroflorestal com utilização de três espécies, a apeiba (*Apeiba tibourbou* Aubl.) (pioneira), o baru (*Dipteryx ala*) (secundária) e o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) (climáceas). Os resultados obtidos demonstraram que 17,1% da fitomassa tiveram origem no milho, indicando serem as leguminosas os principais fatores de incremento nessa variável. A utilização da fonte mineral (NPK) aumentou significativamente a fitomassa da adubação verde, acúmulo de nutrientes e altura das plantas em relação ao fosfato de Arad e ao esterco bovino. Com a introdução da adubação verde, o teor de Al trocável do solo, H+Al e da saturação por Al (m %) reduziram em 55%, 18,46% e 37,47% em relação ao início da recuperação, respectivamente. A utilização dos adubos verdes aumentou o teor de matéria orgânica, saturação de bases e potássio em 156%, 41,71% e 52,41% em relação ao início da recuperação, respectivamente. A macro e a microporosidade, além da resistência à penetração, melhoraram após 18 meses de implantação da recuperação, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está sendo atuante. Após 270 dias de plantio das espécies arbóreas, as plantas de cobertura e as fontes utilizadas não influenciaram a altura e o diâmetro. A apeiba se destacou no incremento de altura e diâmetro em relação ao baru e pequi.

Palavras-chave: Plantas de cobertura, revegetação, atributo do solo, degradação.

¹ Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro da EA-UFG.
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Santos Collier da EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, A. R. **Cover crops associated with nutrient sources in the initial recovery of degraded areas in bauxite mining in Barro Alto, GO**, 2014. 109 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Soil and Water) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014².

The mine bauxite Barro Alto is the first ore economically viable bauxite in the central- west region of Brazil and has peculiar characteristics. After mining, the chemical, physical and biological soil characteristics are unsuitable for replanting, making it difficult to environmental recovery. The aim of this study was to evaluate the use of green manure in organic and mineral fertilizer and their influence on the physical and chemical attributes of the area to be reclaimed and implementation of an agroforestry system. This work was developed in degraded area located at Barro Alto, Goiás The study area has 5000 m² and is in the process of recovery since February 2012. Two cycles of planting green manure the first in March 2012 were performed, and the second. In December 2012 the treatments were: 1- pigeonpea; 2- jack bean; 3- sunn hemp; 4- velvet bean; 5- milhet intercropping with faba bean; 6 - millet intercropped with beans pork; 7 - milhet intercropped with sunn hemp; 8- milhet intercropped with velvet bean and three nutrient sources: 1- fertilization with phosphate Arad; 2- the cattle manure; 3- mineral fertilizer controlled release fertilizers. Phytotechnical the characteristics of green manures (height, chlorophyll content, biomass production and nutrient accumulation) , chemical properties (pH, macronutrients and soil organic matter) and physical soil (bulk density, macro and micropores, volume total pore, gravimetric moisture and penetration resistance). An agroforestry system using three species, apeiba (pioneer), the baru (middle) and pequi (climaceaes) was implemented in February 2013. The results showed that 17.1% of the biomass originated in pearl millet indicating legumes are the main factors of increase in that variable. The use of mineral source (NPK) significantly increased the biomass of green manure, nutrient accumulation and plant height in relation to the Arad phosphate and manure. With the introduction of green manuring, the content of exchangeable soil Al, H + Al and Al saturation (m%) reduced by 55%, 18.46% and 37.47% in relation to beginning of recovery, respectively. The use of green manure increased the soil organic matter, base saturation and potassium in 156%, 41.71% and 52.41% in relation to beginning of recovery, respectively. The macro and microporosity, in addition to resistance to penetration, improved after 18 months of implementation of the recovery, demonstrating that cropping practices adopted for recovery of degraded in the study area is being active. After 270 days of planting of tree species cover crops and sources used did not influence the height and diameter. The apeiba excelled at increase in height and diameter than the baru and pequi.

Key words: Cover plants, revegetation, soil attribute, degradation.

² Adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.
Co-adviser: Prof. Dr. Leonardo Santos Collier. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bauxita é o minério de maior importância industrial para a produção do alumínio. Esse minério não é considerado uma espécie mineral propriamente dita, mas um material heterogêneo composto de hidróxidos de alumínio e algumas impurezas, tais como ferro, sílica, óxido de titânio e aluminossilicatos (Constantino et al., 2002).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de minério de bauxita, responsável por 14,1% da produção em 2011, e possui a terceira maior reserva do mundo.

As maiores reservas brasileiras de bauxita estão localizadas na Região Amazônica, principalmente no Pará, e na região de Poços de Caldas e Cataguases, em Minas Gerais (Revista Minérios & Minerales, 2008). Em Goiás, no município de Barro Alto, encontra-se um jazida de bauxita extensa e peculiar pelo fato de a bauxita aflorar na superfície. Essa reserva pertence à Mineradora Santo Expedito Ltda., Mineração Curimbaba e a CBA-Companhia Brasileira de Alumínio.

Similarmente a outras atividades antrópicas, a exploração da bauxita também resulta em diversos impactos ambientais. Contudo, esses impactos, em geral, são concentrados em áreas restritas, especialmente quando comparado com outras atividades antrópicas, tais como a agricultura e a pecuária (Barros et al., 2012).

Face aos problemas potenciais vinculados à atividade mineradora, a identificação prévia dos problemas associados à instalação e à operação de um empreendimento por meio dos instrumentos de avaliação de impactos ambientais permite a redução dos danos ao meio ambiente, assim como os custos envolvidos na mitigação dos impactos (Bacci et al., 2006; Sánchez, 2008). Além disso, a definição da metodologia empregada na recuperação ambiental deve levar em conta os riscos ambientais, o uso futuro da área, a harmonização com o ambiente do entorno, o custo e a sustentabilidade do sistema (Dias & Assis, 2011).

Nesse sentido, conforme relata Borges (2013), a mineração de bauxita caracteriza-se pela retirada da vegetação, intensa movimentação das camadas superficiais

do solo e geração de rejeitos e outros substratos de difícil colonização por plantas, demandando a execução de ações que levem à recuperação dos sítios minerados.

Contudo, essas atividades são de grande importância para o produto interno bruto do país (Carvalho, 2011), gerando produtos indispensáveis ao desenvolvimento econômico de uma nação (RÉ, 2007). Além disso, a mineração brasileira está sob pressão nacional e internacional para proteger o meio ambiente, principalmente pelas regras da International Organization for Standardization (ISO) (Guimarães et al., 2013). Assim, surge o desafio de recuperar e monitorar a qualidade do solo, profundamente alterada pela atividade de mineração, e garantir o desenvolvimento das culturas de forma viável a médio e longo prazo.

A recuperação de áreas degradadas começou a ter um destaque maior a partir das décadas de 1960 e 1970, principalmente devido à pressão dos órgãos ambientais e da sociedade. A escassez de informações ainda dificulta a sua efetiva implantação, sendo fatores limitantes a ausência de plantas adaptadas a condições inóspitas ao crescimento vegetal em solos degradados e um planejamento socioeconômico e ambiental de uso das espécies de interesse para sua recuperação na região da degradação. Além disso, verifica-se ainda a falta de conhecimento quanto à interação das diferentes espécies potenciais com diferentes tipos de solo e materiais e sua ciclagem de nutrientes (Sperândio, 2013).

A implantação de uma cobertura vegetal sobre superfícies mineradas é a medida mais comum de recuperação, mas requer a construção de um ambiente edáfico que seja compatível com as espécies vegetais a serem utilizadas (Corrêa & Bento, 2010). Nesse cenário, as leguminosas se destacam como espécies potenciais para inserção em ambientes com pouca ou nenhuma resiliência, por possuírem alta deposição de serapilheira e, principalmente, pela fixação biológica de nitrogênio (Longo et al., 2011; Nogueira et al., 2012).

Nesse contexto, para uma eficiente revegetação e utilização de novas práticas e formas de manejo para a recuperação de áreas degradadas, é necessária a intensificação de pesquisas que contemplem a interação dos conhecimentos das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, da fenologia e da ciclagem de nutrientes das espécies vegetais.

A fertilização mineral e o uso de material orgânico contribuem para a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo, proporcionando melhores condições para que as espécies possam exercer as funções de produção biológica, e possível sustentabilidade do ambiente.

Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações em atributos do solo durante a recuperação inicial de área de mineração de bauxita com utilização de adubos verdes, manejada com diferentes adubações, com introdução de sistema agroflorestal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEGRADAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS DE BAUXITA

A principal consequência do processo de lavra das áreas de mineração é, em termos gerais, a degradação do solo. A degradação do solo é a perda de condições desejáveis, relacionadas ao crescimento de plantas e ao ambiente. A degradação dos solos constitui um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representa enorme risco para as gerações futuras (Alves et al., 2012).

A degradação está intimamente ligada ao uso inadequado da paisagem e do solo, de forma a expô-lo e sujeitando-o a intempéries climáticas, prejudicando sua fertilidade natural e agravando o processo de erosão em locais mais susceptíveis (Coutinho et al., 2008). Com essa utilização indevida da paisagem e dos ecossistemas envolvidos, a degradação progride alterando as características físicas, químicas e biológicas dos solos (Dalchiavon et al., 2013).

O processo de lavra provoca grandes degradações físicas, químicas e biológicas nos solos minerados (Franco, 2010). Essas alterações afetam a estrutura do solo e a microbiota, com perda da vegetação. O manejo adequado deve prever o enriquecimento e a manutenção, pelo maior tempo possível, da matéria orgânica no solo, o que pode ser conseguido com a aplicação de certos resíduos orgânicos (Colodro & Espíndola, 2006).

Dentre os processos causadores da degradação do solo, destaca-se a erosão hídrica, a qual ocasiona redução da cobertura vegetal, acidificação dos solos, exaustão de nutrientes e diminuição do teor de carbono orgânico e da biodiversidade, tornando-o inviável para a exploração socioeconômica e ambiental (Carneiro et al., 2008). Ainda as atividades de mineração retiram as camadas superficiais do solo, deixando-o exposto e com maior suscetibilidade à erosão.

Em áreas de mineração de bauxita em Barro Alto, devido à sua peculiaridade do afloramento da rocha a ser explorada (Figura 2.1), a degradação do solo é bastante intensificada pela falta de cobertura vegetal. Nessas áreas, associada ainda com declividade do terreno, tem-se o problema da erosão laminar, afetando as características do solo.

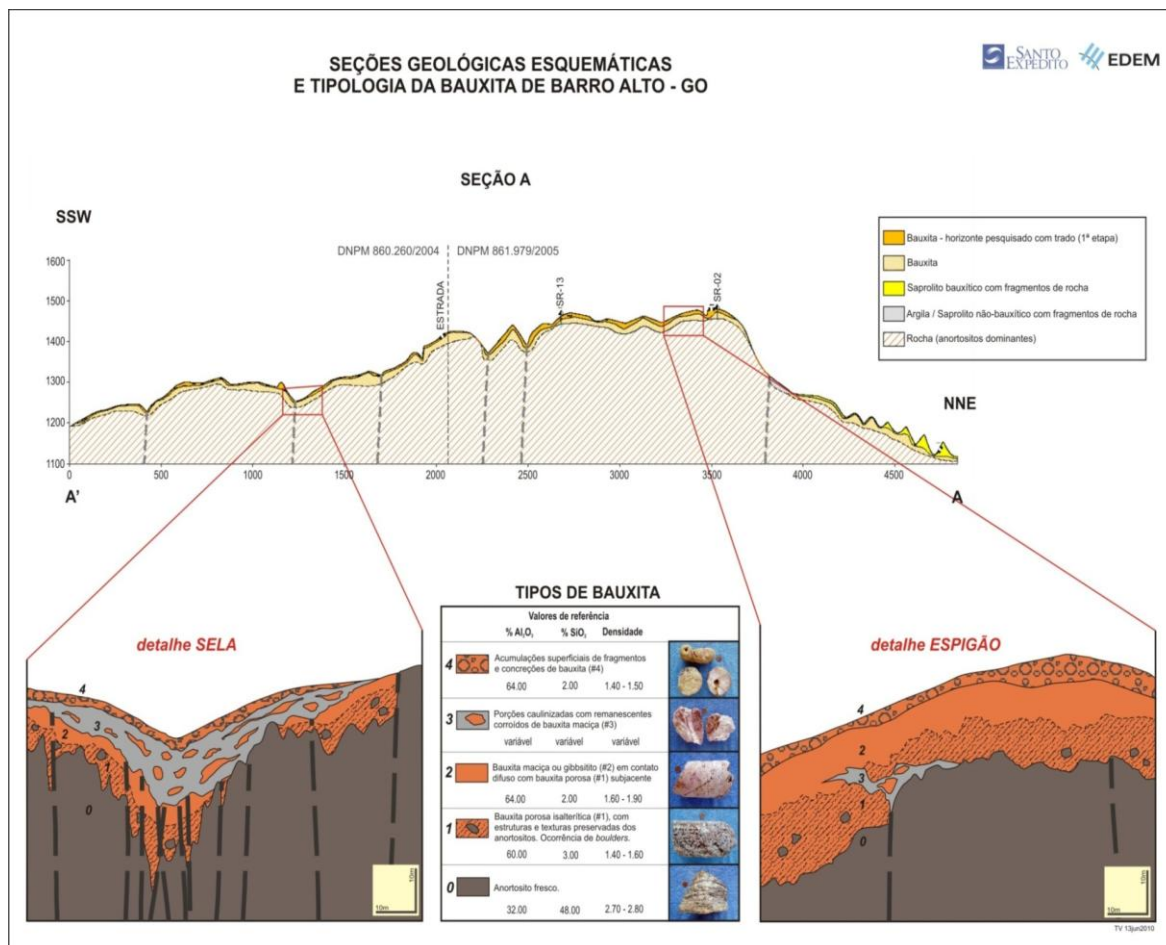


Figura 2.1. Seções geológicas esquemáticas e tipologia da bauxita de Barro Alto, GO.

A implantação de uma cobertura vegetal sobre superfícies mineradas é a medida mais comum de recuperação, mas requer a construção de um ambiente edáfico que seja compatível com as espécies vegetais a serem utilizadas (Corrêa & Bento, 2010). No entanto, no caso da mineração de bauxita, alguns ajustes serão necessários, uma vez que as características, principalmente, físicas e biológicas do solo em recuperação encontram-se em estágio prematuro de evolução, se comparado aos solos de vegetação nativa do entorno (Alba, 2010).

2.2 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DE MINERAÇÃO

A prática de recuperação de áreas degradadas e os seus planos para implementação são recentes em todo o mundo. No Brasil, e internacionalmente, esses projetos iniciaram-se, principalmente, devido a pressões ambientais e pela aplicação da lei, com uma maior intensidade na década de 1970 (Silvestrini, 2013). Estes tinham a

finalidade de recompor a paisagem, não havendo uma importância se iriam alcançar uma sustentabilidade com passar do tempo.

A recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das mais diferentes áreas do conhecimento, visando proporcionar o reestabelecimento das condições de equilíbrio e de sustentabilidade existentes anteriormente no sistema (Dias & Griffith, 1988).

Em agroecossistemas, os estresses impostos aos solos podem ser de origem natural e/ou antropogênica, como é o caso da mineração. A sua qualidade está relacionada à degradação e à resiliência (Bavoso et al., 2012). A resiliência se traduz na capacidade ou habilidade em recuperar-se de um distúrbio a que foi submetido, seja de qualquer origem, e conseguir retornar a condições próximas daquelas encontradas antes do distúrbio.

As atividades de mineração apresentam um grau de impacto ambiental de alta magnitude devido às modificações físicas, químicas e bióticas, provocadas nas áreas de influência direta e indireta do projeto (Silvestrini, 2013). Esse impacto pode ser ainda maior, influenciando não somente a área explorada, mas também a circunvizinhança, por exemplo, um problema de erosão ou uma contaminação do recurso hídrico que afetará uma região maior.

O impacto causado por minerações pode resultar em uma área de influência muito maior que a área de lavra, proporcionando, por exemplo, a degradação de recursos hídricos que vão refletir em toda a bacia. (Silvestrini, 2013).

O processo de lavra provoca grandes degradações físicas, químicas e biológicas nos solos minerados (Franco, 2010). Essas alterações afetam a dinâmica do solo e a microbiota, com perda da vegetação.

Alba (2010), após 20 anos de experiência em recuperação de áreas degradadas, e cerca de 10 anos com mineração de bauxita, conclui-se que a atividade de revegetação de solos degradados com uso de leguminosas é uma estratégia extremamente eficiente para restabelecer os processos ecológicos de áreas impactadas. No entanto, no caso da mineração de bauxita, alguns ajustes serão necessários, uma vez que as características do solo em recuperação encontram-se em estágio inicial de evolução, se comparado aos solos de vegetação nativa.

As técnicas utilizadas para a recuperação de áreas mineradas são variadas (Valcarcel et al., 2007), e a incorporação de adubos verdes como fonte de matéria orgânica e cobertura do solo é uma delas. A matéria orgânica melhora as características físicas do

material exposto, eleva a sua fertilidade e serve de meio para o estabelecimento e manutenção de microrganismos e fauna de solo (Pignaro Netto et al., 2009). Por esses motivos, os adubos verdes são muito utilizados em recuperação de solos minerados (Borges, 2013; Carneiro et al., 2008; Franco, 2010)

A revegetação de obras de barragem requer técnicas adequadas, sendo importante observar a interação positiva entre adubação mineral e verde, visto que nessas áreas foram removidas toda a vegetação e a camada fértil do solo (Campos et al., 2011).

Segundo Modesto et al. (2009), o retorno de áreas degradadas ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento. A recuperação dos solos degradados até atingir as condições próximas às originais, com sistemas de uso, é pouco provável, evento que pode precisar de dezenas e até mesmo centenas de anos. Alves & Souza (2008) afirmam que a recuperação da estrutura dos solos é lenta e deve ser reconstruída no tempo por meio do manejo de solo e plantas.

O uso de plantas de cobertura como resíduo orgânico para o estabelecimento de uma cobertura vegetal sobre superfícies expostas pela mineração tem-se mostrado eficaz em diferentes ecossistemas (Adani et al., 2007; Corrêa et al., 2010; Alves et al., 2012). Todavia, pesquisas acerca da qualidade dos substratos revegetados com o uso desses materiais são escassas (Corrêa & Bento, 2010), apesar de ser de grande importância e necessidade para conhecer um melhor manejo desses em áreas mineradas.

Nesse contexto, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes degradados pela erosão hídrica é de extrema importância devido à sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de ecossistemas sustentáveis (Carneiro et al., 2008).

No entanto, informações a respeito desses indicadores em ambientes de mineração de bauxita são pouco conhecidas, ou inexistentes, sendo necessários estudos para uma futura relação dos atributos físico-químicos do solo, auxiliando no monitoramento dos ambientes degradados pela erosão hídrica.

2.3 ADUBAÇÃO VERDE EM ÁREAS DEGRADADAS

Na recuperação de áreas degradadas, é importante a utilização de princípios ecológicos como forma de retomar o equilíbrio biológico do solo, aumentar o teor de

matéria orgânica, fazer os ciclos nutrientes e fixar nitrogênio ao sistema, com o uso de plantas recuperadoras de solo ou, como são mais conhecidas, adubos verdes (Carvalho & Amabile, 2006; Formentini, 2008).

Atualmente, a prática da adubação verde é considerada uma tecnologia que busca proporcionar para o agroecossistema, principalmente, matéria orgânica e nitrogênio, oriundo da fixação biológica com bactérias específicas.

Adubação verde consiste na incorporação no solo de uma massa não decomposta de plantas cultivadas ou importadas localmente, a fim de preservar e/ou recuperar a produtividade das terras cultiváveis (Ragozo et al., 2014).

Segundo Fávero et al. (2008), em locais onde há limitações ambientais à regeneração natural, esta pode ser potencializada por meio de espécies facilitadoras. Nesse sentido, geralmente são utilizadas espécies da família das leguminosas, porque estas possuem algumas características importantes para a recuperação de áreas degradadas.

As leguminosas têm sido utilizadas como uma das alternativas para a recuperação dessas áreas (Nogueira et al., 2012). Ecologicamente, são espécies com boa adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. A utilização como adubação verde pode ser considerada como uma técnica bastante importante para o agroecossistema, proporcionando melhorias ao solo e ao ambiente.

A introdução de plantas dessa família pode proporcionar benefícios. De acordo com Silva & Menezes (2007), a principal razão para essa preferência está em sua capacidade de simbiose com bactérias fixadoras do N₂ atmosférico. O autor cita também a rusticidade, a elevada produção de matéria seca e o sistema radicular, geralmente, profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo e romper camadas adensadas.

As plantas leguminosas, devido à ampla diversidade de espécies, à versatilidade de usos potenciais e ao seu papel na dinâmica dos ecossistemas, especialmente no tocante ao suprimento e à ciclagem do nitrogênio, proporcionam enorme potencial na reabilitação de áreas degradadas, razão pela qual vêm sendo sistematicamente inseridas em programas dessa natureza (Longo et al., 2011).

O uso de plantas de cobertura como resíduo orgânico para o estabelecimento de cobertura vegetal sobre superfícies expostas pela mineração tem-se mostrado eficaz em diferentes ecossistemas (Adani et al., 2007; Corrêa et al., 2010; Alves et al., 2012; Borges, 2013). Todavia, pesquisas acerca da qualidade dos substratos revegetados com o uso

desses materiais são escassas (Corrêa & Bento, 2010), apesar de ser de grande importância e necessidade para conhecer um melhor manejo desses em áreas mineradas.

A intenção no uso dos adubos verdes é formar um ambiente propício para que plantios simultâneos com qualquer outra espécie tenham melhores chances de sucesso, diminuindo a mortalidade e melhorando o desenvolvimento das espécies florestais (Beltrame & Rodrigues, 2008).

2.4 USO DE ESPÉCIES NATIVAS

A mineração de superfície, que envolve a completa remoção da cobertura florestal, provoca grandes impactos no solo e na topografia do local, por meio da erosão e da sedimentação que atingem seu máximo impacto a partir do início das atividades de lavra, até pelo menos o início dos trabalhos de restauração florestal (Salomão, 2012).

O depauperamento e o caráter tóxico dos solos também precisam ser corrigidos se se pretende que o local alterado torne-se produtivo e não seja prejudicial ao meio ambiente. A única maneira de mitigar a maior parte desses impactos negativos é por meio do restabelecimento de uma cobertura vegetal perene sobre o local modificado (Salomão, 2012).

Para se ter um resultado adequado na reabilitação de minas de bauxita, é necessário compreender que o impacto visual comparativamente ao impacto biológico é transitório, pontual e de curta duração, enquanto que a mitigação dos impactos sobre a biodiversidade é significativa a médio e longo prazo, sendo que, portanto, a reabilitação deve ter como foco principal alcançar estabilidade biológica, uma vez que a correção do impacto visual ocorrerá naturalmente.

Dessa maneira, faz-se necessário adotar práticas voltadas ao restabelecimento das relações ecológicas que constituíam o ambiente antes da prática da mineração, e, para tanto, observar e tentar imitar o que ocorre naturalmente no ambiente é fundamental (Guimarães, 2008).

