



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ATRIBUTOS DE SUBSTRATOS COM REJEITO
DE LAVRA DE BAUXITA CULTIVADOS COM
PUERÁRIA (*Pueraria phaseoloides*) E
BRAQUIÁRIA (*Brachiaria decumbens*) EM
BARRO ALTO, GOIÁS**

ÉRICA CRISTINA MARTINS DE PAULA

Orientador(a):
Prof(a). Eliana Paula Fernandes

ÉRICA CRISTINA MARTINS DE PAULA

**ATRIBUTOS DE SUBSTRATOS COM REJEITO DE
LAVRA DE BAUXITA CULTIVADOS COM
PUERÁRIA (*Pueraria phaseoloides*) E BRAQUIÁRIA
(*Brachiaria decumbens*) EM BARRO ALTO, GOIÁS**

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

Orientador(a):

Prof(a). Dr(a). Eliana Paula Fernandes

Co-orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Goiânia, GO – Brasil

2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais por me darem a oportunidade de estar onde estou:

Matusalém de Paula e Maria Lenita de Paula;

Ao meu irmão:

Heber Martins de Paula;

Ao meu esposo pela compreensão e apoio:

Samuel Esteves Pereira.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho envolveu o apoio e contribuição de muitos. Agradeço a todos que, individualmente ou através dos órgãos envolvidos, de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho, em especial:

A Deus, por me dar força e estar comigo em todos os momentos;

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, pela disposição, paciência, amizade e amparo nos momentos difíceis;

À minha orientadora Prof(a). Dr(a). Eliana Paula Fernandes, pela confiança, colaboração e amizade;

A todos da Mineradora Santo Expedito, pelo apoio financeiro e na execução do trabalho e pela oportunidade de realização deste estudo;

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos;

A todos os estagiários que me auxiliaram na execução do trabalho, em especial: Samuel Esteves Pereira, Paulo Henrique da Costa de Paula, Afonso Félix Cavalcante Ferreira Belo, Daniel de Castro Mendonça e Maiko Alves.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Solos e Foliar da UFG: Dona Ionice, Márcia, Carlinhos e Cri.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO GERAL	12
GENERAL ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS.....	16
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO.....	18
2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO.....	19
2.3.1 Manejo do solo da área degradada	20
2.3.2 Revegetação da área degradada	22
2.3.2.1 Benefícios da revegetação.....	24
2.3.2.2 Método de revegetação tapete verde e expansão de ilhas de vegetação.....	25
2.4 REFERÊNCIAS.....	28
3 DESEMPENHO FITOTÉCNICO DA PUERÁRIA (<i>Pueraria phaseoloides</i>) E DA BRAQUIÁRIA (<i>Brachiaria decumbens</i>) CULTIVADAS EM SUBSTRATOS COM REJEITO DE LAVRA DE BAUXITA EM BARRO ALTO, GO	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	34
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.2.1 Caracterização do local	36
3.2.1.1 Localização.....	36
3.2.1.2 Clima.....	36
3.2.1.3 Solo.....	37
3.2.1.4 Descrição da área.....	37
3.2.2 Plantas-testes	38
3.2.3 Instalação e condução do experimento	38
3.2.4 Variáveis estudadas	40
3.2.4.1 Desempenho fitotécnico.....	40
3.2.4.2 Teor relativo de clorofila na folha	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.3.1 Desempenho fitotécnico	43
3.3.1.1 Altura e diâmetro de caule de <i>Pueraria phaseoloides</i> isolada.....	43
3.3.1.2 Altura e número de perfilhos basais de <i>Brachiaria decumbens</i> isolada.....	51
3.3.1.3 Altura e diâmetro de caule de <i>Pueraria phaseoloides</i> e altura e número de perfilhos basais de <i>Brachiaria decumbens</i>	58