Nesses ecossistemas degradados, a ação antrópica para a recuperação é necessária, pois eles já não mais dispõem daqueles eficientes mecanismos de regeneração, e, assim, deve-se dar ênfase em espécies arbóreas regionais, priorizando aquele grupo de espécies de melhor crescimento inicial (Salomão et al., 2007).

Na região de Barro Alto, Goiás, o bioma que se encontra é o cerrado, que cobre 24,25% do território nacional. Devido à sua vasta extensão territorial, posição geográfica

central, heterogeneidade espacial e por ser cortado pelas três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o cerrado caracteriza-se como uma das regiões de maior biodiversidade do planeta (Melo, 2013). Assim, uso de espécies nativas que possuem crescimento mais rápido favorecem o enriquecimento da área e colaboraram para indução da regeneração natural da área.

2.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Em área de mineração, em função da remoção da camada superficial do solo e, conseqüentemente, da vegetação, os teores de P, MOS e elementos relacionados à CTC efetiva (t) no solo degradado são, provavelmente, reduzidos pelo processo erosivo, e, conseqüentemente, os valores de acidez potencial ($H^{1+} + Al^{3+}$), Al^{3+} e saturação por Al^{3+} (m %) tendem a aumentar, o que dificulta no restabelecimento de espécies vegetais, visando à recuperação da área, podendo esse processo ser lento.

A redução da fertilidade do solo nos ambientes de grave erosão hídrica deveu-se à diminuição do conteúdo de matéria orgânica, condicionada pela remoção da vegetação nesses ambientes, determinando, assim, menor ciclagem de nutrientes e aumento de perdas por lixiviação (Gomide, et al., 2011). Desse modo, os mesmos autores concluem que o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção de ambientes de baixa fertilidade natural e não fertilizados. Portanto, práticas que favoreçam ou incrementem os teores de MOS nesses ambientes devem ser estimuladas.

Além disso, em regiões tropicais, a maior parte da capacidade de troca de cátions - CTC dos solos (70-80%) depende da matéria orgânica (Brady & Weil, 2002), pois ela altera o complexo coloidal, criando cargas (Bezerra et al., 2006).

A revegetação de áreas mineradas não é possível sem que haja a reabilitação das funções edáficas no substrato exposto, e a elevação da CTC é essencial para esse processo (Goedert & Corrêa, 2004).

Os efeitos promovidos pela adubação verde nas propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependendo da espécie utilizada, do manejo dado à biomassa, da época de plantio e do corte do adubo verde, do tempo de permanência dos resíduos no solo, das condições locais e a da interação entre esses fatores (Alcântara et al., 2000).

A incorporação do resíduo é capaz de criar condições para o estabelecimento e a permanência de uma cobertura vegetal sobre o substrato minerado (Calgaro et al., 2008;

Carneiro et al., 2008; Corrêa et al., 2010). Segundo Delarmelinda et al. (2010), a utilização de leguminosas como adubação verde proporcionou aumento nos teores de matéria orgânica, soma de bases e percentagem de saturação por bases em um cambissolo em Rondônia.

A matéria orgânica melhora as características físicas do material exposto, eleva a sua fertilidade e serve de meio para o estabelecimento e manutenção de microrganismos e fauna de solo (Pignaro Netto et al., 2009).

Porém, tratando-se de área de mineração com intenso distúrbio no solo, os benefícios oriundos de material vegetal podem não ter um efeito imediato, pois o agroecossistema se encontra totalmente alterado, mas, com o passar do tempo e aumento de sua resiliência, os benefícios serão notados.

O processo de melhoria do solo pela deposição e acúmulo de matéria orgânica, mesmo por meio de adubação verde, demanda um determinado tempo para as mudanças na camada superficial do solo, como mostra o estudo de Longo et al. (2011), no qual, após 15 meses decorridos da implantação de tratamentos utilizando adubo verde para a recuperação de solos degradados por mineração, os autores não obtiveram mudanças no horizonte superficial.

2.6 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

As práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nas propriedades físicas do solo, as quais podem ser permanentes ou temporárias (Bavoso et al., 2012). Assim, o interesse em avaliar a física do solo tem sido incrementado por considerá-lo um componente fundamental na manutenção e/ou sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

A prática da mineração com suas técnicas para extração do minério submetem o solo a grandes distúrbios, causando a mudança de suas características. Assim, o monitoramento da qualidade do solo é necessário e pode ser realizado mediante a avaliação dos seus atributos físicos, os quais são importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Pires et al., 2011).

Alguns atributos físicos têm sido frequentemente utilizados como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo, como a resistência mecânica à penetração do solo, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação (Dalchiavon et al., 2013).

A densidade do solo (d_s) tem sido usada como medida de sua qualidade devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica. (Martins et al., 2009; Guimaraes, 2010). De acordo com Kiehl (1979), a densidade do solo deve permanecer no intervalo entre 1,1 a 1,6 Mg m^{-3} em solos minerais, assumindo valores superiores a 1,6 Mg m^{-3} em solos de textura arenosa.

Reichardt e Timm (2008) salientam ainda que a d_s pode ser usada como um índice do grau de compactação de um solo. Como o solo é um material poroso, por compressão a mesma massa pode ocupar um volume menor. Isso afeta a sua estrutura, o arranjo e o volume dos poros e as características de retenção de água (Pires et al., 2011).

Reduções nas macroporosidade e volume de poros total correspondem a menos espaço disponível para adequada aeração e difusão de oxigênio do solo para as plantas. Portanto, dado o mesmo teor de umidade e arejamento, porosidade irá provavelmente ser mais baixa em solos recuperados quando comparada à encontrada em áreas naturais (Barros et al., 2012).

De acordo com os dados de Teodoro et al. (2011), obtidos no Vale do Jeguitinhonha, as leguminosas, a partir dos 120 dias, proporcionaram menor temperatura do solo em relação ao controle (solo descoberto). Isso melhora a condição de umidade no sistema, no caso da mineração que o solo, após o uso, fica exposto a intempéries. Esse fato torna-se de grande relevância.

A escassez da cobertura vegetal, juntamente com as baixas taxas de infiltração de água, alto índice de erodibilidade e presença de camadas impermeáveis, favorece o aumento do escoamento superficial e da erosão, expondo muita das vezes a rocha, que é o caso de bauxita em Barro Alto, Goiás.

A matéria orgânica melhora as características físicas do material exposto, eleva a sua fertilidade e serve de meio para o estabelecimento e manutenção de microrganismos e fauna de solo (Pignaro Netto et al., 2009).

A adição regular de resíduos de adubos verdes aos vários solos e ambientes agroecológicos dos trópicos contribui para a conservação do solo e da água, melhorando a estrutura do solo, o que favorece a aeração e a infiltração de água, permitindo uma maior penetração das raízes (Arf et al., 1999).

Alves et al. (2012), após 13 anos de recuperação de área de emprestimo com plantas de cobertura, concluíram que a recuperação dos atributos físicos da área é lenta e de forma mais acentuada na camada de 0-10 cm.

2.7 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, 2010. 360p.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Green manuring in the recovery of the fertility of an Oxisol dark red degraded. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- 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.
- 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.
- ARF, O.; SILVA, L. S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. Effects on wheat crop rotation with corn and green manure in the presence and absence of nitrogen. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 323-334. 1999.
- BACCI, D. C., LANDIM, P. M. B., ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.
- BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012.
- BAVOSO, M. A.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Resiliência física de dois latossolos vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1892-1904, 2012.
- BELTRAME, T. P.; RODRIGUES, E. Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área e reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. **Revevista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 317-327, 2008.
- BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.3, p. 469-476, 2006.
- BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas com forrageiras e cafeeiro pós mineração de bauxita**. 2013. 124p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 960p.

CALGARO, H. F.; VALÉRIO FILHO, W. V.; MALTONI, K. L.; AQUINO, A. M. S. S.; CASSIOLATO, R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1337-1347, 2008.

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.

CARVALHO, R. P. B. Contribuições da análise de geossistemas na recuperação de áreas degradadas por mineração. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 21, n. 36, p. 13-27, 2011.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado**: adubação verde. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 396p.

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.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; SILVA, D. O.; OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

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.

COUTINHO, M. P.; GONÇALVES, K. G. C.; AQUINO, L. C. S.; MARINEZ, P.M.G.; Oportunidades para recuperação de áreas degradadas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. In: FELFILI, J. M.; CORREIA, R. M. A. C. (Orgs.). **Bases para recuperação de áreas degradadas na bacia do São Francisco**. Brasília: CRAD, 2008. 216p.

DALCHIAVON, F. C.; DAL BEM, E. A.; SOUZA, M. F. P.; RIBEIRO, R.; ALVES, M. C.; COLODRO, G. Atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico degradado em resposta à aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 205-210, 2013.

DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 40, n. 3, p. 625-627, 2010.

DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. Restauração ecológica em áreas degradadas pela mineração. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 4, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica, 2011. p. 79-87.

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. 252p.

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.

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

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

GOEDERT, W. J.; CORRÊA, R. S. Usos, degradação e qualidade do solo. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa, 2004. p. 159-172.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 567-577, 2011.

GUIMARÃES, J. C. C. Reabilitação de minas de bauxita em florestas nativas: “método tradicional” versus “método ecológico”. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 244, p. 30-33, 2008.

GUIMARÃES, L. A. O. P. **Atributos físicos de um substrato formado pela deposição de rejeito de beneficiamento de bauxita após uma década de recuperação ambiental**. 2010. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

GUIMARAES, J. C. C.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, A. D.; BORGES, L. A. C. Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining. **CERNE**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 7-19, 2013.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7. ed. Brasília: IBRAM, 2012.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. Piracicaba: Ceres, 1979. 262p.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.

MARTINS, M. V.; PASSOS, E.; CARVALHO, M.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 31, n. 1, 147-154, 2009.

MELO, S. W. C. **Extrativismo vegetal como estratégia de desenvolvimento rural no Cerrado**. 2013. 210p. Dissertação. (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

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.

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.

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.

PIRES, L.F.; ROSA, J.A.; TIMM, L.C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

RAGOZO, C. R. A.; LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. Nutritional balance and yield for Green manure Orange trees. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 4, p. 616-621, 2014.

RÉ, T. M. **O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas**. 2007. 244p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

REICHARDT, K. TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

REVISTA MINÉRIOS & MINERALES. Da bauxita ao alumínio. Edição 306, 2008. Disponível em: <http://www.minerios.com.br/index.php?id_materia=811>. Acesso em: 21 jan. 2012.

SALOMÃO, R. P. **Seleção e aptidão de espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas por mineração**. 2012. 152p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências Naturais, Belém, v. 2, n.2 p. 85-139, 2007.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

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.

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.

SPERANDIO, H. V. ***Tephrosia cândida D.C. e Mimosa velloziana Mart: biomassa, serapilheira e fertilidade do solo.*** 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p.292-300, 2011.

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.

3 DESEMPENHO DE ADUBOS VERDES COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL CULTIVADAS EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GOIÁS

RESUMO

A cobertura vegetal com certas espécies, pela sua rusticidade, facilidade de estabelecimento, rápido desenvolvimento de cobertura e que melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo, pode ser utilizada em programas de revegetação e recuperação de áreas degradadas pela mineração. O objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de adubos verdes com adubação orgânica e mineral e avaliar aspectos fitotécnicos (altura, diâmetro, teor relativo de clorofila e fitomassa) delas em área degradada por mineração de bauxita. Foram realizados dois ciclos de plantio de adubo verde, o primeiro em março de 2012 e o segundo em dezembro de 2012. Os tratamentos foram: 1 – feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milheto consorciado com feijão guandu; 6 - milheto consorciado com feijão-de-porco; 7 - milheto consorciado com crotalária; 8 - milheto consorciado com mucuna. E três fontes de adubação foram: 1 - adubação com fosfato de Arad; 2 - adubação com esterco bovino; 3 - adubação com NPK via fertilizante de liberação controlada. Os tratamentos com leguminosas consorciadas promoveram incrementos significativos nos parâmetros fitomassa e nutrientes acumulados. 17,1% da fitomassa tiveram origem no milheto, indicando serem as leguminosas os principais fatores de incremento nessa variável. A utilização da fonte mineral (NPK) aumentou significativamente a fitomassa da adubação verde, acúmulo de nutrientes e altura das plantas em relação ao fosfato de Arad e ao esterco bovino.

Palavras chaves: Área degradada, matéria seca, adubação verde.

PERFORMANCE OF GREEN MANURE IN ORGANIC FERTILIZER AND MINERAL CULTIVATED AREA IN DEGRADED BY BAUXITE MINING BARRO ALTO, GOIÁS

ABSTRACT

Mulching with certain species, for their hardiness, ease of establishment, rapid development of coverage and to improve the physical, chemical and biological conditions

of the soil can be used in revegetation and restoration of areas degraded by mining programs. The aim of this study was to implement the use of green manure in organic and mineral fertilization and evaluate phytotechnical aspects (height, diameter, relative chlorophyll content and dry matter) thereof in area degraded by mining bauxite. two cycles of planting green manure, the first in March 2012 and the second in December 2012 were performed. Treatments were: 1- pigeonpea; 2- jack bean; 3- sunn hemp; 4- velvet bean; 5- milhet intercropping with faba bean; 6 - milhet intercropped with beans pork; 7 - milhet intercropped with sunn hemp; 8- milhet intercropped with velvet bean and three nutrient sources: 1- fertilization with phosphate Arad; 2- the cattle manure; 3- NPK fertilization via controlled release fertilizers. During the first cycle height and relative chlorophyll content of the species were analyzed in the second cycle beyond the assessment of biomass production and nutrient accumulation by cover crops was performed. Treatments with legumes intercropped Significant increases in biomass and nutrient uptake parameters. 17.1% of the biomass originated in milhet, indicating pulses are the main factors of growth in this variable. The use of mineral source (NPK) significantly increased the biomass of green manure, nutrient accumulation and plant height in relation to the Arad phosphate and manure.

Key words: Degraded area, dry matter, green manure.

3.1 INTRODUÇÃO

No município de Barro Alto, Goiás, após a descoberta do minério constatou-se que muitas das jazidas de bauxita se encontram afloradas na superfície, fato muito peculiar. Com isso, a rocha bauxita fica exposta ao intemperismo e surgem também problemas relacionados à erosão e, assim, o desafio de iniciar a recuperação e monitorar o solo e garantir o desenvolvimento sustentável de culturas agrícolas sobre essas áreas após a mineração.

No entanto, a extração mineral é uma das principais atividades antrópicas que causam intensa degradação dos ecossistemas. Apesar de as atividades mineradoras causarem a degradação de menores extensões de áreas quando comparadas às atividades agropecuárias, o impacto ambiental local é muito maior, uma vez que o ecossistema sofre alterações drásticas (Amaral et al., 2013).

A perda da biodiversidade, a erosão do solo e a geração do rejeito estão entre os principais impactos causados pela atividade de mineração (Chaer et al., 2011). Fato comum devido a retirada da cobertura vegetal existente.

A exploração de rochas propicia a degradação da vegetação existente, a composição do solo e de sua estrutura, criando um ambiente inóspito ao crescimento de plantas devido à baixa capacidade de retenção de água e à incapacidade de fornecer

nutrientes as plantas, por ser um ambiente extremamente pobre em nutrientes (Williamson et al., 2011).

Segundo Dias et al. (2002), o caráter distrófico do rejeito de bauxita evidencia a importância da fertilização para permitir um bom estabelecimento e o crescimento de plantas. No entanto, apenas a aplicação de fertilizantes não garante o sucesso da revegetação devido às características físicas do substrato. A incorporação de carbono é igualmente importante, pois favorece a formação de estrutura e aumenta a capacidade de retenção de água pelo rejeito, além de possibilitar a antecipação da revegetação.

Assim, em fases iniciais de recuperação, o objetivo prioritário é a reabilitação da função e dos serviços do ecossistema, sendo urgente a amenização dos agentes impactantes, por meio de ações que promovam a cobertura imediata do solo (Rovedder & Eltz, 2008).

Em geral, adota-se como medida de recuperação das áreas de mineração, inclusive o rejeito de bauxita, o plantio de espécies adaptadas a condições adversas. A revegetação dessas áreas, como medida de recuperação, visa proporcionar uma cobertura do solo e constante aporte de matéria orgânica ao substrato. A implantação de uma cobertura vegetal sobre superfícies mineradas é a medida mais comum de recuperação, mas requer a construção de um ambiente edáfico que seja compatível com as espécies vegetais a serem utilizadas (Corrêa & Bento, 2010).

As plantas de cobertura, em virtude do seu sistema radicular, que, ao ser decomposto, além de liberar nutrientes ainda, contribui para a formação da matéria orgânica do solo, favorecem intensamente o estado de agregação do solo (Souza et al., 2012; Zhou et al., 2012).

As leguminosas, devido à ampla diversidade de espécies, à versatilidade de usos potenciais e ao seu papel na dinâmica dos ecossistemas, especialmente no tocante ao suprimento e à ciclagem do nitrogênio, proporcionam enorme potencial na reabilitação de áreas degradadas, razão pela qual vêm sendo sistematicamente inseridas em programas dessa natureza (Longo et al., 2011).

A produção de biomassa é uma das características mais importantes das leguminosas utilizadas como adubos verdes. Entretanto, existe uma grande variação de produção entre as espécies em função das condições edafoclimáticas nas quais são cultivadas, o que pode ser resultado de um comportamento nutricional diferencial (Alvarenga et al., 1995). Espécies mais eficientes na absorção, translocação e utilização de

nutrientes poderão ser mais interessantes para uso no manejo de solos com baixa fertilidade natural, por apresentarem maior capacidade de adaptação e melhor desempenho (Caldeira et al., 2002).

No entanto, as espécies de plantas que apresentam uma maior relação C/N têm menores taxas de decomposição de resíduos vegetais e, por conseguinte, são mais eficientes quanto a cobertura do solo (Carvalho et al., 2008; 2009).

Contudo, é fundamental fornecer condições adequadas para que as plantas se desenvolvam e então contribuam com seus efeitos anteriormente citados, produzindo, principalmente, uma grande quantidade de massa verde e seca para inicial proteção do solo. A nutrição mineral do vegetal e os aspectos físicos do solo são de extrema importância e podem ser melhorados por meio de materiais e insumos utilizados nos solos a serem recuperados. A falta de matéria orgânica constitui um dos principais problemas da recuperação dessas áreas degradadas (Longo et al., 2011).

Dentre os insumos orgânicos, o esterco bovino é a fonte mais utilizada, especialmente em solos pobres em matéria orgânica (Filgueira, 2008). Isso porque ele atua como poderoso agente beneficiador do solo, capaz de melhorar substancialmente muitas de suas características físicas e químicas, e proporciona também acúmulo de nitrogênio orgânico, auxiliando no aumento do seu potencial de mineralização e disponibilidade de nutriente para as plantas, reduzindo o uso de fertilizantes (Tejada et al., 2008).

Segundo Correa et al. (2005), o manejo correto da adubação fosfatada, com ênfase na fonte utilizada e no modo de aplicação mais adequado, pode garantir o sucesso no aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas, em solos com diferentes capacidades de adsorção do elemento, obtendo, assim, elevada produtividade das culturas.

Pott et al. (2004) relataram ainda que a maximização do aproveitamento do fósforo oriundo de fontes de fosfato natural pode ser realizado por meio da utilização de espécies de adubos verdes capazes de melhorar o aproveitamento de fósforo.

O nitrogênio é considerado elemento essencial para as plantas, pois é componente de aminoácidos, de enzimas e de ácidos nucleicos. Com o desenvolvimento do medidor portátil de clorofila para realização de leituras instantâneas do seu teor relativo na folha, sem haver necessidade de sua destruição, surge uma nova ferramenta para a avaliação do nível de nitrogênio nas plantas (Argenta et al., 2004).

Estudos que avaliam espécies de plantas e diferentes adubações em áreas mineradas de bauxita em processo de recuperação são escassos, assim como estudos que

avaliem a produção e a sustentabilidade de atividades agrícolas sobre essas áreas. Esses estudos são essenciais para a compreensão do processo de recuperação e para o monitoramento da recuperação da área.

Assim, o objetivo com este estudo foi avaliar a utilização de adubos verdes manejados com diferentes adubações em áreas mineradas de bauxita em fase de recuperação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do local

O experimento foi conduzido em uma área da Mineradora Santo Expedito Ltda., no município de Barro Alto, Goiás, localizado na porção central do Estado de Goiás, cerca de 200 km ao norte de Goiânia e a noroeste de Brasília, e que apresenta as seguintes coordenadas geográficas 15° 07'48,37'' de latitude sul e longitude 48° 56'17,25'' oeste de Greenwich.

A região do Complexo Máfico-Ultramáfico Barro Alto, localizado no Planalto Central Brasileiro, está submetido, atualmente, a clima tropical de estações contrastadas. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é característico do tipo AW (típico dos climas úmidos de savana tropicais, com verão úmido, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro) em praticamente toda área.

A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C, com média dos dias mais quentes entre 24 e 26° C e dos meses mais frios superior a 18° C, com amplitude térmica das médias inferiores a 5° C.

A pluviosidade anual varia em torno de 1.600 mm, concentrada entre dezembro e fevereiro. No período seco, assinalam-se baixos índices de umidade do ar, geralmente inferiores a 30%.

3.2.2 Solo

O solo da região onde se localiza o presente trabalho é um rejeito oriundo de cambissolos (Háplicos) e neossolos (Litólicos), segundo classificação da Embrapa (2006), presente nos relatórios da Empresa de Desenvolvimento em Mineração Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (Eia-Rima) da Mineração Santo Expedito,

2008.

Na paisagem dominada por elevações estabelecidas sobre anortositos, o perfil de solo encontra-se truncado pela erosão ativa. Em alguns locais, a erosão acentuada chega a expor pequenos lajedos de rocha fresca. A remoção dos horizontes superficiais propiciou, em grandes extensões, a exumação e o desmantelamento parcial do saprólito aluminoso subjacente, resultando em solos lixiviados pouco desenvolvidos.

3.2.3 Vegetação

Na região do Complexo Máfico-Ultramáfico, em Barro Alto, a vegetação é do tipo savana arbórea nas planícies (cerrado), com matas-galerias ao longo dos rios (Santos, 2011).

Entretanto, parte dessa área apresenta-se intensamente transformada pela ocupação antrópica, abrangendo: pecuária extensiva, tradicionalmente praticadas nas encostas e vales, e agricultura irrigada e mecanizada em larga escala, prioritamente voltada à produção de cana-de-açúcar que é a principal atividade agropecuária da região devido a presença da usina.

A área da jazida é recoberta por vegetação rala, na forma de campos sujos e cerrados rupestres, entremeada com matas instaladas ao longo das drenagens. A cobertura original se encontra em boa parte preservada, à exceção de trechos ocupados por pastagens ou por pequenas estradas secundárias.

A vegetação na região compreende espécies características de veredas (*Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Xylopiia emarginata*), de áreas de nascentes (*Alchornea triplinervia*, *Anadenanthera falcata*, *Tabebuia serratifolia* e *Euterpe edulis*, dentre outros), bem como de cerradão e de cerrado (Veiga, 2005).