3.3.1.4	Fitomassa de <i>Pueraria phaseoloides</i> e <i>Brachiaria decumbens</i> isoladas e consorciadas.....	64
3.3.2	Teor relativo de clorofila na folha	76
3.4	CONCLUSÕES.....	80
3.5	REFERÊNCIAS.....	80
4	ATRIBUTOS QUÍMICOS DE DIFERENTES SUBSTRATOS COM REJEITO DE LAVRA DE BAUXITA CULTIVADOS COM PUERARIA (<i>Pueraria phaseoloides</i>) E BRAQUIÁRIA (<i>Brachiaria decumbens</i>)	86
	RESUMO.....	86
	ABSTRACT.....	86
4.1	INTRODUÇÃO.....	87
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	89
4.2.1	Caracterização do local	89
4.2.1.1	Localização.....	89
4.2.1.2	Clima.....	89
4.2.1.3	Solo.....	90
4.2.1.4	Descrição da área.....	90
4.2.2	Plantas-testes	90
4.2.3	Instalação e condução do experimento	90
4.2.4	Variáveis estudadas	93
4.2.4.1	Análise química e textural dos rejeitos argilosos e dos substratos no início do ensaio experimental.....	93
4.2.4.2	Análise química dos substratos ao término do ensaio experimental.....	95
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
4.3.1	Análise química e textural dos rejeitos argilosos e dos substratos no início do ensaio experimental	96
4.3.2	Análise química dos substratos ao término do ensaio experimental	99
4.4	CONCLUSÕES.....	107
4.5	REFERÊNCIAS.....	107
5	ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE DIFERENTES SUBSTRATOS COM REJEITO DE LAVRA DE BAUXITA CULTIVADOS COM PUERÁRIA (<i>Pueraria phaseoloides</i>) E BRAQUIÁRIA (<i>Brachiaria decumbens</i>)	111
	RESUMO.....	111
	ABSTRACT.....	111
5.1	INTRODUÇÃO.....	112
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	114
5.2.1	Caracterização do local	114
5.2.1.1	Localização.....	114
5.2.1.2	Clima.....	115
5.2.1.3	Solo.....	115
5.2.1.4	Descrição da área.....	115
5.2.2	Plantas-testes	116
5.2.3	Instalação e condução do experimento	116
5.2.4	Variáveis estudadas	119