3.2.4 Descrição da área

O experimento foi realizado em área degradada da Mineradora Santo Expedito Ltda., devido, principalmente, ao problema de erosão. Essa erosão ativa propiciou a remoção dos horizontes superficiais, resultando em solos altamente lixiviados e pouco desenvolvidos (Santos, 2011).

Essa área caracteriza-se por ser uma encosta com declive ($< 5^\circ$) (Figura 3.1).

Ao longo da encosta ocorrem afloramentos de rocha fresca, expostos pela ação da erosão.



Figura 3.1. Situação da área antes do experimento, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.

3.2.5 Plantas testes

As espécies utilizadas no experimento foram mucuna preta (*Mucuna aterrima*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e milho (*Pennisetum glaucum*).

3.2.6 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012 apresentando dois ciclos de uso de plantas de cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos em arranjo fatorial 8 x 3 com quatro repetições, totalizando 96 subparcelas com 27,2 m² (6,8 x 4 m). Os tratamentos objetivaram a recuperação da área e foram implantados em março de 2012, sendo eles: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milho consorciado com feijão guandu; 6 - milho consorciado com feijão-de-

porco; 7- milho consorciado com crotalaria; 8- milho consorciado com mucuna. Os tratamentos consorciados foram estabelecidos pelo plantio de 50% da população de cada espécie.

Cada uma desses tratamentos foi adubada de três formas: 1 - adubação com fosfato de Arad (100 kg P_2O_5); 2 - adubação com esterco bovino (15 Mg ha^{-1}); 3 - adubação com NPK (15-15-14) via fertilizante de liberação controlada (250 kg ha^{-1}).

A calagem foi realizada 30 dias antes pelo método da neutralização do Al^{+3} e da elevação dos teores de $Ca^{+2} + Mg^{+2}$, sendo os valores de saturação por Al^{+3} tolerados pelas culturas (mt), Ca + Mg trocáveis para cultura (X) e saturação por bases (Ve) recomendado para os adubos verdes (Vilela, 2004).

As doses de cada um e a calagem foram definidas levando-se em consideração a análise química do solo feita na camada de 0-20 cm (Tabela 3.1). Não foi realizada adubação de cobertura em nenhuma parcela.

Tabela 3.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento.

Argila	Silte	Areia	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	m
(g dm^{-3})				(CaCl ₂)	(mg dm^{-3})		(cmolc dm^{-3})				%		
570	230	200	0	3,9	1,7	0,067	0,3	0,3	3,9	2,2	4,57	14,6	76,7

O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, e aplicação de calcário dolomítico na dose de 1,5 t ha^{-1} (figura 3.2). Na implantação do primeiro ciclo das espécies (semeadura) dia 13 de março e no segundo ciclo dezembro 2012, foram semeados 60 kg ha^{-1} de mucuna e feijão-de-porco, 30 kg ha^{-1} de feijão guandu e 25 kg ha^{-1} de crotalaria. Os espaçamentos entrelinhas foram de 0,45 cm, totalizando 15 linhas de cultivo por parcela.

No primeiro ciclo de adubos verdes, instalados em março de 2012, as características avaliadas nos adubos verdes foram: altura até o florescimento e teor de clorofila. Devido ao veranico ocorrido em final de maio, ocorreu um retrocesso na produção de fitomassa e nenhuma análise destrutiva foi realizada com finalidade de manter o máximo possível de cobertura no solo.

No segundo ciclo em dezembro de 2012, além da altura, foram realizadas a produção de fitomassa seca e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea.

Para avaliação da altura das plantas de cobertura, foram realizadas leituras a cada 15 dias, desde 20 dias após a emergência das plantas. As leituras foram realizadas

com o auxílio de uma trena para coleta da altura, procedendo-se a medição do colo ao ápice da planta e com o auxílio de um paquímetro digital 6" ZAAS Presicion® para obtenção dos diâmetros de caule.



Figura 3.2. O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.

3.2.7 Variáveis estudadas

Para todas as parcelas, coletaram-se dados de quatro plantas, e então foi feita a média da parcela, a qual foi utilizada para análise no Programa SAS. Para parcelas sob consórcio entre gramínea e leguminosa, a média foi obtida entre as duas plantas da mesma espécie.

Para determinação da produção total de fitomassa seca da parte aérea, foi realizado corte no momento em que as plantas apresentavam 50% de floração. Foram coletados quatro quadrados de 0,5 m, totalizando 1 m² por parcela. No campo, cada parte aérea de uma planta foi acondicionada em sacos de papel, devidamente identificados, e em laboratório as plantas foram pesadas, obtendo-se a massa verde. Depois as plantas foram colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, até atingirem peso constante, sendo pesadas para obtenção dos respectivos pesos de matéria seca. Nessa fitomassa também foi estimado o acúmulo de macronutrientes.

Nas análises químicas dos materiais, o teor de N foi determinado após digestão sulfúrica e destilação em Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982); os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados após digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983), sendo o P

determinado em espectrofotômetro a partir de formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor, K por fotômetro de chama (Embrapa, 1997) e o Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica.



Figura 3.3. Desenvolvimento dos adubos verdes em área de degradada de mineração de bauxita, fevereiro 2013, Barro Alto, GO.

Diante da importância do nitrogênio para as forrageiras em relação à taxa fotossintética e crescimento, foi avaliado o teor relativo de clorofila-TRC (em unidade SPAD) na folha com uso do clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502, aos 75 dias após o plantio. Os valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda e têm sido usados para avaliar o estado nutricional com relação ao suprimento de nitrogênio, visto que o teor de clorofila – cor verde – se correlaciona com o de nitrogênio (Malavolta, 2006).

A medida foi realizada em uma folha de cada quatro plantas da parcela obtendo-se a média da parcela. A leitura foi feita na terceira folha completamente expandida no sentido do ápice para base, evitando-se a nervura central. A operação foi

realizada em todas as parcelas.

No primeiro ciclo com seca, com objetivo de não retirar a cobertura do solo, foram avaliadas apenas altura, diâmetro e teor relativo de clorofila.

Os resultados foram submetidos á análise de variância e Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo SAS.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química e textural das amostras do solo no início do ensaio experimental mostrou o caráter ácido e distrófico do solo e teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio baixos (Tabela 3.1). Em função do processo erosivo encontrado, é perfeitamente esperado um teor muito baixo de matéria orgânica como o observado. O solo apresenta um elevado teor de argila (57%).

3.3.1 Primeiro ciclo de plantio

Houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os tipos de adubações e de plantas de cobertura sobre a altura de planta e teor de clorofila (Apêndice 1).

Ocorreram diferenças significativas para todas as épocas de avaliação de altura (Tabela 3.2). De uma forma geral, a crotalária solteira apresentou durante as épocas de avaliações um maior crescimento. Isso provavelmente se deve às suas características de rusticidade e às suas características de crescimento. De acordo com Leal et al. (2012), a crotalária é uma leguminosa de crescimento rápido, principalmente em condições de alta temperatura.

O feijão-de-porco e guandu, consorciados ou não, em geral, apresentaram menores valores de altura no estudo, sendo inferiores a média do experimento, que foi de 71,96 cm. São valores baixos comparados a outros trabalhos com uso dessas espécies (Teixeira et al., 2010), que podem estar associados ao caráter distrófico do solo (Tabela 3.1).

Para teor de clorofila, as leguminosas consorciadas diferiram significativamente com menores valores de TRC em relação a todos os tratamentos com leguminosas isoladas. Esse valor nas leguminosas pode estar associado à segunda fonte de nitrogênio, que é pela fixação biológica dele e pela pequena quantidade de nitrogênio na

gramínea, visto que o TRC foi calculado pela média da parcela, quando em consórcio.

Tabela 3.2. Altura da parte aérea (cm) de adubos verdes em cinco épocas de amostragem após dias de emergência (DAE), e teor de clorofila (IRC) no florescimento.

Trat	Altura (cm)					Clorofila
	15 DAE	30 DAE	45 DAE	60DAE	79 DAE	TRC
CRO	14,66 a	29,00 a	54,33 a	68,33 a	88,33 a	43,33 b
CROc	15,83 a	25,41 b	43,45 b	60,54 bc	78,75 b	29,25 d
MUC	7,66 b	19,66 c	40,00 bc	54,00 de	71,33 bc	40,03 b
MUCc	10,58 ab	24,75 b	43,04 b	61,95 b	78,20 b	31,17 cd
FP	12,33 ab	29,00 a	41,00 bc	50,00 ef	59,00 d	48,63 a
FPc	12,79 ab	25,45 b	41,70 bc	58,62 bcd	72,75 bc	32,49 cd
FG	11,33 ab	23,33 b	31,00 d	44,33 f	59,33 d	41,13 b
FGc	12,12 ab	24,87 b	38,66 c	54,62 cde	68,00 cd	34,24 c
Média	12,16	25,18	41,65	56,55	71,96	37,53
Teste F	2,64	37,78	47,03	27,25	21,85	63,82
CV(%)	43,68	6,73	7,82	8,76	10,27	15,38

(1) CRO - Crotalária isolada, CROc - Crotalária consorciada, FG - Feijão Guandu, FGc - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FPc - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUCc - Mucuna Consorciada.

(2) Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em estudos realizados por Paula (2010), há uma estreita relação entre teor relativo de clorofila com produção de fitomassa das gramíneas isoladas e consorciadas, ou seja, quanto maior o valor de TRC, maior é a produção de fitomassa, já que a clorofila está relacionada com fotossíntese, e a fotossíntese efetiva é representada pela produção de biomassa. Maranhão et al. (2009) também verificaram correlação positiva elevada para produção de matéria seca e valores de clorofila em *B. decumbens* (TRC) com $R^2 = 0,96$. Segundo os mesmos autores, o teor de clorofila pode ser usado como indicador da produção esperada.

Em relação às fontes de adubação, houve incremento significativo no tratamento NPK para altura e teor de clorofila em relação ao Arad e esterco (Tabela 3.3).

O efeito significativo da adubação mineral na altura das plantas, encontrado neste trabalho, reflete o estímulo imediato dos adubos verdes no crescimento, em curto prazo, em detrimento a resposta ao fornecimento de NPK mineral.

Nota-se para teor de clorofila que, com a utilização da fonte de fosfato de Arad, que não possui nitrogênio em sua composição, não se diferiu da fonte que utilizou esterco e foi inferior aproximadamente a nove unidades TRC em relação à fonte mineral. Isso demonstra a eficiência das plantas de adubos verdes em assimilação de nitrogênio associado

à fixação biológica.

Tabela 3.3. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e teor de clorofila (TRC).

Fontes	Altura (cm)					Clorofila TRC
	15 DAE	30 DAE	45 DAE	60DAE	79 DAE	
NPK	15,04 a	29,34 a	49,96 a	67,95 a	86,21 a	44,11 a
Esterco	10,12 b	23,09 b	36,93 b	51,64 b	66,26 b	34,39 b
Arad	11,32 b	23,12 b	38,04 b	50,06 b	63,40 b	34,11 b
Média	12,16	25,18	41,64	56,55	71,95	37,53
Teste F	7,46	144,12	157,16	127,73	90,35	120,30
CV%	43,68	6,73	7,82	8,76	10,27	7,82

(1) DAE = dias após a emergência.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.2 Segundo ciclo de plantio

Houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os tipos de adubações e de plantas de cobertura sobre a altura de planta (Apêndice 2). Ocorreram diferenças significativas entre as plantas de cobertura para avaliação de altura (Figura 3.4 e 3.5). A crotalária solteira e consorciada apresenta maiores valores de altura obtendo valores próximos e superiores a média (80,27 cm).

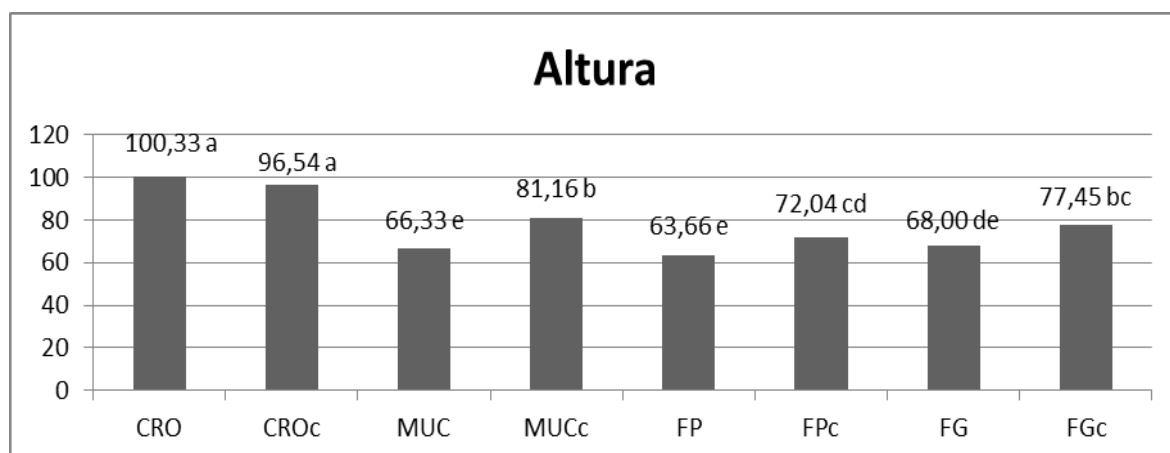


Figura 3.4. Altura da parte aérea (cm) de adubos verdes no segundo ciclo em Barro Alto, GO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação às fontes de adubação, houve incremento significativo no tratamento NPK para altura em relação ao Arad e esterco (Apêndice 2), seguindo a mesma tendência do primeiro ciclo, demonstrando que a fonte mineral, provavelmente pela liberação mais rápida de nutrientes para a planta, influenciou na altura.

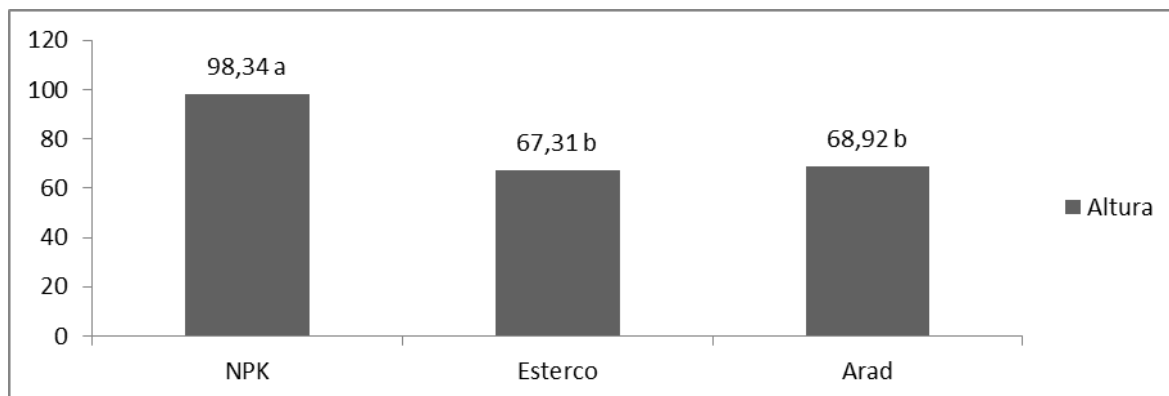


Figura 3.5. Efeito entre os tipos de adubação sobre altura (cm) no segundo ciclo em Barro Alto, GO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve diferença significativa ($p < 0,01$) entre as fontes de adubações e de plantas de cobertura sobre a produção de fitomassa seca e acúmulo de nutrientes (Tabelas 3.4 e 3.5)

Em relação à produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes nos adubos verdes em função das espécies utilizadas (Tabela 3.4), verifica-se que houve diferenças significativas em todas as características avaliadas.

Para produção de fitomassa, as leguminosas consorciadas apresentaram maiores valores, provavelmente devido à contribuição da gramínea em torno de 17% nesses tratamentos, demonstrando que essa eficiência pode estar relacionada com a complementaridade do uso dos fatores de produção, por se tratar de uma leguminosa e gramínea que possuem sistemas fisiológicos diferentes.

Os resultados obtidos para produção de fitomassa demonstram que a técnica do consórcio entre milho e leguminosas foi melhor para as condições do trabalho, embora suas produções tenham sido aquém daquelas encontradas na literatura em áreas que não estão em processo de recuperação (Calvo et al., 2010; Perin et al., 2004), os quais obtiveram produção de $8,251 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa no consórcio de guandu com milho e $8,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa no consórcio de crotalária com milho, respectivamente.

Essa baixa produção de fitomassa apresentada pelas espécies pode estar associada às condições adversas de crescimento vegetal, relacionadas, principalmente, às características de solo degradado em recuperação (Tabela 3.4).

Os trabalhos de Calvo et al., (2010) e Teixeira et al. (2010) obtiveram maiores porcentagens do milho na produção de fitomassa em consórcio, 44,7% quando consorciado com feijão-de-porco e 84% quando consorciado com guandu,

respectivamente. No presente estudo, a participação da gramínea foi de aproximadamente 17,1%, demonstrando a melhor rusticidade e adaptação das leguminosas nas condições do experimento.

Tabela 3.4. Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes (Kg ha⁻¹) na parte aérea de adubos verdes no segundo ciclo.

Tratamento	Milheto ^(1,2)	Fitomassa						
		seca	N	P	K	Ca	Mg	
-----kg ha ⁻¹ -----								
CRO	-	1445,05 c	46,28 cd	10,88 cd	10,46 d	9,87 de	2,35 E	
CROc	18,1	2609,81 a	40,87 de	24,34 a	15,64 a	13,77 c	4,22 ab	
FG	-	1804,20 b	39,32 de	8,14 ef	8,41 e	8,28 e	2,70 de	
FGc	16,3	2838,37 a	56,89 a	13,10 b	13,24 bc	11,15 cd	3,61 bc	
FP	-	1452,17 c	35,55 e	7,14 f	12,11 cd	18,59 b	2,48 E	
FPc	17,1	2715,38 a	54,35 ab	10,42 cd	15,59 a	18,17 b	3,25 cd	
MUC	-	1482,87 c	48,56 bc	11,93 bc	10,34 de	20,09 b	4,45 A	
MUCc	17,0	2649,89 a	51,74 abc	9,71 de	14,21 ab	27,23 a	3,56 C	
Média	17,1	1893,39	46,69	11,96	12,5	15,89	3,33	
Teste F	-	31,32	19,24	134,6	32,96	112,70	31,39	
CV(%)	-	12,86	12,85	13,37	12,71	12,97	14,5	

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na mesma coluna pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(2) % de fitomassa do milho em relação à fitomassa seca total.

Em relação ao cultivo isolado, a produção de matéria seca do feijão guandu foi superior aos demais cultivos isolados, em torno de 400 kg ha⁻¹, mostrando-se uma espécie com possível adaptação para recuperação de áreas degradadas cultivada em solteiro, quando avaliado o potencial de produção vegetal.

A diferença estatística entre tratamentos, observada para o acúmulo na parte aérea de todos os nutrientes (Tabela 3.4), confirma que a produção de fitomassa e a quantidade de elementos absorvidos variam entre espécies e dentro da mesma espécie manejada de forma diferente.

De uma forma em geral, as leguminosas consorciadas obtiveram maiores acúmulos de nutrientes, fato associado à maior produção de fitomassa, confirmando que a quantidade de nutrientes acumulada se relaciona diretamente com a produção de massa seca (Reinbott et al., 2004).

Ressalta-se a importância das espécies de adubos verdes apresentarem uma relação positiva do crescimento vegetativo com acumulação de nitrogênio (Calvo et al., 2010).

O acúmulo de nitrogênio variou de 35,55 no tratamento com feijão-de-porco a 56,89 kg ha⁻¹ no tratamento com feijão guandu consorciado. Estimativas da contribuição de N pelas leguminosas de cobertura do solo variam entre 0 e 159 kg ha⁻¹ de acordo com o ano, local e espécie de leguminosa (Reinbott et al., 2004).

A média de acúmulo de fósforo foi de 11,96 kg ha⁻¹, com destaque para o tratamento de crotalária consorciada, que obteve o dobro desse valor (24,34 kg ha⁻¹). Andrade Neto et al. (2010), avaliando a influência dos adubos verdes na produção do sorgo, obtiveram uma média de 30,28 de kg ha⁻¹ de P acumulado, com média de produção de fitomassa das quatro espécies (guandu, mucuna, crotalária juncea e feijão-de-porco) de 4,88 Mg ha⁻¹.

Ocorreu uma pequena variação para teores de pot, 8,41 a 15,64 kg ha⁻¹, e de Mg, 2,35 a 4,45 kg ha⁻¹. Para o cálcio, a mucuna destacou-se com 27,23 e 20,09 kg ha⁻¹ de acumulação, demonstrando ser uma espécie eficiente para absorção e reciclagem desse nutriente.

Na Tabela 3.5, podemos observar o efeito dos diferentes tipos de adubações na produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes das plantas de cobertura. A adubação com a fonte de NPK de liberação controlada obteve maiores valores em todas as características avaliadas diferindo estatisticamente.

Tabela 3.5. Efeito entre as fontes de adubação sobre a fitomassa e acúmulo de nutrientes.

Fonte	Fitomassa	N	P	K	Ca	Mg
-----kg ha ⁻¹ -----						
Arad	1810,06 B	41,98 b	9,85 c	10,16 b	16,41 b	3,19 B
Esterco	1450,01 C	34,78 c	11,59 b	10,91 b	12,57 c	3,08 B
NPK	2420,11 A	63,34 a	14,42 a	16,42 a	18,70 a	3,71 A
Média	1893,39	46,69	11,96	12,50	15,89	3,33
Teste F	129,60	196,00	66,57	148,19	72,03	15,53
CV%	12,86	12,85	13,37	12,70	12,97	14,50

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em áreas mineradas, é desejável que haja um rápido crescimento inicial das plantas para promover a cobertura do solo e reduzir a suscetibilidade à erosão (Shrestha & Lal, 2011; Krümmelbein & Raab, 2012). Este fato demonstra que é necessário o adequado fornecimento de nutrientes para que as plantas de cobertura possam se desenvolver em melhores condições e assim atingir o seu potencial.

A produção de fitomassa e nutrientes absorvidos com utilização do fosfato de Arad foram superiores em relação à fonte de esterco em quase todas variáveis, fato que pode estar relacionado pela sua principal característica, que é a liberação gradual ao decorrer do tempo do fósforo para aproveitamento pelas espécies de cobertura.

Os fosfatos naturais reativos, como o de Arad, que reagem no solo mais lentamente, podem apresentar efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada por mais ciclos de cultivo, pode igualar-se ao dos fosfatos solúveis (Kaminski & Peruzzo, 1997).

Considerando a utilização da fonte esterco, as variáveis analisadas foram inferiores quando comparadas ao desempenho da fonte mineral, mas, com o passar do tempo, a fonte orgânica pode estar contribuindo com outros fatores de melhoria do solo, como aumento da população de micro-organismos e formação agregados no solo.

De acordo com resultados de Araujo et al. (2009), é necessário que se considerem taxas de mineralização mais baixas quando utilizam-se compostos de esterco de gado.