5.2.4.1	Propriedades físicas dos substratos.....	119
5.2.4.2	Análise microbiológica dos substratos.....	119
5.2.4.3	Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular.....	120
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	121
5.3.1	Atributos físicos dos substratos testados no início do ensaio experimental.....	121
5.3.2	Análise microbiológica dos substratos.....	125
5.3.3	Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular.....	133
5.4	CONCLUSÃO.....	138
5.5	REFERÊNCIAS.....	138
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	142
	GLOSSÁRIO.....	143
	APÊNDICES.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Composição dos tratamentos sob avaliação em Barro Alto, GO, 2008.....	38
Tabela 4.1	Composição dos tratamentos sob avaliação em Barro Alto, GO, 2008.....	91
Tabela 4.2	Resultados da análise química e textural dos rejeitos argilosos utilizados no experimento. Barro Alto, GO, 2008.....	94
Tabela 4.3	Características químicas dos componentes bagaço e esterco utilizados no experimento em Barro Alto, GO, 2008.....	95
Tabela 4.4	Atributos químicos dos substratos de rejeito de lavra de bauxita. Barro Alto, GO, 2009.....	97
Tabela 5.1	Composição dos tratamentos sob avaliação em Barro Alto, GO, 2008.....	117
Tabela 5.2	Caracterização física dos componentes dos substratos.....	119
Tabela 5.3	Caracterização microbiológica dos rejeitos utilizados no experimento, Barro Alto, GO, 2009.....	120
Tabela 5.4	Carbono da biomassa nos substratos com gramíneas e leguminosas isoladas e consorciadas ao término do experimento. Barro Alto, GO, 2009.....	126
Tabela 5.5	Nitrogênio da biomassa nos substratos com gramíneas e leguminosas isoladas e consorciadas ao término do experimento. Barro Alto, GO, 2009.....	127
Tabela 5.6	Respiração basal nos substratos com gramíneas e leguminosas isoladas e consorciadas ao término do experimento. Barro Alto, GO, 2009.....	130
Tabela 5.7	Atividade enzimática total nos substratos com gramíneas e leguminosas isoladas e consorciadas ao término do experimento. Barro Alto, GO, 2009.....	131
Tabela 5.8	Notas atribuídas aos sistemas radiculares das leguminosas ao término do experimento.....	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Canteiro e vasos do experimento instalado em Barro Alto, GO, 2008.....	37
Figura 3.2	Componentes utilizados em diferentes proporções para formação dos substratos (tratamentos). Esquerda para direita: bagaço de cana; esterco bovino, rejeito argiloso e superfosfato triplo.....	39
Figura 3.3	Medição da altura de todas as plantas <i>Brachiaria decumbens</i> de cada vaso.....	41
Figura 3.4	Verificação do diâmetro das plantas de <i>Pueraria phaseoloides</i> com uso do paquímetro digital 6” ZAAS Presicion®.....	41
Figura 3.5	Corte da <i>Brachiaria decumbens</i> (a) e da <i>Pueraria phaseoloides</i> (b) para obtenção da massa verde e seca.....	42
Figura 3.6	Avaliação do teor relativo de clorofila através do clorofilômetro Modelo Minolta SPAD-502.....	43
Figura 3.7	Altura das leguminosas isoladas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	44
Figura 3.8	Diâmetro do caule das leguminosas isoladas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	45
Figura 3.9	Relação entre porcentagem de esterco bovino e teor de fósforo e de potássio no substrato no início do experimento.....	47
Figura 3.10	Altura da leguminosa isolada em função do teor de fósforo e de potássio no substrato. Média das oito leituras.....	48
Figura 3.11	Diâmetro de caule da leguminosa isolada em função do teor de fósforo e de potássio no substrato. Média das oito leituras.....	48
Figura 3.12	(a) Leguminosas sob o tratamento T15, o qual é composto por 40% de bagaço; 0% de esterco; 60% rejeito argiloso; sem adubação fosfatada. 97 dias após o plantio. (b) Leguminosas sob o tratamento T17, o qual é composto por 40% de bagaço; 0% de esterco; 60% rejeito argiloso; 2x a dose de superfosfato triplo. 97 dias após o plantio.....	49
Figura 3.13	Leguminosas sob o tratamento T2, o qual é composto por 0% de bagaço; 10% de esterco; 90% rejeito argiloso; 1x dose de superfosfato triplo. 97 dias após o plantio.....	50

Figura 3.14	Altura das gramíneas isoladas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	52
Figura 3.15	Número de perfilhos por planta das gramíneas isoladas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	53
Figura 3.16	Altura das gramíneas isoladas em função do teor de fósforo e de potássio no substrato. Média das oito leituras.....	55
Figura 3.17	Número de perfilhos basais por gramínea isolada em função do teor de fósforo e de potássio no substrato. Média das oito leituras.....	55
Figura 3.18	Gramíneas sob o tratamento T1, o qual é composto por 0% de bagaço; 20% de esterco; 80% rejeito argiloso; sem adubação fosfatada. 97 dias após o plantio.....	56
Figura 3.19	(a) Gramíneas sob o tratamento T15, o qual é composto por 40% de bagaço; 0% de esterco; 60% rejeito argiloso; sem adubação fosfatada. 97 dias após o plantio. (b) Gramíneas sob o tratamento T17, o qual é composto por 40% de bagaço; 0% de esterco; 60% rejeito argiloso; 2x a dose de superfosfato triplo. 97 dias após o plantio.....	57
Figura 3.20	Altura das leguminosas consorciadas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	59
Figura 3.21	Diâmetro das leguminosas consorciadas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	60
Figura 3.22	Altura das gramíneas consorciadas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	61
Figura 3.23	Número de perfilhos por planta das gramíneas consorciadas em função de cada tratamento nas diferentes épocas de leitura.....	62
Figura 3.24	Massa verde (MV) e massa seca (MS) da parte aérea por leguminosa isolada em função de cada tratamento. Teste F (MV): 3,45. CV (MV): 76%. Média geral (MV): 52,46 g. Teste F (MS): 5,46. CV (MS): 51%. Média geral (MS): 14,77 g.....	65
Figura 3.25	Massa verde e seca da parte aérea por leguminosa consorciada em função de cada tratamento. Teste F(MV): 4,42. CV(MV): 179%. Média geral (MV): 6,92 g. Teste F(MS): 4,20. CV(MS): 220%. Média geral (MS): 3,01 g.....	66

Figura 3.26	Massa verde e seca da parte aérea por gramínea isolada em função de cada tratamento. Teste F(MV): 9,67. CV(MV): 37%. Média geral (MV): 94,43 g. Teste F(MS): 8,70. CV(MS): 40%. Média geral (MS): 43,30 g.....	67
Figura 3.27	Massa verde e seca da parte aérea por gramínea consorciada em função de cada tratamento. Teste F (MV): 7,53. CV(MV): 51%. Média geral (MV): 153,91 g. Teste F (MS): 6,77. CV(MS): 53%. Média geral (MS): 66,63 g.....	68
Figura 3.28	Massa verde e seca total da parte aérea de uma leguminosa e uma gramínea, dos vasos com o consórcio, em função de cada tratamento. Teste F (MV): 8,30. CV (MV): 47,4%. Teste F (MS): 7,57. CV (MS): 49,4%.....	70
Figura 3.29	Massa por leguminosa isolada em função da porcentagem de esterco no substrato.....	70
Figura 3.30	(a) Massa por gramínea isolada em função da porcentagem de esterco no substrato. (b) Massa por gramínea consorciada em função da porcentagem de esterco no substrato.....	72
Figura 3.31	Relação entre massa por leguminosa isolada e diâmetro de caule.....	74
Figura 3.32	(a) Relação entre massa por gramínea isolada e altura. (b) Relação entre massa por gramínea isolada e número de perfilhos basais por gramínea isolada.....	75
Figura 3.33	(a) Relação entre massa por gramínea consorciada e altura. (b) Relação entre massa por gramínea consorciada e número de perfilhos basais por gramínea consorciada.....	76
Figura 3.34	Teor relativo de clorofila em função da porcentagem de esterco no substrato.....	77
Figura 3.35	(a) Relação entre massa por gramínea isolada e teor relativo de clorofila. (b) Relação entre massa por gramínea consorciada e teor relativo de clorofila.....	79
Figura 4.1	Canteiro e vasos do experimento instalado em Barro Alto, GO, 2008.....	90
Figura 4.2	Componentes utilizados em diferentes proporções para formação dos substratos (tratamentos). Esquerda para direita: bagaço de cana; esterco bovino, rejeito argiloso e superfosfato triplo.....	92

Figura 4.3	Coleta de amostra dos substratos para análise química e microbiológica ao término do experimento. Barro Alto, GO, 2009.....	95
Figura 4.4	Relação entre porcentagem de esterco bovino e teor de fósforo e de potássio no substrato.....	99
Figura 4.5	Relação entre porcentagem de esterco (material orgânico) no substrato e CTC do substrato ao final do experimento.....	102
Figura 4.6	Teor de fósforo no solo ao final do experimento em função da porcentagem de esterco nos substratos.....	103
Figura 5.1	Canteiro e vasos do experimento instalado em Barro Alto, GO, 2008.....	116
Figura 5.2	Componentes utilizados em diferentes proporções para formação dos substratos (tratamentos). Esquerda para direita: bagaço de cana; esterco bovino, rejeito argiloso e superfosfato triplo.....	117
Figura 5.3	Densidades seca e úmida obtidas por distintas proporções dos componentes dos substratos em estudo.....	121
Figura 5.4	Porosidade total e matéria seca obtidas por distintas proporções dos componentes dos substratos em estudo.....	123
Figura 5.5	Capacidade de retenção de água e espaço de aeração obtidos por distintas proporções dos componentes dos substratos em estudo.....	124
Figura 5.6	Condutividade elétrica obtida por distintas proporções dos componentes dos substratos em estudo.....	125
Figura 5.7	Raízes de <i>Pueraria phaseoloides</i> no tratamento T3 do bloco 2....	135
Figura 5.8	Raízes de <i>Brachiaria decumbens</i> no tratamento T7 do bloco 2.....	135
Figura 5.9	(a) Pouco desenvolvimento de raízes de <i>Pueraria phaseoloides</i> no tratamento T11 do bloco 1. (b) Pouco desenvolvimento de raízes de <i>Pueraria phaseoloides</i> no tratamento T15 do bloco 1.....	136
Figura 5.10	(a) Pouco desenvolvimento de raízes de <i>Brachiaria decumbens</i> no tratamento T11 do bloco 1. (b) Pouco desenvolvimento de raízes de <i>Brachiaria decumbens</i> no tratamento T15 do bloco 1.....	136
Figura 5.11	(a) Relação entre massa por gramínea isolada e nota atribuída ao sistema radicular. (b) Relação entre massa por gramínea consorciada e nota atribuída ao sistema radicular.....	137