Houve correlação significativa ($p < 0,01$) entre todas as características avaliadas (Apêndice 3), menos na correlação do fósforo com cálcio. A produção de fitomassa apresentou correlação positiva significativa com todos os nutrientes acumulados. A quantidade de N e K acumulados pelas plantas de cobertura do solo apresentaram os maiores coeficientes de correlação em relação à fitomassa ($r = 0,79$ e $r = 0,74$).

De acordo com Melo et al. (2011), a correlação dos nutrientes na parte área da planta se deve, provavelmente, à influência dos fatores nutricionais na produção de matéria seca e reciclagem de nutrientes.

3.4 CONCLUSÃO

- Os tratamentos com leguminosas consorciadas promoveram incrementos significativos nos parâmetros fitomassa e nutrientes acumulados;
- 17,1% da fitomassa tiveram origem no milheto, indicando serem as leguminosas os principais fatores de incremento nessa variável;
- A utilização da fonte mineral (NPK) aumentou significativamente a fitomassa da adubação verde, acúmulo de nutrientes e altura das plantas em relação ao fosfato de Arad e ao esterco bovino.

3.5 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- AMARAL, C. S.; SILVA, E. B.; PEREIRA, I. M.; NARDIS, B. O.; GOLÇALVES, N. H. Crescimento de *Dalbergia miscolobium* em substrato de rejeito da mineração de quartzito fertilizado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 74, 2013.
- ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, 2010.
- ARAÚJO, F. F. de; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2009.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1379-1387, 2004.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim, 78).
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: Page, A. L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMAKER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australiana de acácia negra (*Acacia mearnsii* DE Wild.). **Revista Arvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 615-620, 2002.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, número especial, v. 32, p. 2831-2838, 2008.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; RESCK, I.S.; LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 101, p. 100-107, 2009.
- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M.; SCHIMIDT, S. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 139-149, 2011.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. da. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 159-164, 2005.

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

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; CASTILHO, A. F.; HENRIQUES, J. C. Revegetação de tanques de depósito de rejeito da lavagem de bauxita extraída em Porto Trombetas -PA. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p. 410-412.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed.rev.atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2008. 402p.

KAMINSKI J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da SBCS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).

KRÜMMELBEIN, J.; RAAB, T. Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 125, p. 109-115, 2012

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L. Desempenho de crotalaria cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 386-391, 2012.

LONGO, M. R.; RIBEIRO, I. A.; MELO, J. W. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 139-146, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Afronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição química - bromatológica de duas cultivares adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.

MELO, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUM, H.; SANTOS, M. M.; COIMBRA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

PAULA, E. C. M. **Atributos de substratos com rejeito de lavra de bauxita cultivados com puerária (*Pueraria phaseoloides*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*)**. 2010. 160f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.

POTT, C. A. MÜLLER, M. M. L.; BOTELHO, R. V.; FOLONI, J. S. S. Adubação verde em sistemas produtivos agrícolas: ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio. In: BOTELHO, R. V. **Tecnologia na agropecuária brasileira: atualizando conceitos**. Guarapuava: Unicentro, 2004. v. 1, p. 155-167.

REINBOTT, T. M.; CONLEY, S. P.; BLEVINS, D. G. No-tillage corn and grain sorghum response to cover crop and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 4, p. 1158-1163, 2004.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ F. L. F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticornis* consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 84-89, 2008.

SANTOS, W. M. **Mineralogia e geoquímica da bauxita derivada do anortosito, Barro Alto, Goiás**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Land use impacts on physical properties of 28 years old reclaimed mine soils in Ohio. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 306. N. 1-2, p. 249-260, 2008.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um latossolo vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho, solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 497-505, 2010.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTINEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1758-1767, 2008.

VEIGA, A. T. C. **Relatório final de pesquisa – DNPM 860.260/2004**. EDEM Mineração, 2005. 72p.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, C. M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 367-382.

WILLIAMSON, J. C.; ROWE, E. C.; HILL, P. W.; NASON, M. A.; JONES, D. L.; HEALEY, J. R. Alleviation of both water and nutrient limitations is necessary to accelerate ecological restoration of waste rock tips. **Restoration Ecology**, Malden, v. 19, n. 2, p. 194-204, 2011.

ZHOU, H.; PENG, X.; PETH, S.; XIAO, T. Q. Effects of vegetation restoration on soil aggregate microstructure quantified with synchrotron-based micro-computed tomography. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 17-23, 2012.

4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DEGRADADO POR MINERAÇÃO DE BAUXITA APÓS O USO DA ADUBAÇÃO VERDE MANEJADAS COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL

RESUMO

Os solos em áreas degradadas de mineração mostram baixos níveis de nutrientes e características físico-químicas diferentes do solo original antes da exploração. A utilização da adubação verde promove melhorias expressivas na fertilidade do solo, além do benefício adicional de cobertura de solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de adubos verdes, manejados sob adubação química e orgânica na recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Barro Alto, Goiás, avaliando atributos químicos do solo. O estudo foi instalado em março de 2012 em Barro Alto, apresentando dois ciclos de uso de plantas de cobertura. Os tratamentos foram: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-deporco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milho consorciado com feijão guandu; 6 - milho consorciado com feijão-deporco; 7 - milho consorciado com crotalária; 8 - milho consorciado com mucuna. E três fontes de adubação foram: 1 - adubação com fosfato de Arad; 2 - adubação com esterco bovino; 3 - adubação com NPK via fertilizante de liberação controlada. Com a introdução da adubação verde, o teor de Al trocável do solo, H+Al e da saturação por Al (m %) reduziram em 55%, 18,46% e 37,47% em relação ao início, respectivamente. E aumentou o teor de matéria orgânica, saturação de bases e potássio em 156%, 41,71% e 52,41%, respectivamente.

Palavras-chave: Matéria orgânica, fertilidade, área degradada, adubação verde.

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES DEGRADED BY BAUXITE MINING AFTER USE OF GREEN MANURE MANAGED WITH ORGANIC AND MINERAL FERTILIZER

ABSTRACT

The soils in degraded mining areas show low levels of nutrients and different physico-chemical characteristics of the original soil before operation. Use of green manure promotes significant improvements in soil fertility plus the added benefit of covering

ground. The objective of this study was to evaluate the use of green manures, managed under organic and chemical fertilizer on recovery of areas degraded by mining bauxite in Barro Alto - Goiás, evaluating soil chemistry. The study was installed in March 2012 at Barro Alto - Goiás, with two cycles of use of cover crops. The treatments were: 1- pigeonpea; 2- jack bean; 3- sunn hemp; 4- velvet bean; 5- millet intercropping with faba bean; 6 - millet intercropped with beans pork; 7 - millet intercropped with sunn hemp; 8- millet intercropped with velvet bean and three nutrient sources: 1- fertilization with phosphate Arad; 2- the cattle manure; 3- NPK fertilization via controlled release fertilizers chemical characteristics analyzed were: pH in CaCl_2 , macronutrients and soil organic matter. With the introduction of green manuring, the content of exchangeable soil Al, H + Al and Al saturation (m%) reduced by 55%, 18.46% and 37.47% over baseline, respectively. And increased the organic matter content, base saturation and potassium in 156%, 41.71% and 52.41%, respectively.

Key words: Organic matter, fertility, degraded area, green manuring.

4.1 INTRODUÇÃO

O solo removido para a mineração provoca a perda de uma grande quantidade de material orgânico, reduzindo a sua fecundidade, e esta pode ter um impacto negativo sobre a recuperação da área degradada (Guimarães et al., 2013). Na maioria das vezes, os solos em áreas degradadas mostram baixos níveis de nutrientes e as características físico-químicas são afetadas negativamente, tornando-se diferente das condições originais.

Em áreas em recuperação, a escolha adequada de espécies de adubos verdes é de fundamental importância. Especialmente em se tratando de sistemas debilitados para o crescimento, com o uso de espécies de rápido crescimento vegetativo e alta produção de massa, promovem-se melhorias expressivas na fertilidade do solo, além do benefício adicional de cobertura de solo, que auxilia no controle de plantas espontâneas por abafamento (Andrade et al., 2012; Silva et al., 2010; Solino et al., 2010). Quando se utilizam adubos verdes em sistemas de cultivo em longo prazo, os benefícios para o solo são mais expressivos (Souza & Guimarães, 2013).

É fato conhecido que a adubação orgânica em áreas degradadas pode trazer benefícios no processo de recuperação pelas melhorias das condições do solo para o desenvolvimento das plantas, como maior disponibilidade de nutrientes, aumento da CTC, melhor agregação, maior retenção de água e aumento do C do solo com consequente aumento da atividade microbiana, dentre outras (Carneiro et al., 2008).

Outra grande vantagem do uso de adubação orgânica deve-se ao fato de a disponibilização dos nutrientes para as plantas ser lenta, à medida que o material é decomposto (Silva, 2005), o que nem sempre é possível com a adubação química. Assim, a

adubação orgânica pode promover o fornecimento de nutrientes de forma mais sincronizada à demanda nutricional da planta ao longo de seu ciclo de vida, o que melhora o crescimento e a eficiência no uso da adubação.

Adubação verde pode consistir na incorporação no solo de uma massa não decompostada, plantas cultivadas ou importadas localmente, a fim de preservar e/ou recuperar a produtividade das terras cultiváveis (Ragozo et al., 2014).

A matéria orgânica influencia diversos atributos que determinam a qualidade do solo e se relaciona com a sustentabilidade e a integridade ambiental (Guimarães, 2010). Assim, a matéria orgânica é um dos principais indicadores da recuperação da qualidade do solo em áreas degradadas e em recuperação, sendo isso explicado pela sua relação com outros atributos.

O aumento da matéria orgânica do solo está associado, entre outros fatores, aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo (Cunha et al., 2011).

O processo de melhoria do solo pela deposição e o acúmulo de matéria orgânica, mesmo por meio de adubação verde, demandam um determinado tempo para as mudanças na camada superficial do solo, como mostra o estudo de Longo et al. (2011), no qual, após 15 meses decorridos da implantação de tratamentos utilizando adubo verde para a recuperação de solos degradados por mineração, não obteve mudanças no horizonte superficial.

Delarmelinda et al. (2010), estudando diferentes leguminosas usadas como adubos verdes, relataram aumento nos teores de matéria orgânica, soma de bases e percentagem de saturação por bases.

A adubação é uma importante etapa na recuperação de áreas mineradas, gerando melhoria nas condições físicas e químicas do solo, especialmente a adubação verde em conjunto com outras fontes, permitindo o restabelecimento de espécies e forrageiras sobre essas áreas.

Nesse contexto, observa-se a importância da possibilitando o aporte de material vegetal ao solo e melhoria da fertilidade do solo e das suas propriedades físicas e biológicas, possibilitando acelerar o processo de recuperação.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de adubos verdes manejadas sob adubação química e orgânica na recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Barro Alto, Goiás, avaliando atributos químicos do solo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização

O experimento foi conduzido em uma área da Mineradora Santo Expedito Ltda., no município de Barro Alto, Goiás, localizado na porção central do Estado de Goiás, cerca de 200 km ao norte de Goiânia e a noroeste de Brasília, e que apresenta as seguintes coordenadas geográficas 15° 07'48,37" de latitude sul e longitude 48° 56'17,25" oeste de Greenwich.

A região do Complexo Máfico-Ultramáfico Barro Alto, localizado no Planalto Central Brasileiro, está submetido, atualmente, a clima tropical de estações contrastadas. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é característico do tipo AW (típico dos climas úmidos de savana tropicais, com verão úmido, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro) em praticamente toda área.

A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C, com média dos dias mais quentes entre 24 e 26° C e dos meses mais frios superior a 18° C, com amplitude térmica das médias inferiores a 5° C.

A pluviosidade anual varia em torno de 1.600 mm, concentrada entre dezembro e fevereiro. No período seco, assinalam-se baixos índices de umidade do ar, geralmente inferiores a 30%.

4.2.2 Solo

O solo da região trabalhada é um rejeito oriundo de cambissolos (Háplicos) e neossolos (Litólicos), segundo classificação da Embrapa (2006), presente nos relatórios da Empresa de Desenvolvimento em Mineração (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (Eia-Rima) da Mineração Santo Expedito, 2008).

Na paisagem dominada por elevações estabelecidas sobre anortositos, o perfil de solo encontra-se truncado pela erosão ativa. Em alguns locais, a erosão acentuada chega a expor pequenos lajedos de rocha fresca.

A remoção dos horizontes superficiais propiciou, em grandes extensões, a exumação e o desmantelamento parcial do saprólito aluminoso subjacente, resultando em solos lixiviados pouco desenvolvidos (Santos 2011).

4.2.3 Vegetação

Na região do Complexo Máfico-Ultramáfico, em Barro Alto, a vegetação é do tipo savana arbórea nas planícies (cerrado), com matas-galerias ao longo dos rios (Santos, 2011).

Entretanto, parte dessa área apresenta-se intensamente transformada pela ocupação antrópica, abrangendo: pecuária extensiva, tradicionalmente praticadas nas encostas e vales, e agricultura irrigada e mecanizada em larga escala, prioritamente voltada à produção de cana-de-açúcar que é a principal atividade agropecuária da região devido a presença da usina.

A área da jazida é recoberta por vegetação rala, na forma de campos sujos e cerrados rupestres, entremeada com matas instaladas ao longo das drenagens. A cobertura original se encontra em boa parte preservada, à exceção de trechos ocupados por pastagens ou por pequenas estradas secundárias.

A vegetação na região compreende espécies características de veredas (*Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Xylopiia emarginata*), de áreas de nascentes (*Alchornea triplinervia*, *Anadenanthera falcata*, *Tabebuia serratifolia* e *Euterpe edulis*, dentre outros), bem como de cerradão e de cerrado (Veiga, 2005).

4.2.4 Descrição da área

O experimento foi realizado em área degradada da Mineradora Santo Expedito Ltda., devido, principalmente, ao problema de erosão. Essa erosão ativa propiciou a remoção dos horizontes superficiais, resultando em solos altamente lixiviados e pouco desenvolvidos (Santos, 2011).

Essa área caracteriza-se por ser uma encosta com declive de ($< 5^\circ$) (Figura 4.1). Ao longo da encosta ocorrem afloramentos de rocha fresca, expostos pela ação da erosão e pelo próprio intemperismo.

4.2.5 Plantas testes

As espécies utilizadas no experimento foram mucuna preta (*Mucuna aterrima*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e milheto (*Pennisetum glaucum*), plantadas solteiras ou em consórcio.



Figura 4.1. Situação da área antes do experimento, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.

4.2.6 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012 apresentando dois ciclos de uso de plantas de cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos em arranjo fatorial 8 x 3 com quatro repetições, totalizando 96 subparcelas com 27,2 m² (6,8 x 4 m).

Os tratamentos objetivaram a recuperação da área e foram implantados em março de 2012, sendo eles: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milho consorciado com feijão guandu; 6 - milho consorciado com feijão-de-porco; 7- milho consorciado com crotalária; 8- milho consorciado com mucuna. Os tratamentos consorciados foram estabelecidos pelo plantio de 50% da população de cada espécie.

Cada uma desses tratamentos adubados de três diferentes formas: 1 - adubação com fosfato de Arad (100 kg P₂O₅); 2 - adubação com esterco bovino (15 Mg ha⁻¹); 3 - adubação com NPK (15-15-14) via fertilizante de liberação lenta (250 kg ha⁻¹). As doses de cada um e a calagem foram definidas levando-se em consideração a análise química do solo feita na camada de 0-20 cm (Tabela 4.1). O fornecimento de cada fonte de NPK se encontra no Apêndice 4.

O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, e aplicação de calcário dolomítico na dose de 1,5 t ha⁻¹ (Figura 4.2). Na implantação do primeiro ciclo das espécies (semeadura) dia 13 de março de 2012 e no segundo ciclo dezembro 2012, foram semeados 60 kg ha⁻¹ de mucuna e feijão-de-porco, 30 kg ha⁻¹ de feijão guandu e 25 kg ha⁻¹ de crotalária. Os espaçamentos entrelinhas foram de 0,45 cm, totalizando 15 linhas de cultivo por parcela.

4.2.7 Variáveis estudadas

As amostras de solo para as análises químicas foram coletadas com o auxílio de trado na camada do solo (0-20 cm), em cinco sítios por parcela, formando uma amostra composta, sendo três coletadas entrelinha e duas na linha.

A análise do solo para implantação do experimento e as análises das amostras dos tratamentos coletadas no decorrer do experimento foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Foliar da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás.

A primeira análise de solo foi realizada antes da implantação em fevereiro de 2012 (Tabela 4.1); a segunda, após um ciclo de adubos verdes em outubro de 2012; e a terceira, após o segundo ciclo de adubos verdes em outubro de 2013, totalizando 20 meses, ou 600 dias após a semeadura (DAS) da primeira para última amostragem. Não foi realizada adubação de cobertura em nenhum momento do presente estudo.

A metodologia empregada para análise química dos materiais foi a proposta pela Embrapa (1999) para solo, que constou, primeiramente, do preparo do material por meio da secagem da amostra ao ar em ambiente ventilado, do destorroamento e da separação das frações do solo por homogeneização, passando em uma peneira de malha de 2 mm para os solos argilosos, resultando na “terra fina seca ao ar” (TFSA), que é usada para as determinações de pH, Ca, Mg, K, Matéria orgânica, CTC, H+Al, Al e V%.

Tabela 4.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento.

Argila	Silte	Areia	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	m
(g dm ⁻³)				(CaCl ₂)	(mg dm ⁻³)		(cmolc dm ⁻³)				%		
570	230	200	0	3,9	1,7	0,067	0,3	0,3	3,9	2,2	4,57	14,6	76,7

Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média a 5%. Foi usado o software SAS para realização da

análise estatística.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química e textural das amostras do solo no início do ensaio experimental mostraram o caráter ácido e distrófico. Em função da remoção da camada superficial do solo e, conseqüentemente, da vegetação, os teores de P, K, Ca, Mg e MOS e os valores de saturação de bases (SB) e CTC total (T) no solo degradado foram, provavelmente, reduzidos pelo processo erosivo. Em contrapartida, os valores de acidez potencial ($H + Al$), acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por Al^{3+} (m) foram elevados, trazendo grandes prejuízos à reabilitação desses ambientes, o que torna o solo mais limitante ao estabelecimento da vegetação.

O solo degradado apresenta 570 g dm^{-3} de argila, enquadrando-se na classe textural de argiloso ($360 \text{ a } 600 \text{ g dm}^{-3}$), segundo Souza e Lobato (2004).

Os teores de matéria orgânica (M.O), pH, potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial ($H + Al^{3+}$), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de alumínio (m) e saturação de bases (V) (Tabela 4.2) não sinalizaram diferenças entre as espécies de plantas de adubo verde utilizadas (Apêndice 5).

Isso demonstra que os 20 meses decorridos não foram suficientes para as espécies de adubos verdes promoverem mudanças no solo, sendo necessário um tempo maior para a alteração nos teores.

Cardoso et al. (2013) também não obtiveram melhorias no condicionamento dos atributos químicos após 130 dias da semeadura milheto, crotalária e feijão-de-porco de pH, Ca, Mg, $Al+H$, Al , V, CTC e M.O. Cunha et al. (2011) seguiram a mesma tendência e, após quatro anos, não observaram diferenças entre as plantas de cobertura quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo.

Silveira et al. (2010) não verificaram diferenças nos atributos químicos do solo, em diferentes camadas, quando cultivado com crotalária. Moreti et al. (2007) não observaram, trabalhando com crotalária e milheto, alteração dos atributos químicos do solo após o cultivo do milheto e da crotalária.

As plantas de cobertura modificaram todos os atributos químicos do solo em relação aos teores iniciais (Tabela 4.2), sendo de grande relevância M.O. A matéria orgânica é de fundamental importância para o processo de recuperação, visto que esta promove melhorias em atributos físicos, químicos e biológicos do solo, dando

sustentabilidade ao sistema a ser recuperado (Longo et al., 2011).

Tabela 4.2. Influência dos adubos verdes nas propriedades químicas do solo.

Tratamento	M.O (%)	pH (CaCl ₂)	K ...mg/dm ³ ...	P	Ca	Mg	H+Alcmol/dm ³	Al	CTC	m%.....	V
CRO	0,93a	4,22a	37,83a	3,48a	0,68a	0,28a	3,90a	1,15ab	4,97a	53,98a	20,12a
CROc	0,83a	4,17a	38,00a	1,55a	0,65a	0,30a	3,58a	1,32a	4,65a	56,41a	22,45a
FG	0,72a	4,25a	36,17a	0,87a	0,52a	0,25a	3,18a	1,00ab	4,03a	54,88a	20,52a
FGc	0,77a	4,17a	36,67a	1,60a	0,48a	0,32a	3,78a	1,28a	4,65a	59,7a	19,03a
FP	0,77a	4,25a	34,66a	1,50a	0,42a	0,23a	3,23a	0,80b	3,95a	51,2a	19,12a
FPc	0,83a	4,22a	37,33a	1,53a	0,51a	0,27a	3,58a	1,07ab	4,45a	55,5a	20,00a
MUC	0,75a	4,25a	37,50a	1,50a	0,47a	0,32a	3,45a	1,13ab	4,33a	56,4a	20,45a
MUCc	0,91a	4,23a	37,66a	1,76a	0,45a	0,28a	3,57a	1,23ab	4,37a	59,23a	19,12a
INICIAL	0	3,9	26,19	1,7	0,3	0,3	3,9	2,2	4,57	76,7	14,6
Média	0,81	4,21	36,97	1,73	0,53	0,28	3,53	1,12	4,43	55,91	20,1
Teste F	0,6	1,1	0,67	1,13	1,16	1	1,36	2,9	1,45	0,55	0,42
CV(%)	30,53	1,93	9,09	101,3	40,78	26,19	14,58	21,57	15,42	16,27	21,21

(1) CRO - Crotalária isolada, CROc - Crotalária consorciada, FG- Feijão Guandu, FGc - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FPc - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUCc - Mucuna Consorciada, INICIAL - análise de solo antes de iniciar o experimento.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de matéria orgânica são baixos (0,72 a 0,93%), porém era de se esperar seu baixo teor devido aos problemas de erosão e à recuperação da área estar no início, o que confirma os resultados avaliados nas áreas estudadas no presente trabalho. Costa & Zocche (2009) encontraram baixos teores de matéria orgânica e fósforo em áreas de mineração, indicando restrições ao desenvolvimento de plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2004).

Porém, o teor de M.O do solo, ao compararmos o inicial (0%) com a variação dos tratamentos utilizados (0,72 a 0,93 %), apresenta-se um incremento considerável de mais de 70 %, fato este irá melhorar as condições do solo em fase inicial de recuperação.

De uma forma geral, nota-se que as leguminosas consorciadas apresentaram sensivelmente valores maiores para as características avaliadas, porém sem ocasionar diferença significativa, fato que talvez possa estar relacionado com suas maiores produções de fitomassa observadas no capítulo 1.

O pH do solo não variou ao longo do cultivo das plantas de cobertura, sendo que o solo manteve seu teor de acidez alto. Almeida et al. (2008) não verificaram, após três anos manejado com plantio direto, efeito significativo da crotalária e do milho sobre o pH do solo.

O solo estudado tem acidez alta, com teores de Al trocável variando de 0,8 a 1,37 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ entre espécies (Tabela 4.2). Esses altos valores de Al trocável ocorreram devido ao material de origem em que a remoção dos horizontes superficiais pela erosão ocasionou o desmantelamento parcial do saprólito aluminoso subjacente, resultando em solos pouco desenvolvidos e lixiviados (Santos, 2011).

O Al trocável, mesmo com esses altos valores, foi reduzido comparando-se seu teor antes da implantação do experimento de 2,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 4.2), fato provavelmente ocorrido pela formação de complexos com ácidos orgânicos oriundos da introdução dos adubos verdes e pela prática da calagem realizada. Nota-se que o tratamento com feijão-de-porco isolado proporcionou a maior redução de Al^{+3} , sendo uma potencial espécie para reduzir acidez trocável do solo.

De acordo com Raij et al. (1996), para o cultivo de adubos verdes, a recomendação é que se eleve o teor de Mg a um mínimo de 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor que não foi atingido em nenhum dos tratamentos.

Baixos teores de fósforo foram encontrados (Tabela 4.2), variando de 0,87 a 3,48 mg dm^{-3} . Cardoso et al. (2013), visando ao condicionamento dos atributos químicos de uma erosão com utilização de adubos verdes, obtiveram 3,1, 2,8 e 2,8 mg dm^{-3} para crotalária, feijão-de-porco e mucuna, respectivamente, não se diferindo estatisticamente quando cultivados no espaçamento de 0,5 m.

Na Tabela 4.3, verifica-se que as fontes de adubação não modificaram significativamente os valores dos atributos químicos estudados executando-se o alumínio e potássio, demonstrando que o período de realização do experimento de 20 meses em relação às fontes de adubação estudadas foi pequeno para ocasionar transformações significativas.

O teor de potássio com a fonte mineral foi superior significativamente em relação ao fosfato de Arad, que não possui K em sua formulação dependendo da ciclagem desse elemento pelos adubos verdes e disponibilização da matéria orgânica.

A análise estatística dos resultados indicou haver diferenças significativas para todos os atributos químicos do solo de um ano para o outro, exceto capacidade de troca catiônica (Tabela 4.4).

De uma forma geral, os atributos químicos melhoraram sensivelmente do primeiro para o segundo ano, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está começando a atuar nesses atributos, buscando com o passar

do tempo um equilíbrio, para propiciar melhores condições para desenvolvimento de plantas.

Tabela 4.3. Influência das fontes nas propriedades químicas do solo.

Trat	M.O (%)	pH (CaCl ₂)	P ...mg/dm ³ ...	Kcmol/dm ³	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
Arad	0,70a	4,24a	2,34a	34,81b	0,50a	0,28a	3,32a	0,96b	4,17a	52,64a	20,98a
NPK	0,86a	4,21a	1,45a	39,37a	0,54a	0,30a	3,67a	1,26a	4,62a	58,07a	19,81a
Esterco	0,89a	4,20a	1,37a	36,75ab	0,53a	0,25a	3,61a	1,15ab	4,49a	57,03a	19,51a

(1) M.O. – matéria orgânica, P – fósforo, K – potássio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H+Al – acidez potencial, Al – alumínio, CTC – capacidade de troca catiônica, M – saturação de alumínio, V – saturação de bases.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de matéria orgânica aumentou de 0,07 para 1,59%. Esse aumento da matéria orgânica do solo pode estar associado, entre outros fatores, ao incremento de resíduos vegetais ao solo devido à realização do segundo plantio dos adubos verdes. O aumento da matéria orgânica do solo está associado, entre outros fatores, aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo (Cunha, et al., 2011). Delarmelinda et al. (2010), com utilização de adubos verdes em um cambissolo, também observaram o aumento do teor de M.O.

Porém, o teor de M.O do solo, ao compararmos o inicial (0%) com o final do segundo ciclo (1,56%), apresenta-se um incremento considerável, visto o pouco tempo de recuperação da área, demonstrando a importância da utilização dos adubos verdes. Esse incremento, segundo Carneiro et al (2008), proporciona melhora nas condições do solo para desenvolvimento de plantas, como maior disponibilidade de nutrientes, aumento da CTC e aumento de carbono do solo e, conseqüentemente, atividade microbiana.

Assim, a matéria orgânica é um dos principais indicadores da recuperação da qualidade do solo em áreas degradadas e em recuperação, sendo isso explicado pela sua relação com outros atributos. O aumento da matéria orgânica do solo está associado, entre outros fatores, aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo (Cunha et al., 2011).

Sendo a porcentagem de argila e de matéria orgânica atributos que determinam as propriedades químicas, físicas e biológicas de um solo, como a estrutura, a capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a capacidade de reter cátions (Luchese et al., 2002), seus teores são de extrema importância para a manutenção da fertilidade desse solo.

O valor de pH do solo sofreu um pequeno decréscimo de um ano para o outro (4,26 para 4,17). Diversos trabalhos demonstram que as leguminosas não influenciam o valor de pH no solo (Almeida et al. 2008; Delarmelinda, et al. 2010; Cunha, et al. 2011). Por se tratar de uma encosta exposta devido a problemas de erosão, os valores são considerados baixos de pH, segundo Sousa & Lobato (2004). Assim, o pH muito baixo dessas áreas pode ser devido a uma acidificação natural que os solos sofrem ao longo do tempo (Corá et al., 2004).

O pH do solo muito baixo pode resultar em problemas para a vegetação, uma vez que, nessa situação, ele influencia a disponibilidade de nutrientes, podendo gerar condições não desejáveis pelo aumento na disponibilidade e solubilidade de metais tóxicos (Dias, 1998; Wong, 2003; Paschke et al., 2005).

O teor de P no solo dobrou de um ano para o outro, mostrando, assim, um incremento do nutriente na área em recuperação. Esse incremento de P pode estar relacionado à capacidade dessas plantas em absorver o P de camadas subsuperficiais do solo e disponibilizá-lo na superfície, após a decomposição da matéria seca. Segundo Pavinato & Rosolem (2008), é normal se observar o aumento na disponibilidade de fósforo no solo com resíduos vegetais, tanto pelo fósforo presente no resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo.

Apesar do aumento do teor de fósforo disponível após o segundo ciclo de adubos verdes esse teor ainda é considerado muito baixo por Sousa & Lobato (2004).

As classes de interpretação da disponibilidade potássio diferiram entre os anos de cultivo: “baixo” e “adequado”, respectivamente (Tabela 4.4). A produção de fitomassa e, conseqüente, do aumento da matéria orgânica do ano 1 para 2 pode explicar esse aumento de potássio. A matéria orgânica pela geração de cargas negativas consegue adsorver o K, resultando em menos perdas para esse elemento, que possui alta capacidade de lixiviação. Valadares et al. (2012), em sistemas com uso de adubação verde sem revolvimento, confirmam que incrementos, mesmo que muitos baixos de matéria orgânica, podem favorecer a maior adsorção de K.

Nota-se, ao compararmos o teor inicial de K e após o segundo ciclo de adubos verdes, houve o incremento de 52,41%, demonstrando a importância da utilização dessas espécies no início de recuperação da área degradada. Rosolem et al. (2006), por exemplo, citam a maior concentração de K no solo quando da utilização de cobertura morta de milho. Em condições tropicais, em solos de baixa CTC, as perdas de K são preocupantes,

porque, além de não compor moléculas orgânicas (Epstein & Bloom, 2006), o K não é preferencialmente retido nos coloides do solo.

Tabela 4.4. Propriedades químicas do solo no início e após os ciclos de adubos verdes.

Ciclo	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
	%	CaCl ₂	-----mg dm ³ ----				-----cmolc dm ⁻³ -----			-----%-----	
Ano 1	0,07b	4,26a	1,1 b	18,91b	0,46b	0,19b	3,88a	1,25a	4,56a	63,86a	15,15b
Ano 2	1,56a	4,17b	2,30a	55,04a	0,59a	0,37a	3,18b	0,99b	4,28a	47,96b	25,05a
Inicial	0	3,9	1,7	26,19	0,3	0,3	3,9	2,2	4,57	76,7	14,6

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores médios de alumínio trocável e de H + Al no ano 1 (Tabela 4.4) foram maiores do que no ano 2, com diferença estatística significativa entre os teores (3,88 e 3,18) de H+Al e (1,25 e 0,99) de Al.

Em solos com valores de pH baixos, como os detectados na área de estudo, as formas tóxicas de alumínio são favorecidas, diminuindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a saturação por bases, aumentando alumínio trocável. A saturação de alumínio foi considerada muito alta (63,86%) no primeiro ano e alta (47,96%) no segundo, conforme Sousa & Lobato (2004). Porém essa redução que ocorreu em pouco tempo de utilização dos adubos verde é muito relevante.

Os valores de alumínio trocável mostraram-se maiores no primeiro ano, provavelmente devido à diminuição do valor de matéria orgânica nessa área em relação ao segundo ano, pois o valor do alumínio trocável é influenciado pelo teor de matéria orgânica no solo (Falleiro et al., 2003).

A concentração de alumínio trocável no solo afeta ainda a disponibilidade de fósforo, potássio e cálcio (Goodland & Ferri, 1979), o que indica que os teores de alumínio do solo em recuperação podem estar influenciando a disponibilidade de cálcio e fósforo, o que resulta em baixos valores desses nessa área.

Porém, se compararmos os teores após o segundo ciclo, isto é, 18 meses de utilização de adubos verdes de Al trocável do solo, H+Al e da saturação por Al (m %), obteve-se uma redução em 55%, 18,46% e 37,47% em relação ao solo antes do início do trabalho, respectivamente. Fato de grande importância, pois, a rocha bauxita em sua composição e durante seu intemperismo possui altas quantidades de alumínio que dificulta o estabelecimento de muitas espécies vegetais, o que dificulta o processo de recuperação da área degradada.

Quando ocorre a redução dos teores de cátions como cálcio, magnésio e potássio, o alumínio trocável domina o complexo de troca, podendo promover limitações ao desenvolvimento da vegetação (Costa & Zocche, 2009).

Para cálcio e magnésio seus teores aumentaram significativamente de um ano para outro (Tabela 4.4). Esses maiores teores provavelmente se devem à capacidade das plantas de retornar nutrientes à superfície do solo via senescência da fitomassa. Porém tais teores ainda são considerados baixos por Sousa & Lobato (2004).

Por isso a saturação de bases do trabalho apresenta-se baixa no primeiro ano (15,15%) e média (25,05%) no segundo ano, conforme Sousa & Lobato (2004). Isso se deve pela alta quantidade de H+Al ocupando as cargas negativas desse solo. Delarmelinda et al. (2010), com utilização de adubos verdes em um cambissolo, também observaram o aumento da percentagem da saturação de bases. Porém houve o incremento de 41,71% quando compararmos o valor de (V %) inicial com o final do experimento.

O baixo valor da CTC evidenciado no solo em recuperação deve-se, portanto, à presença de íons tóxicos como o H⁺ e Al³⁺ e não de cálcio, magnésio e potássio, sugerindo baixa fertilidade desses solos. Apesar do exposto, esses resultados são de muita importância, visto que são poucos os parâmetros existentes sobre recuperação de áreas minerada, mais relevante ainda se considerarmos mineração de bauxita.

4.4 CONCLUSÃO

- Mesmo não havendo diferença entre as espécies e entre as fontes, há uma melhoria nos parâmetros químicos avaliados após 20 meses quando comparado ao estágio inicial do estudo;

- A análise estatística dos resultados indicou haver diferenças significativas para todos os atributos químicos do solo de um ano para o outro, exceto capacidade de troca catiônica;

- Com a introdução da adubação verde, o teor de Al trocável do solo, H+Al e da saturação por Al (m %) reduziram em 55%, 18,46% e 37,47% em relação ao início, respectivamente,

- A utilização dos adubos verdes aumentou o teor de matéria orgânica, saturação de bases e potássio em 156%, 41,71% e 52,41% em relação ao início, respectivamente.

4.5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. Viçosa, 32, n. 3, p. 1.227-1.237, 2008
- ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um cambissolo húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, 2012.
- CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no reconcionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 205-214, 2009.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011.
- DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 625-627, 2010.
- DIAS, L. E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J. W. V. (Eds.) **Recuperação de área degradada**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 27-44.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- EPSTEIN E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 393 p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

GUIMARÃES, L. A. O. P. **Atributos físicos de um substrato formado pela deposição de rejeito de beneficiamento de bauxita após uma década de recuperação ambiental**. 2010. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

GUIMARAES, J. C. C.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, A. D.; BORGES, L. A. C. Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining. **CERNE**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 7-19, 2013.

GOODLAND, R.; FERRI, M. G. **Ecologia do cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia/ Edusp, 1979. 193p.

LONGO, M. R.; RIBEIRO, I. A.; MELO, J. W. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.139-146, 2011.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182p.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALERIO FILHO, W. V.; Carvalho, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

PASCHKE, M. W.; VALDECANTOS, A.; REDENTE, E. F. Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. **Environmental Pollution**, Massachusetts, v. 135, n. 22, p. 3131-322, 2005.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.3, v. 32, p. 911-920, 2008.

RAGOZO, C. R. A.; LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. Nutritional balance and yield for Green manure Orange trees. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 4, p. 616-621, 2014.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 813-819, 2006.

SANTOS, W. M. **Mineralogia e geoquímica da bauxita derivada do anortosito, Barro Alto, Goiás**. 201. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SILVA, A. G.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 2092-2098, 2010.

SILVA, A. A. **Potencialidade da recuperação de pastagem de Brachiaria decumbens fertilizada com cama de aviário e fontes minerais**. 2005. 152p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SILVA, S. R.; PROCÓPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilidade de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 189-196, 2004.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOLINO, A. J. S.; FERREIRA, R. O.; FERREIRA, R. L. F.; NETO, S. E. A.; NEGREIRO, J. R. S. Cultivo orgânico de rúcula em plantio direto sob diferentes tipos de coberturas e doses de composto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, p. 18-24, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUSA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013

VEIGA, A. T. C. **Relatório final de pesquisa – DNPM 860.260/2004**. EDEM Mineração, 2005. 72p.

VALADARES, R. V.; MENEZES, J. B. C.; FERNANDES, L. A.; TUFFI SANTOS, L. D.; SANTOS, R. A.; MOTA, T. C.; ALMEIDA, R. M. Fertilidade do solo e produtividade de milho em sistemas de adubação verde no norte de Minas Gerais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n.3, p. 505-516, 2012.

WONG, M. H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 50, n. 66, p. 775-780, 2003.

5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DEGRADADO POR MINERAÇÃO DE BAUXITA APÓS O USO DA ADUBAÇÃO VERDES EM BARRO ALTO - GOIÁS

RESUMO

O impacto da mineração de bauxita sobre o solo pode apresentar efeitos negativos significativos caso os impactos não sejam mitigados corretamente, gerando riscos para o processo de recuperação ambiental e impossibilitando o retorno às propriedades originais do solo e da água. O objetivo deste estudo foi caracterizar os atributos físicos do solo em área de mineração de bauxita, bem como avaliar as respostas dos fatores edáficos para técnicas de recuperação utilizadas em áreas mineradas na região de Barro Alto, Goiás. Os tratamentos foram: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milheto consorciado com feijão guandu; 6 - milheto consorciado com feijão-de-porco; 7 - milheto consorciado com crotalária; 8 - milheto consorciado com mucuna, cultivados em dois ciclos (épocas), em um delimitado experimental em blocos casualizados com fatorial 8 x 2 (duas profundidades), com quatro repetições. Utilizaram-se, como indicadores dos efeitos densidade do solo, macro e microporos, volume total de poros, umidade gravimétrica na profundidade de 0-20, 20-40 cm e resistência à penetração nas profundidades de (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm), ficando o mesmo delimitado, porém fatorial 8 x 8, com quatro repetições. Ocorreu uma redução de 50,61% no valor da resistência à penetração após no intervalo do estudo. A macro e a microporosidade, além da resistência à penetração, melhoraram após 18 meses de implantação da recuperação, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está sendo atuante.

Palavras-chave: Física do solo, plantas condicionadoras, degradação.

PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN DEGRADED BAUXITE MINING AFTER USE OF GREEN MANURE IN BARRO ALTO - GOIAS

ABSTRACT

The impact of bauxite mining on the soil may have significant adverse effects if the impacts are not mitigated properly, causing risks to the process of environmental recovery and hindering the return to the original properties of the soil and water. Therefore,

the aim of this study was to characterize the physical attributes of the soil in the mining of bauxite, as well as evaluating the responses of soil factors for recovery techniques used to restore mined areas in the region of Barro Alto, Goiás the treatments were: 1- pigeonpea; 2- jack bean; 3- sunn hemp; 4- velvet bean; 5- milhet intercropping with faba bean; 6 - millet intercropped with beans pork; 7 - milhet intercropped with sunn hemp; 8- milhet intercropped with velvet bean, grown in two cycles (seasons), a randomized trial deliamento with 8 x 2 (two depths) factorial design with four replications. Were utilized as indicators of the effects of soil bulk density, macro and microporosity, total porosity, gravimetric moisture at a depth of 0-20, 20-40 cm and resistance to penetration depths (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm), but getting the same deliamento 8 x 8 factorial design with four replications. A reduction of 50.61% occurred in the value of penetration resistance after the study interval. The macro and microporosity, in addition to resistance to penetration, improved after 18 months of implementation of the recovery, demonstrating that management adopted for recovery of degraded in the study area is being active.

Key words; Soil physics, plant conditioners, degradation.

5.1 INTRODUÇÃO

O impacto da mineração de bauxita sobre o ambiente físico pode apresentar efeitos negativos significativos, caso os impactos não sejam mitigados corretamente, gerando riscos para o processo de recuperação ambiental e impossibilitando o retorno às propriedades originais dos recursos do solo da água (Silva, 2013).

Dessa forma, a necessidade de se escolher espécies adequadas, ou seja, aquelas que, inicialmente, são agressivas no crescimento e no desenvolvimento, resistentes a intempéries, que são as situações de degradação, são essenciais para se obter sucesso na restauração da área degradada, melhorando as características físicas e biológicas do solo, para que possa ocorrer a sucessão natural de espécies, tornando o agroecossistema mais sustentável no futuro.

As práticas de recuperação das áreas mineradas devem ser baseadas, principalmente, no rápido recobrimento da área e na adição de compostos orgânicos, que desempenham importante papel na agregação e na infiltração de água no solo.

Várias espécies de leguminosas são utilizadas como melhoradoras de solo, enriquecendo-o com matéria orgânica, nutrientes, além de serem eficazes no controle de erosão (Paulo et al., 2006; Azevedo et al., 2007), como as leguminosas arbustivas *Cajanus cajan* (L.) Huth, e *Crotalaria juncea* L. (Martins, 2009). A adubação orgânica combinada com a mineral permitiu melhor crescimento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sobre rejeitos de mineração de quartzito (Amaral et al., 2012).

As propriedades físicas do solo são de grande importância, pois influenciam a melhoria do solo por meio do desenvolvimento das plantas. Muitas dessas propriedades físicas têm sido utilizadas para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo ou até mesmo como indicadores da sua qualidade (Neves et al., 2007).

Propriedades do solo como a densidade, a porosidade, taxa de infiltração de água e a resistência à penetração têm sido utilizadas para avaliar a recuperação de áreas degradadas por mineração (Barros et al., 2013; Stumpf et al., 2014).

Além disso, as propriedades físicas do solo podem ser alteradas, de acordo com o sistema de manejo empregado. No caso de plantas de cobertura, podem proporcionar modificações em algumas características, como densidade do solo, macroporos e resistência à penetração e (Alves et al., 2012).

A densidade do solo é a propriedade física mais dinâmica e varia em função da textura, de acordo com as condições estruturais do solo, sendo alterada pelo cultivo, pela compressão de máquinas agrícolas, por animais e condições ambientais do meio (Arshad et al., 2002). Padrões críticos de densidade do solo são difíceis de serem definidos (Mendes et al., 2006).

Para uma adequada avaliação, devem-se comparar os valores obtidos nas áreas em estudo com outros valores de áreas adjacentes, ou seja, áreas sem distúrbios, preferencialmente, com mesmo tipo de solo e relevo.

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação de raízes. Com isso, conseqüentemente, interferem no aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas (Ribeiro et al., 2007).

Reduções nas macroporosidade e volume de poros total do solo correspondem a menos espaço disponível para adequada aeração do solo e difusão de oxigênio do solo para as plantas (Barros et al., 2013). Portanto, dado o mesmo teor de umidade e arejamento, porosidade irá provavelmente ser mais baixa em solos recuperados quando comparada à encontrada em áreas naturais.

A porosidade e a densidade do solo têm sido utilizadas como indicadores da qualidade do solo por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (Arshad et al., 2002).

A determinação da resistência do solo à penetração é uma estratégia útil para

avaliar a limitação à penetração e ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, mas pode haver divergências quanto à correlação entre a pressão exercida pelo penetrômetro e a real capacidade das raízes em exercer a referida pressão (Gardner et al., 1999), sendo ainda fortemente influenciada pelo conteúdo de água, fato sendo medido em conjunto.

As plantas de cobertura, em virtude do seu sistema radicular, que, ao ser decomposto, além de liberar nutrientes ainda, contribui para a formação da matéria orgânica do solo, favorecem intensamente o estado de agregação do solo (Souza et al., 2012; Zhou et al., 2012).

A ação da matéria orgânica no solo, com o passar do tempo, proporciona um solo com condicionamento físico, químico e biológico melhor, podendo este suportar alguns distúrbios ocasionados pelo ambiente.

A utilização dos adubos verdes que promovam o maior aporte de compostos orgânicos ao solo tende a melhorar os atributos relacionados à física do solo (Borges, 2013). O mesmo autor cita que adubação é uma importante etapa na recuperação de áreas mineradas, gerando melhoria nas condições físicas e químicas do solo, especialmente adubação orgânica, permitindo o restabelecimento de culturas agrícolas e forrageiras sobre essas áreas.

Portanto, o objetivo deste estudo foi caracterizar os atributos físicos do solo em área de mineração de bauxita com problema de erosão laminar, bem como avaliar as respostas dos fatores edáficos para técnicas de recuperação utilizadas em áreas mineradas na região de Barro Alto, Goiás.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização

O experimento foi conduzido em uma área da Mineradora Santo Expedito Ltda., no município de Barro Alto, Goiás, localizado na porção central do Estado de Goiás, cerca de 200 km ao norte de Goiânia e a noroeste de Brasília, e que apresenta as seguintes coordenadas geográficas 15° 07'48,37" de latitude sul e longitude 48° 56'17,25" oeste de Greenwich.

A região do Complexo Máfico-Ultramáfico Barro Alto, localizado no Planalto Central Brasileiro, está submetido, atualmente, a clima tropical de estações contrastadas.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é característico do tipo AW (típico dos climas úmidos de savana tropicais, com verão úmido, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro) em praticamente toda área.

A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C, com média dos dias mais quentes entre 24 e 26° C e dos meses mais frios superior a 18° C, com amplitude térmica das médias inferiores a 5° C.

A pluviosidade anual varia em torno de 1.600 mm, concentrada entre dezembro e fevereiro. No período seco, assinalam-se baixos índices de umidade do ar, geralmente inferiores a 30%.

5.2.3 Solo

O solo da região trabalhada é um rejeito oriundo de cambissolos (Háplicos) e neossolos (Litólicos), segundo classificação da Embrapa (2006), presente nos relatórios da Empresa de Desenvolvimento em Mineração Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (Eia-Rima) da Mineração Santo Expedito, 2008.

Na paisagem dominada por elevações estabelecidas sobre anortositos, o perfil de solo encontra-se truncado pela erosão ativa. Em alguns locais, a erosão acentuada chega a expor pequenos lajedos de rocha fresca. A remoção dos horizontes superficiais propiciou, em grandes extensões, a exumação e o desmantelamento parcial do saprólito aluminoso subjacente, resultando em solos lixiviados pouco desenvolvidos.

5.2.4 Vegetação

Na região do complexo Máfico-Ultramáfico Barro Alto, a vegetação é do tipo savana arbórea nas planícies (cerrado), com matas-galerias ao longo dos rios (Santos 2011). Entretanto, parte desta área apresenta-se intensamente transformada pela ocupação antrópica, abrangendo: pecuária extensiva, tradicionalmente praticadas nas encostas e vales, e agricultura mecanizada em larga escala, voltada à produção de cana-de-açúcar (usina próxima).

A área da jazida é recoberta por vegetação rala, na forma de campos sujos e cerrados rupestres, entremeada com matas instaladas ao longo das drenagens. A cobertura original se encontra em boa parte preservada, à exceção de trechos ocupados por pastagens ou por pequenas estradas secundárias.

A vegetação na região compreende espécies características de veredas (*Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Xylopia emarginata*), de áreas de nascentes (*Alchornea triplinervia*, *Anadenthera falcata*, *Tabebuia serratifolia* e *Euterpe edulis*, dentre outros), bem como de cerradão e de cerrado (Veiga, 2005).

5.2.5 Descrição da área

O experimento foi realizado em área degradada da Mineradora Santo Expedito Ltda., devido, principalmente, ao problema de erosão. Essa erosão ativa propiciou a remoção dos horizontes superficiais, resultando em solos altamente lixiviados e pouco desenvolvidos (Santos, 2011).

Essa área caracteriza-se por ser uma encosta com declive ($< 5^\circ$) (Figura 5.1). Ao longo da encosta ocorrem afloramentos de rocha fresca, expostos pela ação da erosão.

5.2.6 Plantas testes

As espécies utilizadas no experimento foram mucuna (*Mucuna aterrima*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e milheto (*Pennisetum glaucum*), solteiras e consorciadas.

5.2.7 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012 apresentando dois ciclos de uso de plantas de cobertura. O primeiro foi realizado em Março de 2012 e o segundo em Novembro de 2012.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos em arranjo fatorial 8 x 3 com quatro repetições, totalizando 96 subparcelas com 27,2 m² (6,8 x 4 m).

Os tratamentos objetivaram a recuperação da área e foram implantados em março de 2012, sendo eles: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milheto consorciado com feijão guandu; 6 - milheto consorciado com feijão-de-porco; 7- milheto consorciado com crotalária; 8- milheto consorciado com mucuna. Os tratamentos consorciados foram estabelecidos pelo plantio de 50% da população de cada espécie.



Figura 5.1. Situação da área antes do experimento e após plantio do segundo ciclo de adubo verde, em Barro Alto, GO, 2013.

Cada uma desses tratamentos adubados de três diferentes formas: 1 - adubação com fosfato de Arad ($100 \text{ kg P}_2\text{O}_5$); 2 - adubação com esterco bovino (15 Mg ha^{-1}); 3 - adubação com NPK (15-15-14) via fertilizante de liberação lenta (250 kg ha^{-1}).

As doses de cada um e a calagem foram definidas levando-se em consideração a análise química do solo feita na camada de 0-20 cm.

O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, e aplicação de calcário dolomítico na dose de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$. Na implantação do primeiro ciclo das espécies (semeadura) dia 13 de março de 2012 e no segundo ciclo dezembro 2012, foram semeados 60 kg ha^{-1} de mucuna e feijão-de-porco, 30 kg ha^{-1} de feijão guandu e 25 kg ha^{-1} de crotalária. Os espaçamentos entrelinhas foram de 0,45 m, totalizando 15 linhas de cultivo por parcela.

5.2.8 Amostragem

Para as análises físicas do solo, coletaram-se amostras indeformadas, com anel volumétrico, em duas camadas do solo: 0-20 e 20-40 cm (para a área degradada, para o solo de cerrado e para área sem recuperação).

Na área de recuperação, foi coletada uma amostra por parcela em relação aos tratamentos de adubos verdes, independentemente da adubação, sendo: FP, FG, CRO e MUC, solteiras e consorciadas com milheto, sendo 8 tratamentos x 2 profundidades x 4 repetições.

A coleta foi efetuada em anéis de aproximadamente 100 cm³, com auxílio de uma amostrador Uhlend. Em seguida, as amostras foram cuidadosamente embaladas e acondicionadas em caixas de isopor para serem transportadas ao laboratório de análise para posterior análise.

As propriedades físicas do solo analisadas foram: densidade do solo e porosidade total, pelo método do anel volumétrico; microporosidade, pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 60 cm; e macroporosidade, por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Todos os métodos foram realizados de acordo com Embrapa (1997).

A determinação da resistência do solo a penetração (RP) foi realizada com o auxílio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF (Stolf, 1991), até 60 cm de profundidade em um total de três repetições por parcelas.

Os dados obtidos em campo foram processados em planilha de Excel. A RP foi calculada de 5 em 5 cm até 20 cm e após 10 em 10 cm até 60cm. No momento da avaliação da RP, foram coletadas, com uma escavadora, amostras para determinação da umidade do solo em 20 em 20 cm até 60 cm de profundidade.

Para quantificar a umidade do solo, coletaram-se amostras de solo úmido em vasilhas de alumínio, as quais foram pesadas em balança analítica e, em seguida, secas em estufa de secagem a $\pm 105^{\circ}$ C por 24 horas e pesadas, obtendo a massa de solo seco por diferença de peso.

As amostras foram coletadas na implantação do experimento em março de 2012 (Tabela 5.1 e 5.2), em outubro de 2012, após o primeiro ciclo, e em novembro de 2013, após o segundo ciclo de adubos verdes. Em relação à sua textura, o solo se enquadra na classe “argilosa”, segundo Sousa & Lobato (2004), com 570 g kg⁻¹.

Tabela 5.1. Características físicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa.

Camada de solo	Umidade %	Macroporosidade ----- %-----	Microporosidade ----- %-----	Porosidade total	Densidade kg dm ⁻³
Cm			Solo degradado		
0-20	55,57	12,32	43,52	55,84	1,19
20-40	51,71	10,34	44,88	55,22	1,21
	Cerrado				
0-20	45,31	25,93	29,37	55,30	1,01
20-40	42,18	23,31	32,21	55,52	1,04

Tabela 5.2. Resistência a penetração do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa.

Profundidade (cm)	Resistência à penetração em MPa	
	Solo degradado	Cerrado
0-5	1,74	0,74
5-10	4,17	2,11
10-15	5,74	2,28
15-20	6,70	2,24
20-30	6,03	2,43
30-40	5,81	2,37
40-50	4,28	2,60
50-60	4,63	2,93
Média	4,88	2,21

Os resultados referentes às características das plantas foram analisados efetuando-se a análise de variância e o teste de Tukey para as comparações de média a 5%. Foi usado o programa computacional SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) para a realização da análise estatística.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para os atributos físicos: macroporos, microporos e densidade de solo original (cerrado) e solo degradado se encontram na Tabela 5.1. Em condições naturais do solo, organiza-se ao longo do tempo em uma estrutura bem definida por processos pedogênicas, de acordo com as dadas condições ambientais (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

A proporção de microporos é superior à proporção de macroporos em todas as camadas do perfil estudado (Tabela 5.1). Sendo assim, pode-se dizer que o solo original em questão tem uma boa capacidade de retenção de água, uma vez que ela é a principal

responsável por isso e estão dentro dos limites esperados para solos argilosos, 40 a 60% (Kiehl, 1979).

Segundo Lunardi Neto et al. (2008), a presença de argilas dispersivas podem obstruir os poros e reduzir as taxas de infiltração, que contribuem para o aumento do escoamento superficial e, conseqüente, a erosão. Provavelmente pela grande quantidade de argila e pouco teor de matéria orgânica, esse fato pode explicar um dos problemas da erosão da área.

Não houve interação significativa entre os adubos verdes e as profundidades sobre as características avaliadas (Apêndice 6). Sendo assim, são discutidos aqui apenas os efeitos médios das profundidades e dos adubos verdes.

Nota-se que não houve diferença entre as espécies de adubos verdes utilizadas para umidade, macroporosidade, porosidade total e densidade (Tabela 5.3). Isso significa que até o momento estas estão agindo de forma semelhante quanto às alterações dos atributos físicos do solo, concordando com Kitamura et al. (2008) e Alves & Suzuki (2004).

No início, a área em estudo apresentava valor de densidade do solo superior aos tratamentos estudados (5.1). Naturalmente, o aumento da densidade do solo ocorre devido à diminuição do teor da matéria orgânica e também em virtude da massa das camadas de solo subjacentes, ocasionando o aumento desse atributo; resultados semelhantes foram observados por Souza & Alves (2003).

Na Tabela 5.4, verifica-se que as profundidades não modificaram significativamente os valores dos atributos físicos estudados. Isso demonstra que os adubos verdes estão atuando em ambas as camadas de forma semelhante ao passar de dois ciclos de cultivo.

Os tratamentos podem não ter alterado a macroporosidade por apresentarem um sistema radicular pivotante e agressivo atuando em ambas as camadas estudadas. Nota-se um aumento da macroporosidade em relação ao solo degradado no início do experimento (Tabela 5.1), fato importante para circulação de água e gases no perfil do solo.

Tormena et al. (2008) relataram que o valor mínimo de macroporosidade para que não seja prejudicada a aeração e o desenvolvimento do sistema radicular é de 10%.

O valor médio da microporosidade não apresentou diferença em profundidade, concordando com os resultados obtidos por Rodrigues et al. (2007).

Tabela 5.3. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para os tratamentos estudados.

Trat	Umidade %	Macroporosidade -----%	Microporosidade -----%	Porosidade total	Densidade do solo kg m ⁻³
CRO	51,33 a	15,83 a	39,48 ab	55,32 a	1,13 a
CROc	52,06 a	17,66 a	38,48 b	56,15 a	1,11 a
FG	54,03 a	16,31 a	40,14 ab	56,45 a	1,10 a
FGc	52,03 a	16,09 a	40,15 ab	56,45 a	1,10 a
FP	56,21 a	16,22 a	41,03 ab	57,25 a	1,08 a
FPc	54,77 a	16,16 a	40,71 ab	56,87 a	1,09 a
UM	51,74 a	13,57 a	42,11 a	55,68 a	1,12 a
MUC	53,11 a	16,79 a	38,87 ab	55,66 a	1,12 a
Média	53,16	16,08	40,12	56,2	1,11
Teste F	1,24	1,21	2,05	0,75	0,75
CV	11,54	26,25	8,22	5,32	6,83

(1) CRO - Crotalaria isolada, CRO_c - Crotalaria consorciada, FG- Feijão Guandu, FGc - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FPc - Feijão-de-Porco-Consorciado, MUC - Mucuna, MUCc - Mucuna Consorciada.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para densidade do solo, o valor em profundidade variou de 1,10 para 1,11 kg m³, e no solo antes da implantação do estudo (degradado) esse valor foi superior (1,19 e 1,21 nas duas profundidades, respectivamente). As leguminosas, segundo Auler et al. (2008), em função da adição de carbono ao solo, contribuem na agregação das partículas e, conseqüente, redução da densidade.

Tabela 5.4. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para as profundidades estudadas.

Profundidade (cm)	Umidade -----%	Macro	Micro	VTP	Ds kg m ⁻³
prof 0-20	53,49 a	16,21 a	40,29 a	56,51 a	1,11 a
prof 20-40	52,83 a	15,94 a	39,95 a	55,90 a	1,10 a
Teste F	0,36	0,13	0,32	1,29	1,29
CV(%)	11,54	26,25	8,22	5,32	6,83

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise estatística dos resultados indicou haver diferenças significativas para todos os atributos físicos do solo em relação a épocas, exceto porosidade total (Tabela 5.5). De uma forma geral, os atributos melhoraram do primeiro para o segundo ano, portanto o uso dos adubos verdes pode ser uma prática viável para recuperação dos atributos físicos, além de incrementar diversidade biológica no sistema.

Os valores de macroporosidade aumentaram consideravelmente de um ano para o outro (14,06 para 19,66%), e, se compararmos ao solo do início do experimento, que apresenta em torno de 11%, essa influência foi ainda maior. Stumpf et al. (2014), utilizando plantas de cobertura na recuperação de área minerada de carvão, observaram influência delas no aumento da macroporosidade do solo.

A redução no número dos macroporos pode ocorrer devido à compressão do ar nos microporos dos agregados, durante os ciclos de umedecimento e secagem do solo; à força cinética da gota da chuva; à aração profunda e ao entupimento dos microporos; e ao baixo conteúdo de matéria orgânica e nutriente (Araujo et al., 2012).

A força cinética da gota da chuva e o baixo conteúdo de material orgânico, influenciados pela falta de cobertura inicial, além do processo de erosão laminar, podem estar associados à redução dessa macroporosidade, além do entupimento dos poros pela alta quantidade de argila do solo (570 g dm^{-3}).

Analisando os dados de macro e microporosidade e a densidade desse solo e compararmos ao resultado inicial da área degradada (Tabela 5.5), pode notar-se uma melhoria nesses atributos, indicando que a recuperação está acontecendo.

Quando o solo apresenta indícios de compactação, as raízes das plantas de cobertura tendem a se concentrar em superfície, devido ao ambiente menos favorável para o desenvolvimento das raízes (Darmody et al., 2009). Isso se dá devido ao aumento da densidade e redução da macroporosidade em função do aumento da compactação, tornando as plantas mais suscetíveis ao estresse hídrico, o que limita a capacidade de absorção de nutrientes, principalmente nas camadas do subsolo (Conte et al., 2011).

Tabela 5.5. Valores médios das propriedades físicas do solo, obtidos para as épocas amostradas e solo degradado antes da implantação do experimento.

Época	Umidade ----%----	Macro -----%-----	Micro -----%-----	VTP	Ds kg m ⁻³
ano 1	55,39 a	14,06 b	42,21 a	56,27 a	1,10 a
ano 2	49,44 b	19,44 a	36,64 b	56,09 a	1,11 a
-----Solo degradado antes da implantação-----					
0-20	55,57	12,32	43,52	55,84	1,19
20-40	51,71	10,34	44,88	55,22	1,21
Teste F	28,22	48,72	85,29	0,11	0,11
CV(%)	11,54	26,25	8,22	5,32	6,83

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao avaliar os atributos que refletem a porosidade do solo (macro e microporos)

(Tabela 5.5), observou-se uma mudança na distribuição dos poros causada pela utilização dos adubos verdes com o tempo.

Esse fato evidencia uma possível alteração na estrutura do solo, em função do aumento na densidade do solo, e uma diminuição de microporos e aumento de macroporos em solos da área recuperada. Barros et al. (2013), avaliando a qualidade física de uma área de mineração de bauxita após intervenção, encontraram mudanças estruturais do solo significativas, como o aumento densidade do solo, redução do volume total de poros e macroporosidade.

Os mesmos autores encontraram valores de $1,33 \text{ kg m}^{-3}$, 45,16%, 28,78% e 16,38% de densidade, porosidade total, micro e macroporosidade, respectivamente, após a intervenção.

A redução da microporosidade de forma significativa após o segundo ciclo de adubos verdes (42,21 para 36,64%) pode ser reflexo da ação das raízes das espécies utilizadas, diminuindo um adensamento preexistente, devido, provavelmente, aos altos teores de argila e à falta de cobertura do solo para proteção e também pela matéria orgânica proporcionada pelos adubos verdes ao passar do tempo, o que proporciona uma maior agregação do solo.

No início do experimento, era comum notar algumas fissuras no solo (Figura 5.2), ocasionadas pelos ciclos de umedecimento e secagem e o alto valor de argila (570 g kg^{-1}). Esses ciclos formam uma estrutura maciça com resultando em aumento de microporos e densidade e redução de macroporos. Stumpf et al. (2014) também obtiveram resultados semelhantes em reconstrução de solos minerados.



Figura 5.2. Fissuras no solo, ocasionado pelo ciclo de umedecimento e secagem do solo em recuperação, em Barro Alto, GO.

A porosidade total do solo na área não diferiu de acordo com o passar do ano (Tabela 5.5). O atributo variou de 56,09 a 56,27%, e, comparado com o solo inicial (55,53%), constatou-se que foi um parâmetro não influenciado pelo manejo adotado.

Diminuição do número de microporos do solo pode ocorrer por causa da energia cinética das gotas de chuva, o preparo profundo, a obstrução do microporo, a pressão mecânica de máquinas agrícolas e uma redução no teor de matéria orgânica e de nutrientes (Araújo et al., 2012).

Aumentos na densidade do solo não são necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, porque, até certos limites, esse aumento pode contribuir com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga (Reichert et al., 2009).

Barros et al. (2013), em estudos em solos de mineração de bauxita antes e após a mineração no estado de Minas Gerais, Brasil, encontraram valores de densidade do solo variando 0,90 a 1,38 kg dm⁻³. Com valores dentro do contexto do presente estudo, essas alterações na estrutura do solo podem facilitar o estabelecimento de espécies no sistema.

Para resistência à penetração, o solo degradado em estudo apresenta grandes restrições ao desenvolvimento das plantas quando comparados ao solo do cerrado (Tabela 5.2). Visualmente as plantas existentes no solo degradado têm como uma das maiores limitações a resistência do solo à penetração de suas raízes, como pode ser observada na Figura 5.4.



Figura 5.3. Limitação do desenvolvimento de plantas na área degradada de mineração de bauxita em Barro Alto, GO, 2012.

Não houve interação significativa entre os tratamentos de adubos verdes e as profundidades (Apêndice 7) sobre as características avaliadas após 18 meses de recuperação da área minerada (Figura 5.5). Sendo assim, são discutidas aqui apenas os efeitos médios das profundidades e dos adubos verdes.

Observa-se que ocorreu diferença entre as espécies de adubos verdes (Tabela 5.6). Os valores médios de resistência à penetração (RP) de até 60 cm de profundidade foram maiores no tratamento crotalária isolada com 3,46 Mpa, diferindo dos demais tratamentos. A menor média em relação aos tratamento foi de 2,24 Mpa no feijão-de-porco consorciado. Ambas se enquadram na classe alta de resistência (2,0 a 4,0 Mpa), segundo Soil Survey Staff (1993).

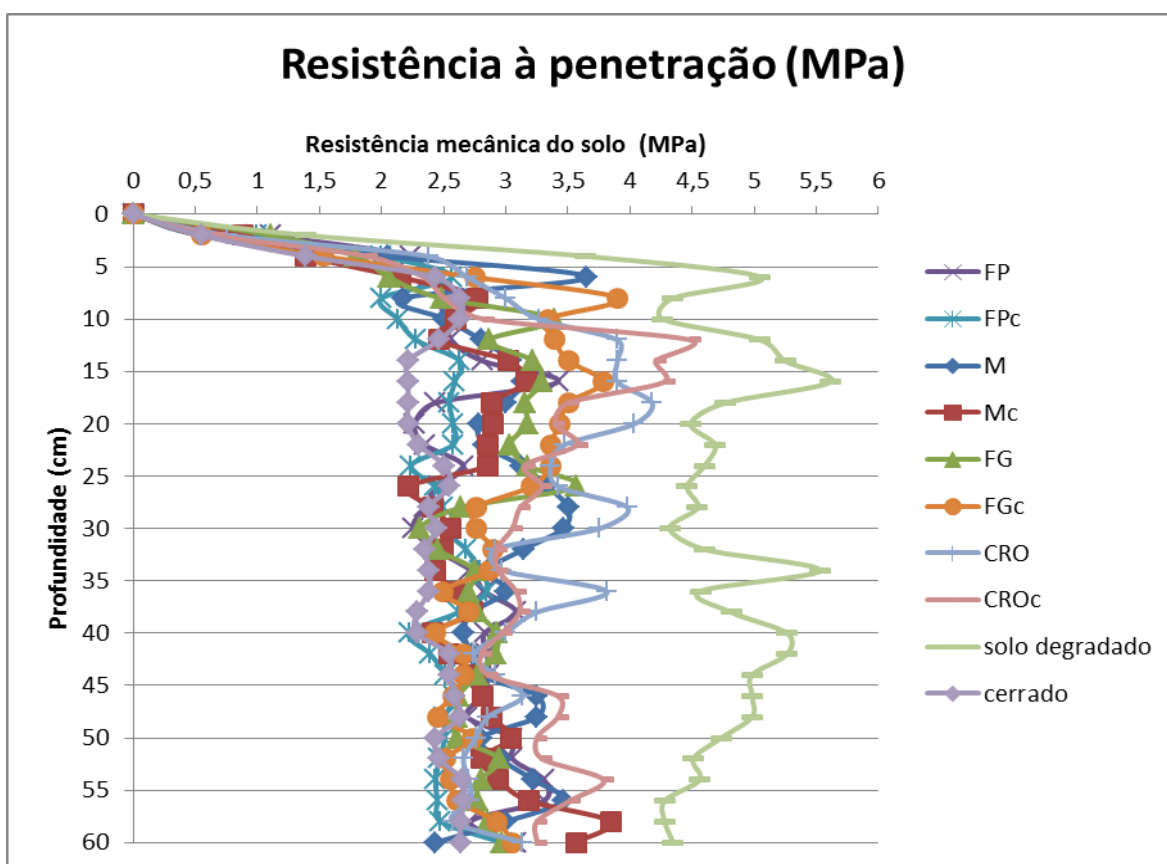


Figura 5.4. Resistência do solo à penetração, de 0 a 60 cm de profundidade, para todos tratamentos avaliados em outubro de 2013. CRO - Crotalária isolada, CRO_c - Crotalária consorciada, FG - Feijão Guandu, FG_c - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FP_c - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUC_c - Mucuna Consorciada. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo a Soil Survey Staff (1993), os valores de RP para o solo em estudo em todos os tratamentos, estão compreendidos na classe alta (2,0 a 4,0 Mpa); quanto ao

solo degradado, encontra-se na classe muito alta (4,0 a 8,0 Mpa), no que se refere ao impedimento mecânico ao crescimento radicular.

Porém, as espécies utilizadas para recuperação da área degradada conseguiram crescer mesmo em condição de elevada RP demonstrando rusticidade. Guimarães (2010), em revegetação de área minerada de bauxita com utilização de leguminosas, também obteve classes de RP “alta” e “muito alta”.

Tabela 5.6. Valores médios da resistência à penetração (RP), obtidos para os tratamentos estudados.

Tratamentos	RP (Mpa)
	Isoladas
Feijão-de-porco	2,62 bc
Feijão guandu	2,54 bc
Mucuna	2,57 bc
Crotalária	3,46 a
	Consoiciadas
Feijão-de-porco	2,24 c
Feijão guandu	2,67 bc
Mucuna	2,47 bc
Crotalária	2,93 b
Solo degradado	4,88
Média	2,69
Teste F	11,23
CV(%)	32,59

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que ocorreu diferença da RP entre as profundidades avaliadas (Tabela 5.7).

O teor de água no solo obtido no momento da avaliação da resistência do solo à penetração não foi influenciado pelas diferentes profundidades estudadas e quase não variou. Portanto a umidade não interferiu nos resultados obtidos de resistência à penetração.

Os valores médios de resistência à penetração (RP) na profundidade de 0-5 cm foram menores significativamente que os de 5-10 cm. Estes foram menores em relação às demais profundidades, resultados coerentes com os valores de macroporosidade, demonstrando um efeito mais consistente na camada até 10 cm ao passar de 18 meses de recuperação da área e devido também ao preparo com enxada rotativa no início do experimento. E, se comparamos ao solo inicial (Tabela 5.2), nota-se uma melhora considerável, de aproximadamente 50%.

Alves et al. (2012) observaram menor valor de resistência à penetração na camada de 0-15 cm, sendo superior nas demais camadas, em área de empréstimo em recuperação.

Tabela 5.7. Valores médios da resistência à penetração (RP), obtidos para as profundidades estudadas.

Profundidade (cm)	Resistência a penetração (MPa)	Teor de água (kg kg ⁻¹)
0-5	1,07 c	0,20
5-10	2,46 b	0,20
10-15	3,01 a	0,21
15-20	2,97 a	0,21
20-30	3,03 a	0,21
30-40	2,98 a	0,21
40-50	2,97 a	0,22
50-60	3,01 a	0,22
Média	2,69	-
Teste F	38,31	-
CV(%)	32,59	

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise estatística dos resultados indicou haver diferenças significativas para RP em relação a épocas (Tabela 5.8). De uma forma geral, a RP melhorou do primeiro para o segundo ano, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está sendo atuante.

Tabela 5.8. Valores médios da resistência à penetração (RP) de todas as plantas de cobertura, obtidos para as épocas estudadas,

Época	Resistência a penetração (MPa)
ano 1	2,97 a
ano 2	2,41 b
Solo degradado	4,88
Teste F	52,38

(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando 2,0 MPa como valor limitante de RP, valor esse utilizado em muitas pesquisas em solos, e analisando os resultados do presente trabalho, podemos afirmar que os tratamentos avaliados apresentam limitações físicas ao crescimento radicular, pois até 60 cm de profundidade os valores de RP foram superiores a 2,0 MPa. Porém foi observado, principalmente no segundo ciclo dos adubos verdes, um melhor

desenvolvimento das espécies, conseguindo crescer mesmo com esse obstáculo.

O resultado de RP do solo antes da implantação (solo degradado) era de 4,88 Mpa. Após o segundo ciclo de adubação verde, o valor passou para 2,41 MPa, uma redução de 50,6 %. Esse fato demonstra a importância da introdução dos adubos verdes em área de recuperação de mineração de bauxita.

5.4 CONCLUSÃO

- Os atributos físicos micro e macroporosidade, porosidade total, umidade e densidade não foram influenciadas entre as espécies utilizadas como adubação verde nem pelas profundidades analisadas;

- Os adubos verdes influenciaram a resistência à penetração significativamente nas camadas superficiais;

- Ocorreu uma redução de 50,61% no valor da resistência à penetração após 18 meses de implantação do estudo;

- A macro e a microporosidade, além da resistência à penetração, melhoraram após 18 meses de implantação da recuperação, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está sendo atuante.

5.5 REFERÊNCIAS

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.

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.

AMARAL, C. S.; SILVA, E. B.; AMARAL, W. G.; NARDIS, B. O. Crescimento de *Brachiaria brizantha* pela adubação mineral e orgânica em rejeito estéril da mineração de quartzito. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 130-141, 2012.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Zurich, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.

AULER, P. A. M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A.; NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja 'pêra' em sistemas de preparo de solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 363-374, 2008.

AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G.T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão guandu: uma planta multiuso. **Revista da Fapese**, Sergipe, v. 3, n. 2, p. 81-86, 2007.

BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012.

BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. S.; FILHO, D. F.; NASCIMENTO, G. O. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 419-426, 2013.

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

CONTE, O.; WESP, C. L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 579-587, 2011.

DARMODY, R. G.; DANIELS, W. L.; MARLIN, J. C.; CREMEENS, D. L. Topsoil: What is it and who cares? In: ANNUAL MEETINGS OF THE AMERICAN SOCIETY OF MINING AND RECLAMATION, 26, 2009, Montana. **Anais...** Montana: ASMR, 2009. CD-ROM.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed.rev.atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

GARDNER, C. M. K.; LARYEA, K. B.; UNGER, P. W. **Soil physical constraints to plant growth and crop production**. Roma: FAO, 1999. 106 p.

GUIMARÃES, L. A. O. P. **Atributos físicos de um substrato formado pela deposição de rejeito de beneficiamento de bauxita após uma década de recuperação ambiental**. 2010. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. Piracicaba: Ceres, 1979. 262p.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 405-416, 2008.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1379-1388, 2008.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas**: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2009. 270p.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220. 2006.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 45-53, 2007.

PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; KASAI, F. S. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após a recepa. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 115, 2006.

REICHERT, J.M., KAISER, D.R., REINERT, D.J., RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 310-319, 2009.

RIBEIRO, K. D.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p.73-80, 2007.

SANTOS, W. M. **Mineralogia e geoquímica da bauxita derivada do anortosito, Barro Alto, Goiás**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: System for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 905p

SILVA, K. A. **Avaliação de uma área em restauração pós-mineração de bauxita, município de Descoberto, MG**. 2013.103p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um latossolo vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 249-252, 1991.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; FERNANDES, F. F.; SUZUKI, L. E. A. S.; SILVA, T. S.; PINTO, L. F. S.; LIMA, C. L. R. Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.1, p. 327-335, 2014.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JÚNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, n. 2, p. 33-42, 2008.

VEIGA, A. T. C. **Relatório final de pesquisa – DNPM 860.260/2004**. EDEM Mineração, 2005. 72p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n.1, p. 213-223, 2011.

ZHOU, H.; PENG, X.; PETH, S.; XIAO, T. Q. Effects of vegetation restoration on soil aggregate microstructure quantified with synchrotron-based micro-computed tomography. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, n. 8, p. 17-23, 2012.

6 **CRESCIMENTO INICIAL DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE BAUXITA COM UTILIZAÇÃO DE ADUBOS VERDES SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL**

RESUMO

A revegetação de áreas degradadas é uma estratégia de recuperação, fundamental para melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, além de fornecer, por meio da cobertura vegetal, a proteção necessária para diminuir a perda de sedimentos por erosão hídrica. O objetivo deste estudo foi implementar plantas arbóreas com a utilização de adubos verdes sob adubação orgânica e mineral e avaliar aspectos fitotécnicos delas em área degradada por mineração de bauxita. A presente pesquisa foi desenvolvida em área de erosão laminar com pequenos afloramentos de rocha de bauxita na superfície, localizada em Barro Alto, Goiás. A área de estudo possui 5 mil m² e está em processo de recuperação desde fevereiro de 2012. Foram realizados dois ciclos de plantio de adubo verde, o primeiro em março de 2012 e o segundo em dezembro de 2012. Os tratamentos foram: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milheto consorciado com feijão guandu; 6 - milheto consorciado com feijão-de-porco; 7 - milheto consorciado com crotalária; 8 - milheto consorciado com mucuna. E foram três fontes de adubação: 1 - adubação com fosfato de Arad; 2 - adubação com esterco bovino; 3 - adubação com NPK via fertilizante de liberação controlada. As espécies arbóreas estudadas foram a Apeiba (*Apeiba tibourbou* Aubl.), Baru (*Dipteryx alata*) e Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess), introduzidas em fevereiro de 2013. Foram analisados altura e diâmetro das espécies 90 e 270 dias após o plantio. Os resultados obtidos demonstraram que a utilização dos adubos verdes e as diferentes fontes não aumentam significativamente a altura e o diâmetro das plantas arbóreas. A espécie pioneira se destacou no incremento de altura e diâmetro em relação à espécie secundária e climaceae.

Palavras-chave: Área degradada, sistema agroflorestal, adubação verde.

INITIAL GROWTH OF THREE TREE SPECIES IN DEGRADED BY AREA BAUXITE MINING WITH USE OF GREEN MANURE IN ORGANIC MANURE AND MINERAL

ABSTRACT

The revegetation of degraded areas is a recovery strategy, critical to improving the physical, chemical and biological attributes of the soil, and provide through vegetation, the protection needed to reduce sediment loss by erosion. The aim of this study was to implement woody plants with the use of green manure in organic and mineral fertilization and evaluate aspects phytotechnical the same degraded by bauxite mining area. This research was conducted in an area of extensive erosion with small outcrops of rock on the surface of bauxite, located in Barro Alto, Goiás. The study area has 5000 m² and is in the process of recovery since February 2012 two cycles of planting green manure, the first in March 2012 and the second in December 2012 were performed. Treatments were: 1- pigeonpea; 2- jack bean; 3- sunn hemp; 4- velvet bean; 5- milhet intercropping with faba bean; 6 - milhet intercropped with beans pork; 7- milhet intercropped with sunn hemp; 8- milhet intercropped with velvet bean and three nutrient sources: 1- fertilization with phosphate Arad; 2- the cattle manure; 3- NPK fertilization via controlled release fertilizers. The tree species studied were Apeiba (*Apeiba tibourbou* Aubl.), Baru and Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess), introduced in February 2013. Height and diameter were analyzed 90 species and 270 days after planting. The results showed that the use of green manures and different sources do not significantly increase the height and diameter of woody plants. The pioneer species are highlighted in increase of height and diameter in relation to secondary and climaceae species.

Key words: Degraded area, agroforestry, green manures.

6.1 INTRODUÇÃO

A exploração mineral de solos gera a perda da vegetação local, dos meios de regeneração bióticos (banco de sementes, plântulas, rebrota) e da camada superficial do solo rica em matéria orgânica, além dos horizontes mais profundos, proporcionando alterações nas propriedades edáficas, sinalizando, dessa maneira, para uma redução da capacidade produtiva do ecossistema (Franco et al., 1998; Ruivo, 1998).

A ação antrópica é necessária para a recuperação desses ecossistemas degradados pela atividade minerária, pois já não dispõem de mecanismos naturais de regeneração, portanto baixa resiliência (Salomão et al., 2012).

O primeiro passo a ser estabelecido em um programa de recuperação de áreas de exploração mineral é determinar qual o uso que terá o solo depois da mineração e das ações de recuperação. Tal uso deve ser compatível com a utilização anterior praticada pela comunidade local, sustentar diversas espécies, além de receber a aprovação dos proprietários e dos organismos públicos competentes (Gardner, 2001). Na maioria dos casos, os solos das áreas degradadas de mineração apresentam características distróficas e com atributos físicos químicos diferentes, quando comparados aos solos originais.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) representam uma das formas de uso da terra mais adequadas às condições edafoclimáticas da região, embora existam poucos estudos sobre a sustentabilidade desses sistemas a longo prazo (Loss et al., 2009).

Por promoverem uma produção de biomassa aérea e subterrânea e cobertura do solo maiores que outros agrossistemas, os SAFs favorecem o acúmulo de carbono no sistema e a manutenção da fertilidade do solo, por meio de uma ciclagem mais eficiente de nutrientes, redução das perdas por lixiviação e erosão e deposição da serapilheira (Silva, 2011). Além disso, podem ser uma importante ferramenta para a restauração de ecossistemas degradados.

No processo de recuperação, a determinação dos requerimentos nutricionais, biológicos, físicos do solo e um contexto multidisciplinar do manejo da área a ser recuperada constituem etapas importantes para se obter o sucesso esperado (Moreira, 2004).

A diversidade biológica, no seu conjunto e por sua extensão, representa uma inestimável garantia, até mesmo um seguro contra o inesperado, às possíveis adversidades que estejam colocando em risco a sobrevivência de espécies, por exemplo, as mudanças climáticas globais.

A classificação das espécies nativas em função de seu grupo ecológico (pioneira, secundária ou clímax) tem subsidiado estudos concentrados na seleção e na combinação de espécies para recuperação de ambientes florestais (Silva, 2007).

O barueiro (*Dipteryx alata*) é uma leguminosa arbórea, cujo fruto fornece polpa e amêndoa (semente) comestíveis (Vera & Souza 2009). A utilização do baru, de forma sustentável, está sendo intensificadas por meio de diversas associações de agricultores familiares, organizações comunitárias regionais e cooperativas agroextrativistas (Nepomuceno, 2006). Além disso, existe a possibilidade de uso do barueiro em áreas a serem recuperadas, tais como nascentes e margens de rios e córregos, pois pode favorecer a conservação e a manutenção de outras espécies associadas (Sano et al., 2004).

Dentre as espécies que se destacam no bioma cerrado, encontra-se o pequiheiro (*Caryocar brasiliense* Cambess), o qual é conhecido por seu valor econômico e nutricional, além da sua importância regional devido ao alto consumo de frutos e derivados pela população (Côrrea et al., 2008, Moura et al., 2013). Assim, a incorporação dessa espécie aos sistemas produtivos regionais apresenta-se como uma alternativa bastante

viável para a utilização racional dos recursos naturais do cerrado, objetivando o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida da população local (Moura et al., 2013).

O pau-de-jangada ou pente-de-macaco (*Apeiba tibourbou* Aubl.) é uma espécie florestal pertencente à família Tiliaceae, que ocorre desde o Norte do Brasil até Minas Gerais e São Paulo (Lorenzi, 2000). As folhas e os frutos decorativos potencializam a utilização dessa árvore no paisagismo e a tornam viável também para recuperação de áreas degradadas, por ser uma planta pioneira e de rápido crescimento (Lorenzi, 2000).

Os SAFs são uma forma que os agricultores encontraram para juntar produção agrícola e conservação florestal, gerando alimento e renda sem agredir a natureza, em equilíbrio com a dinâmica tropical. Além disso, podem ser uma importante ferramenta para a restauração de ecossistemas degradados.

Estudos que avaliam espécies de plantas e diferentes adubações em áreas mineradas de bauxita em processo de recuperação são escassos, assim como estudos que avaliem a produção e a sustentabilidade de atividades agrícolas sobre essas áreas. Esses estudos são essenciais para a compreensão do processo de recuperação e para o monitoramento da recuperação da área.

Assim, o objetivo com este estudo foi a implementação de um sistema agroflorestal e avaliar altura e diâmetro de três espécies arbóreas em áreas cultivadas com diferentes plantas de cobertura sob adubação orgânica e mineral em área minerada de bauxita em fase de recuperação.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Caracterização do local

O experimento foi conduzido em uma área da Mineradora Santo Expedito Ltda., no município de Barro Alto, Goiás, localizado na porção central do Estado de Goiás, cerca de 200 km ao norte de Goiânia e a noroeste de Brasília, e que apresenta as seguintes coordenadas geográficas 15° 07'48,37'' de latitude sul e longitude 48° 56'17,25'' oeste de Greenwich.

A região do Complexo Máfico-Ultramáfico Barro Alto, localizado no Planalto Central Brasileiro, está submetido, atualmente, a clima tropical de estações contrastadas.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é característico do tipo AW (típico dos climas úmidos de savana tropicais, com verão úmido, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro) em praticamente toda área.

A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C, com média dos dias mais quentes entre 24 e 26° C e dos meses mais frios superior a 18° C, com amplitude térmica das médias inferiores a 5° C. A pluviosidade anual varia em torno de 1.600 mm, concentrada entre dezembro e fevereiro. No período seco, assinalam-se baixos índices de umidade do ar, geralmente inferiores a 30%.

6.2.2 Solo

O solo da região trabalhada é um rejeito oriundo de cambissolos (Háplicos) e neossolos (Litólicos), segundo classificação da Embrapa (2006), presente nos relatórios da Empresa de Desenvolvimento em Mineração (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (Eia-Rima) da Mineração Santo Expedito, 2008).

Na paisagem dominada por elevações estabelecidas sobre anortositos, o perfil de solo encontra-se truncado pela erosão ativa. Em alguns locais, a erosão acentuada chega a expor pequenos lajedos de rocha fresca. A remoção dos horizontes superficiais propiciou, em grandes extensões, a exumação e o desmantelamento parcial do saprólito aluminoso subjacente, resultando em solos lixiviados pouco desenvolvidos.

6.2.3 Vegetação

Na região do Complexo Máfico-Ultramáfico, em Barro Alto, a vegetação é do tipo savana arbórea nas planícies (cerrado), com matas-galerias ao longo dos rios (Santos, 2011).

Entretanto, parte dessa área apresenta-se intensamente transformada pela ocupação antrópica, abrangendo: pecuária extensiva, tradicionalmente praticadas nas encostas e vales, e agricultura irrigada e mecanizada em larga escala, prioritamente voltada à produção de cana-de-açúcar que é a principal atividade agropecuária da região devido a presença da usina.

A área da jazida é recoberta por vegetação rala, na forma de campos sujos e cerrados rupestres, entremeada com matas instaladas ao longo das drenagens. A cobertura original se encontra em boa parte preservada, à exceção de trechos ocupados por pastagens

ou por pequenas estradas secundárias.

A vegetação na região compreende espécies características de veredas (*Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Xylopia emarginata*), de áreas de nascentes (*Alchornea triplinervia*, *Anadenanthera falcata*, *Tabebuia serratifolia* e *Euterpe edulis*, dentre outros), bem como de cerradão e de cerrado (Veiga, 2005).

6.2.4 Descrição da área

O experimento foi realizado em área degradada da Mineradora Santo Expedito Ltda., devido, principalmente, ao problema de erosão. Essa erosão ativa propiciou a remoção dos horizontes superficiais, resultando em solos altamente lixiviados e pouco desenvolvidos (Santos, 2011).

Essa área caracteriza-se por ser uma encosta com declive ($< 5^\circ$). Ao longo da encosta ocorrem afloramentos de rocha fresca, expostos pela ação da erosão.

6.2.5 Instalação e condução do experimento

As espécies utilizadas no experimento foram mucuna (*Mucuna aterrima*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), e milheto (*Pennisetum glaucum*) isoladas e consorciadas.

Para implementação do sistema agroflorestral, foram implementadas; *Dipteryx alata* (Baru), *Caryocar brasiliense* Cambess (Pequi) e da *Apeiba tibourbou* Aubl. *Malvaceae*.(Apeiba).

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012 apresentando dois ciclos de uso de plantas de cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos em arranjo fatorial 8 x 3 com quatro repetições, totalizando 96 subparcelas com 27,2 m² (6,8 x 4 m).

Os tratamentos objetivaram a recuperação da área e foram implantados em março de 2012, sendo eles: 1 - feijão guandu; 2 - feijão-de-porco; 3 - crotalária juncea; 4 - mucuna preta; 5 - milheto consorciado com feijão guandu; 6 - milheto consorciado com feijão-de-porco; 7- milheto consorciado com crotalária; 8- milheto consorciado com mucuna. Os tratamentos consorciados foram estabelecidos pelo plantio de 50% da população de cada espécie.

Cada uma desses tratamentos foi adubada de três formas: 1 - adubação com fosfato de Arad (100 kg P_2O_5); 2 - adubação com esterco bovino (15 Mg ha^{-1}); 3 - adubação com NPK (15-15-14) via fertilizante de liberação controlada (250 kg ha^{-1}). A calagem foi realizada 30 dias antes pelo método da neutralização do Al^{+3} e da elevação dos teores de $Ca^{+2} + Mg^{+2}$, sendo os valores de saturação por Al^{+3} tolerados pelas culturas (mt), Ca + Mg trocáveis para cultura (X) e saturação por bases (Ve) recomendado para os adubos verdes (Vilela, 2004).

As doses de cada um e a calagem foram definidas levando-se em consideração a análise química do solo feita na camada de 0-20 cm (Tabela 6.1). Não foi realizada adubação de cobertura em nenhuma parcela.

Tabela 6.1. Atributos químicos e análise textural do solo na camada de 0-20 cm antes do experimento.

Argila	Silte	Areia	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
(g dm^{-3})				($CaCl_2$)	(mg dm^{-3})	-----($cmolc\ dm^{-3}$)-----						%
570	230	200	0	3,9	1,7	0,067	0,3	0,3	3,9	2,2	4,57	14,6

O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Micro Trator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, e aplicação de calcário dolomítico na dose de 1,5 t ha^{-1} (Figura 6.1).

Na implantação do primeiro ciclo das espécies (semeadura) dia 13 de março e no segundo ciclo dezembro 2012, foram semeadas 60 kg ha^{-1} de mucuna e feijão-de-porco, 30 kg ha^{-1} de feijão guandu e 25 kg ha^{-1} de crotalária. Os espaçamentos entre linhas foram de 0,45 cm, totalizando 15 linhas de cultivo por parcela.

6.2.6 Instalação das arbóreas

O método utilizado neste estudo visa acelerar os processos naturais de recomposição da vegetação. O modelo implantado procurou contemplar vários estágios de sucessão simultaneamente no ato do plantio, alternando a distribuição entre pioneiras, secundárias e climácias (Tabela 6.2).

O plantio das espécies arbóreas foi realizado em fevereiro de 2013 em todas as parcelas do experimento, totalizando 96 parcelas. Cada parcela foi plantada três indivíduos, uma de cada grupo, somando 288 plantas. O espaçamento entre plantas se encontra na Figura 6.2.



Figura 6.1. O preparo do terreno para plantio foi realizado com o Microtrator *Tobata*, equipado com enxada rotativa, fevereiro de 2012, Barro Alto, GO.

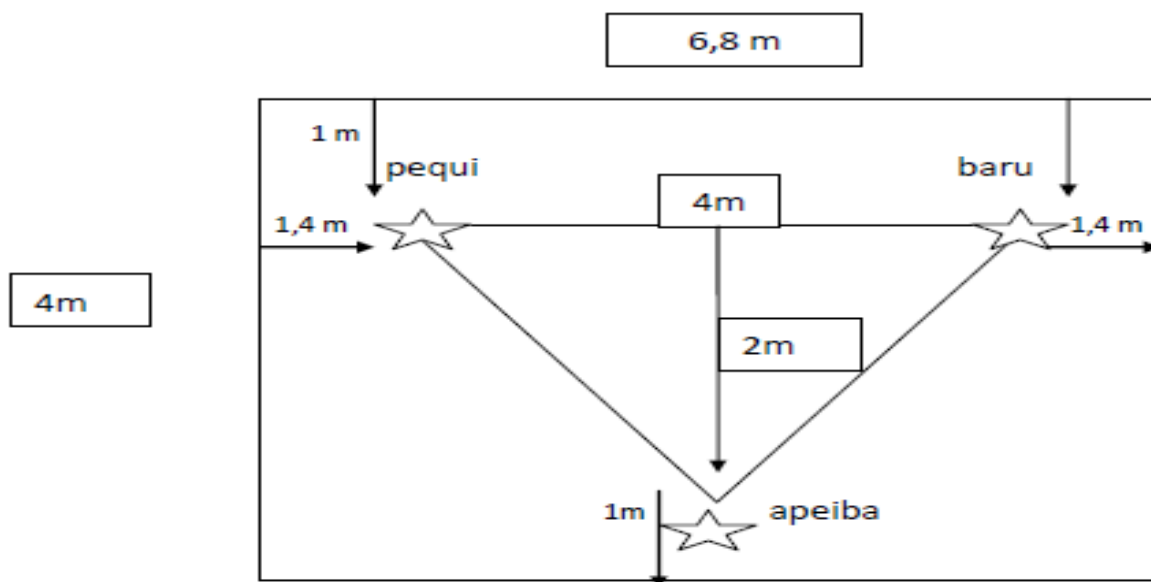


Figura 6.2. Espaçamentos entre espécies arbóreas no plantio, fevereiro de 2013, Barro Alto, GO.

Tabela 6.2. Espécies implantadas na área de recuperação no Município de Barro Alto, GO. Os grupos ecológicos P: pioneira, S: secundária e CL: Climácicas.

Família	Nome científico	Grupo ecológico
Leguminosae	<i>Dipteryx ala</i>	S
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	P
Caryocaraceae	<i>Caryocar brasiliense</i> <i>Cambess</i>	CL

Fonte: (Lorenzi, 1998; Carvalho2003).

A fertilização de pré-plantio foi realizada manualmente logo após a abertura das covas e feita de acordo com a fonte de adubo utilizada para plantas de cobertura, por meio da utilização de esterco bovino (5 litros cova⁻¹), 300 g de fosfato natural de Arad e 250 g de NPK utilizada no trabalho.

Foram realizadas duas leituras das espécies arbóreas, uma 90 e outra 270 dias após o plantio.

6.2.7 Variáveis estudadas

Para avaliação das características dos indivíduos plantados (figura 6.3), abrangidas pela parcela, foram registrados o diâmetro no nível de solo (DNS) e a altura. O DNS foi mensurado com paquímetro digital, e a altura das plantas, por meio de trena. Segundo Souza et al. (2006), o diâmetro do coleto é fundamental na avaliação do potencial da muda para sobrevivência e crescimento após plantio.



Figura 6.3. Desenvolvimento das arbóreas e adubos verdes em área de degradada de mineração de bauxita, fevereiro 2013, Barro Alto, GO.

Para todas as parcelas coletaram-se dados nos quatro blocos e então foi feita a média, a qual foi utilizada para análise no Programa SAS. Os resultados foram submetidos à análise de variância e Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo SAS.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das Tabelas 6.3 e 6.4 indicam que não houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre as fontes de adubações e de plantas de cobertura sobre a altura e o diâmetro das plantas arbóreas estudadas após 90 dias do plantio.

Tabela 6.3. Altura (cm) e diâmetro (mm) da parte aérea das três espécies arbóreas 90 dias após o plantio.

Cobertura	Pequi		Baru		Apeiba	
	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
CRO	40,33 a	5,66 a	29,33 a	5,11 ab	15,77 a	4,11 a
CROc	37,77 a	5,50 a	26,55 a	4,94 b	11,77 a	3,44 a
MUC	34,11 a	5,00 a	26,11 a	4,66 b	12,77 a	3,66 a
MUCc	35,66 a	5,33 a	32,00 a	4,77 b	10,88 a	3,27 a
FP	32,22 a	5,00 a	28,11 a	4,88 b	12,66 a	4,05 a
FPc	35,77 a	4,88 a	29,55 a	4,80 b	11,33 a	4,11 a
FG	39,33 a	5,22 a	30,22 a	4,77 b	15,44 a	4,20 a
FGc	36,55 a	5,27 a	32,00 a	5,83 a	18,00 a	3,33 a
Média	36,47	5,23	29,23	4,97	13,58	3,76
Teste F	1,12	0,87	1,09	3,59	1,03	1,86
CV(%)	20,7	16,42	21,84	11,83	55,17	22,76

(1) CRO - Crotalaria isolada, CRO_c - Crotalaria consorciada, FG - Feijão Guandu, FG_c - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FP_c - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUC_c - Mucuna consorciada.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6.4. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e diâmetro (mm) das arbóreas 90 dias após o plantio.

Fonte	Pequi		Baru		Apeiba	
	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
NPK	34,62 a	5,06 a	29,91 a	4,85 a	13,87 a	3,83 a
Esterco	38,50 a	5,35 a	29,25 a	5,01 a	14,62 a	3,77 a
Arad	36,29 a	5,29 a	28,54 a	5,06 a	12,25 a	3,70 a
Média	36,47	5,23	29,23	4,97	13,58	3,76
Teste F	1,59	0,76	0,28	0,81	0,63	0,15
CV(%)	20,71	16,42	21,84	11,83	55,17	22,76

(3) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As espécies pioneiras, as de clímax, apresentam crescimento pouco influenciado pela fertilidade do solo e não responsivas a adubação fosfatada (Martinotto et al., 2012).

Isso pode ser indicativo de adaptação das espécies clímax a solos pouco férteis

(Marschner, 1991; Lambers & Poorter, 1992) ou de rígido ajuste da taxa de crescimento a condições de baixa disponibilidade de nutrientes, o que restringe a sensibilidade da espécie à melhoria nos níveis de fertilidade do solo.

Os resultados das Tabelas 6.5 e 6.6 indicam que não houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre as fontes de adubações e de plantas de cobertura sobre a altura e o diâmetro das plantas arbóreas estudadas após 90 dias do plantio. Fato provável ao pouco tempo de desenvolvimento das espécies na área em recuperação.

Tabela 6.5. Altura (cm) e diâmetro (mm) da parte aérea (cm) das três espécies arbóreas 270 dias após o plantio.

Cobertura	Pequi		Baru		Apeiba	
	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
CRO	40,72 a	6,66 a	31,88 a	6,05 a	47,55 a	4,16 a
CROc	43,94 a	7,00 a	28,33 a	5,66 a	45,72 a	4,33 a
MUC	38,66 a	6,77 a	25,38 a	5,72 a	48,44 a	4,33 a
MUCc	41,18 a	6,66 a	30,55 a	5,83 a	47,66 a	4,11 a
FP	38,88 a	6,11 a	29,33 a	6,27 a	45,61 a	4,11 a
FPc	42,38 a	6,22 a	31,22 a	5,77 a	49,61 a	4,36 a
FG	42,77 a	6,27 a	31,94 a	5,77 a	49,33 a	4,00 a
FGc	43,16 a	7,44 a	30,66 a	5,88 a	47,5 a	4,16 a
Média	41,46	6,64	29,91	5,87	47,68	4,19
Teste F	0,85	1,64	1,09	0,22	0,95	0,28
CV(%)	15,34	15,67	21,13	21,75	9,49	17,89

(1) CRO - Crotalaria isolada, CROc - Crotalaria consorciada, FG - Feijão Guandu, FGc - Feijão Guandu Consorciado, FP - Feijão-de-Porco, FPc - Feijão-de-Porco Consorciado, MUC - Mucuna, MUCc - Mucuna Consorciada.

(2) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6.6. Efeito entre as fontes de adubação sobre altura (cm) e diâmetro (mm) das arbóreas 270 dias após o plantio.

Fonte	Pequi		Baru		Apeiba	
	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
NPK	40,94 a	6,27 b	30,33 a	5,71 a	47,22 a	4,03 a
Esterco	42,75 a	7,08 a	29,58 a	6,14 a	47,41 a	4,25 a
Arad	40,71 a	6,58 b	29,83 a	5,77 a	48,39 a	4,31 a
Teste F	0,74	3,71	0,09	0,82	0,46	0,91
CV(%)	15,34	15,67	21,13	21,75	9,49	17,89

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto às variáveis de diâmetro e a altura, verifica-se que a espécie *Apeiba* destaca-se das demais espécies em estudo em relação ao incremento de 90 a 270 dias. Observa-se que o comportamento de Pequi e Baru foi semelhante com baixo incremento

temporal nas duas variáveis. Gorenstein et al. (2006) também observaram diferenças entre incremento de altura e diâmetro de plantas espécie pioneiras, intermediária e climáceas com três anos de plantio.

De modo geral, as espécies pioneiras são mais exigentes nutricionalmente, mostrando-se bastante responsivas à fertilização, ao passo que, com o avanço do grupo sucessional, o estímulo ao crescimento proporcionado pela adubação é menos pronunciado ou inexistente, tendência, em parte, atribuída ao crescimento mais lento (Furtini Neto et al., 2005; Santos et al., 2008).

Esses mesmos autores estudaram o crescimento de espécies florestais e observaram que as espécies pioneiras foram mais eficientes em produzir massa da parte aérea e na absorção de P do que as de clímax.

Segundo Kageyama et al. (2003), a recuperação do ecossistemas de sucessão deve ser o mais semelhante possível do original, formando uma comunidade que tenha uma tendência rápida à estabilização e a uma elevada biodiversidade. Ainda, deve ajudar a natureza a se recompor, de modo que os processos sucessionais possam ocorrer na área degradada (Reis et al. 2003).

Diante desse contexto, a diminuição dos efeitos negativos da destruição dos ambientes naturais e a atuação em processos de restauração se tornam cada vez mais importante e necessária (Kageyama et al. 2003).

O ritmo de crescimento das espécies em áreas degradadas, apesar de baixo, correspondeu à expectativa de acordo com os tratamentos efetuados na área em início de recuperação e do grupo ecológico em que se encontram. As espécies pioneiras apresentaram melhor desenvolvimento inicial em função das próprias características desse grupo ecológico.

O baixo efeito significativo da adubação mineral, na altura das plantas encontrado neste trabalho, reflete o estímulo imediato dos adubos verdes no crescimento, a curto prazo, em detrimento à resposta ao fornecimento de NPK mineral e à baixa resposta dessas plantas nativas aos insumos.

Apesar de os tratamentos imprimirem algumas alterações nos atributos químicos e físicos dos solos (Tabela 6.7) aos 270 dias, as análises de correlação foram baixas e indicaram baixa variação nas características (Tabela 6.8). Espera-se que os tratamentos nos próximos anos incrementem essas diferenças e que estas proporcionaram diferenças nos crescimentos das plantas arbóreas.

Tabela 6.7. Valores mínimos, médios, máximos e desvio padrão dos atributos do solo das arbóreas aos 270 dias após o plantio.

Atributos do solo	Unidade	Média	Desv. Pad	Mínimo	Máximo
Químicos					
M.O.	dag/kg	0,81	0,14	0,60	1,10
pH	CaCl ₂	4,22	0,06	4,10	4,35
P Mehlich I	mg/dm ³	1,73	1,27	0,55	7,05
K	mg/dm ³	36,98	2,74	31,00	43,00
Ca	cmolc/dm ³	0,53	0,13	0,34	0,86
Mg	cmolc/dm ³	0,28	0,05	0,20	0,40
H _{al}	cmolc/dm ³	3,54	0,35	2,90	4,40
Al	cmolc/dm ³	1,12	0,24	0,70	1,65
CTC	cmolc/dm ³	4,43	0,47	3,55	5,75
M	%	55,91	5,34	44,25	64,90
V	%	20,10	2,14	17,20	24,25
Físicos					
Macro	%	18,30	2,31	15,81	23,03
Micro	%	37,70	1,93	34,88	40,89
VTP	%	56,00	1,62	52,81	57,92
Ds	kg/m ³	1,11	0,04	1,06	1,19

Tabela 6.8. Correlação de Person e significância do teste entre altura e diâmetro de arbóreas e atributos químicos e físicos do solo aos 270 dias após o plantio.

Variável	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro
	Apeiba	Apeiba	Baru	Baru	Pequi	Pequi
M.O.	-0,174 ⁽¹⁾	-0,250	0,376	0,187	0,042	0,095
	0,416 ⁽²⁾	0,239	0,070	0,381	0,847	0,659
pH	0,203	-0,033	-0,271	-0,196	-0,175	-0,067
	0,342	0,879	0,200	0,358	0,414	0,755
P	-0,130	0,052	-0,311	-0,075	0,539	-0,391
	0,546	0,810	0,138	0,726	0,007	0,059
K	-0,270	-0,303	-0,120	-0,130	-0,021	0,039
	0,203	0,151	0,575	0,545	0,924	0,857
Ca	-0,374	-0,278	0,117	-0,349	0,411	0,102
	0,072	0,188	0,586	0,095	0,046	0,636
Mg	-0,041	0,006	-0,030	-0,390	0,165	0,160
	0,849	0,977	0,888	0,060	0,441	0,457
Al	-0,168	-0,140	-0,080	-0,084	0,078	0,068
	0,433	0,515	0,709	0,698	0,718	0,753
CTC	-0,457	-0,256	0,226	-0,082	0,207	0,163
	0,025	0,227	0,288	0,704	0,332	0,448
M	0,037	-0,069	-0,090	0,248	-0,229	0,053
	0,862	0,748	0,677	0,243	0,281	0,806
V	0,048	0,206	-0,224	-0,620	0,479	0,044
	0,823	0,335	0,292	0,001	0,018	0,839
Macro	-0,105	0,088	-0,225	-0,249	0,205	0,285

	0,626	0,683	0,291	0,240	0,336	0,177
Micro	0,128	-0,059	0,362	0,241	-0,279	-0,056
	0,551	0,784	0,082	0,256	0,187	0,796
VTP	0,003	0,055	0,111	-0,068	-0,039	0,339
	0,989	0,800	0,605	0,754	0,858	0,105
Ds	0,001	-0,059	-0,122	0,080	0,036	-0,371
	0,997	0,625	0,783	0,535	0,299	0,074

(1) Coeficiente de correlação de Pearson

(2) Significância do Teste (adimensional)

6.4 CONCLUSÕES

- As fontes de adubação e as plantas de cobertura não influenciaram na altura e no diâmetro das arbóreas 270 dias após o plantio;

- Verificou-se que a espécie Apeiba destaca-se das demais espécies em estudo em relação ao incremento de altura e de diâmetro de 90 a 270 dias;

- Observa-se que o comportamento de Pequi e Baru foi semelhante com baixo incremento temporal nas duas variáveis.

6.5 REFERÊNCIAS

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2003. 1040 p. (Informação Tecnológica).

CÔRREA, G. C.; NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; CHAVES, L. J.; BORGES, J. D. Determinações físicas em frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), visando melhoramento genético. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 42-47, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FRANCO, A. A. Recomposição e restauração em áreas de mineração. In: WORKSHOP RECUPERAÇÃO E MANEJO DE ÁREAS DEGRADADAS NO CONTEXTO E DO SNPA, 1, 1998, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna, 1998. Disponível na Internet em: <<http://www.abep.nepo.unicamp.br>>. Acesso em: 24 abr. 2008.

FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J.O., CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 351-384.

GARDNER, J. Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental. **Unasyva**, Roma, n.4, v. 52, p. 3-8, 2001.

GORENSTEIN, M. R.; BORGES, P. C. A.; POLETTO, R. S. Comportamento silvicultural de seis espécies nativas na revegetação da mata ciliar do Córrego Barreiro em Garça-SP. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça, ano IV, n. 7, 2006.

KAGEYAMA, P. Y., GANDARA, F. B.; OLOVEIRA, R. E. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu, SP: FEPAF, 2003. p. 27-48.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v. 23, n. 1, p. 187-261, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998. v. 2.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. v. 1.

LOSS, A.; ANGELINI, G. A. R.; PEREIRA, A. C. C. ; LÃ, O. R.; MAGALHÃES, M. O. L.; SILVA, E. M. R.; JUNIOR, O. J. S. Atributos químicos do solo e ocorrência de fungos micorrízicos sob áreas de pastagem e sistema agroflorestal, Brasil. **Acta Agronômica**. Palmira, v. 58, n. 2, p. 91-95, 2009.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 134, n. 1, p. 1-20, 1991.

MARTINITTO, F.; MARTINOTTO, C.; COELHO, M. F. B.; AZEVEDO, R. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 22-29, 2012.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxite, Poços de Caldas, MG**. 2004. 155p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Unesp, Rio Claro, 2004.

MOURA, N. F.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V. Caracterização física de frutos de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) do Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 905-912, 2013.

NEPOMUCENO, D. L. M. G. **O extrativismo de baru (*Dipteryx alata* Vog) em Pirenópolis (GO) e sua sustentabilidade**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; ESPÍNDOLA, M. B.; VIEIRA, N. K.; SOUZA, L. L. Restauração de Áreas Degradadas: A Nucleação como Base para os Processos Sucessionais. **Revista Natureza & Conservação**. Goiânia, v. 1, n. 1, p. 28-36. 2003.

RUIVO, M. L. P. **Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas minerada na Amazônia Oriental**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 1998.

SALOMÃO, R. P.; SANTANA, A. C.; JÚNIOR, S. B.; GOMES, V. H. F. Análise fitossociológica de floresta ombrófila densa e determinação de espécies-chave para recuperação de área degradada através da adequação do índice de valor de importância. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 7, n. 1, p. 57-102, 2012.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. **Baru: biologia e uso**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. (Documentos, 116).

SANTOS, W. M. **Mineralogia e geoquímica da bauxita derivada do anortosito, Barro Alto, Goiás**. 201. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SILVA, J. C. S. **Desenvolvimento inicial de espécies lenhosas, nativas e de uso múltiplo na recuperação de áreas degradadas de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal**. 2007. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, A. R. **Sistema agroflorestal sobre cultivo de leguminosas: fertilidade do solo, resistência à penetração e produtividade de milho e feijão-caupi**. 2011. 96p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2011.

SOUZA, P.A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 261-270, 2006.

VEIGA, A. T. C. **Relatório final de pesquisa – DNPM 860.260/2004**. EDEM Mineração, 2005. 72p.

VERA, R.; SOUZA, E. R. B. Baru. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1 p. 112-118, 2009.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, C. M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 367-382.

7 CONCLUSÕES GERAIS

- 17,1% da fitomassa tiveram origem no milho, indicando serem as leguminosas os principais fatores de incremento nessa variável;

- A utilização da fonte mineral (NPK) aumentou significativamente a fitomassa da adubação verde, acúmulo de nutrientes e altura das plantas em relação ao fosfato de Arad e ao esterco bovino.

- Com a introdução da adubação verde, o teor de Al trocável do solo, H+Al e da saturação por Al (m %) reduziram em 55%, 18,46% e 37,47% em relação ao início, respectivamente,

- A utilização dos adubos verdes aumentou o teor de matéria orgânica, saturação de bases e potássio em 156%, 41,71% e 52,41% em relação ao início, respectivamente.

- A macro e a microporosidade, além da resistência à penetração, melhoraram após 18 meses de implantação da recuperação, demonstrando que o manejo adotado para recuperação da área degradada no estudo está sendo atuante.

- Após 270 dias de plantio das espécies arbóreas, as plantas de cobertura e as fontes utilizadas não influenciaram a altura e o diâmetro. A Apeiba se destacou no incremento de altura e diâmetro em relação ao baru e pequi.

APÊNDICES

Apêndice 1. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos no desenvolvimento de adubos verde no primeiro ciclo em Barro Alto, GO.

Variáveis	Fonte de			Blocos	CV (%)
	Adubos verdes	adubação	Ad. verde x fontes		
Altura (15 DAE)	2,64*	7,46*	0,96ns	0,94ns	43,68
Altura (30 DAE)	37,78*	144,12*	4,49*	6,88*	6,73
Altura (45 DAE)	47,03*	157,16*	3,88*	3,54*	7,82
Altura (60 DAE)	27,25*	127,73*	1,15ns	6,14*	8,76
Altura (79 DAE)	21,85*	90,35*	0,55ns	6,90*	10,27
Clorofila	63,82*	120,30*	5,47*	0,42ns	7,82

* = significativo 5% de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apêndice 2. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos no desenvolvimento de adubos verde no segundo ciclo em Barro Alto, GO.

Variáveis	Fonte de			Blocos	CV (%)
	Adubos verdes	adubação	Ad. verde x fontes		
Altura (florescimento)	119,78*	513,19*	10,55*	9,70*	5,57

* = significativo 5 % de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Apêndice 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas. Produção de fitomassa ($Mg\ ha^{-1}$), quantidade de nutrientes acumulados nos adubos verdes ($Kg\ ha^{-1}$).

Parâmetros	Fitomassa	N	P	K	Ca	Mg
Fitomassa	1	0,79**	0,40**	0,74**	0,36**	0,46**
N		1	0,33**	0,61**	0,42**	0,45**
P			1	0,46**	0,1 ^{ns}	0,56**
K				1	0,44**	0,46**
Ca					1	0,43**
Mg						1

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste 't' na correlação de Pearson

Apêndice 4. Teores de nutrientes aplicados no solo para cada ciclo de adubo verde no plantio em Barro Alto, Goiás, GO.

Fontes	P ₂ O ₅	N	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----		
Duratec (NPK)	37,5	37,5	35
Arad	33,0	-	-
Esterco	22,5	60	60

Apêndice 5. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos químicos do solo em Barro Alto, GO.

Variáveis	Adubos verdes	Fonte de adubação	Ad. verde x fontes	Época	CV (%)
M.O	0,6ns	2,61ns	0,35 ns	429,12*	30,53
pH	1,1ns	0,66ns	0,94ns	13,8*	1,93
P	1,13ns	1,51ns	0,95ns	5,2*	101,27
K	0,67ns	7,47*	0,79ns	1394,37*	9,09
Ca	1,16ns	0,17ns	0,63ns	4,65*	40,78
Mg	1,00ns	1,84ns	1,05ns	64,55*	26,19
H+Al	1,36ns	2,18ns	0,54ns	22,38*	14,58
Al	2,9*	6,54*	0,95ns	13,21ns	21,57
CTC	1,45ns	1,84ns	0,56ns	2,07ns	15,42
M	0,55ns	1,6ns	0,63ns	36,63*	16,27
V	0,42ns	0,52ns	0,54ns	64,66*	21,21

* = significativo 5 % de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Apêndice 6. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos físicos do solo em Barro Alto, GO.

Variáveis	Adubos verde	Profundidade	Ad. verde x profundidade	Época	CV (%)
Umidade	1,24ns	0,36ns	0,37ns	28,22*	11,54
Macroporosidade	1,21ns	0,13ns	0,27ns	48,72*	26,25
Microporosidade	2,05ns	0,32ns	0,59ns	85,29*	8,22
Porosidade total	0,75ns	1,29ns	0,45ns	0,11ns	5,32
Densidade	0,75ns	1,29ns	0,45ns	0,11ns	6,83

* = significativo 5 % de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Apêndice 7. Análise de variância (valores de F) para diferentes efeitos nos atributos físicos do solo em Barro Alto, GO.

Variáveis	Adubos verde	Profundidade	Ad. verde x profundidade	Época	CV (%)
Resistência a penetração	11,23*	38,31*	1,06*	52,38*	32,59

* = significativo 5 % de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F