RESUMO GERAL

PAULA, E. C. M. **Atributos de substratos com rejeito de lavra de bauxita cultivados com Puerária (*Pueraria phaseoloides*) e Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) em Barro Alto, Goiás.** 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.¹

Foram estudados os atributos de substratos com rejeito de lavra de bauxita cultivados com Pueraria (*Pueraria phaseoloides*) e Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) em Barro Alto, Goiás para a recomposição florística. Para alcançar tal objetivo avaliaram-se o desempenho fitotécnico através da altura e diâmetro de caule para leguminosa e da altura e número de perfilhos basais para gramínea, além de fitomassa verde e seca para ambas as espécies. Também foram avaliados os atributos químicos dos substratos através de análises químicas dos substratos no início e término do experimento e dos atributos físicos e microbiológicos. O experimento foi conduzido em vasos no município de Barro Alto, GO, de dezembro de 2008 a junho de 2009. O delineamento utilizado foi blocos completos ao acaso, com quatro repetições e composto por 17 tratamentos com diferentes composições de esterco bovino (0% a 20,5%), bagaço de cana de açúcar (0% a 40%) e rejeito argiloso (45% a 90%) e doses distintas de fósforo para as coberturas vivas (*B. decumbens*, *P. phaseoloides* e *B. decumbens* + *P. phaseoloides*). Os tratamentos sobre os quais as gramíneas e leguminosas apresentam maior desempenho fitotécnico são todos aqueles que apresentam concentração de esterco acima de 10%. Para os atributos químicos, o tratamento com pelo menos 3,5% de esterco bovino e 8,5% de bagaço de cana-de-açúcar e sem adubação fosfatada (T5) já apresenta, inicialmente, características químicas adequadas para o crescimento das plantas em estudo, porém apresenta baixo teor de matéria orgânica. Os substratos que apresentam melhores características físicas foram aqueles sob os tratamentos com pelo menos 17,5% de bagaço de cana-de-açúcar, além disso, a adição simultaneamente de esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar permite os melhores valores quanto a microbiota do solo.

Palavras-chave: recuperação, leguminosa, gramínea, esterco bovino, bagaço de cana-de-açúcar.

¹ Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Eliana Paula Fernandes. EA-UFG.
Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

PAULA, E. C. M. **Attributes of substratum with tailings from mining of bauxite cultivated with Pueraria (*Pueraria phaseoloides*) and Brachiaria (*Brachiaria decumbens*) in Barro Alto, Goiás.** 2010. 160 f. Dissertation (Master in Agronomia: Soil and Water) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.¹

The attributes of a substratum composed by tailings from mining of bauxite, cultivated with Pueraria (*Pueraria phaseoloides*) and brachiaria were studied for the flora recomposition in Barro Alto, Goiás. In order to reach that aim, the phytotechnical performance was assessed through the stalk height and diameter for legume and height and number of basal tillers for grass, besides green and dry phytomass for both species. The chemical attributes were also evaluated, through chemical analyses of the substratum at the beginning and at the end of the experiment as well as the physical and microbiological attributes. The experiments were conducted in vases in the city of Barro Alto, GO, from dezembro 2008 to june 2009. The delimitation used were random blocks, with four repetitions and composed by 17 treatments with different compositions of cattle manure (0% to 20,5%), sugar cane bagasse (0% to 40%) and clayey tailings (45% to 90%), and different doses of phosphorus for three living roofs (*B. decumbens*, *P. phaseoloides* e *B. decumbens* + *P. phaseoloides*). The treatment, which the grass and legume had a better phytotechnical performance are those that present manure concentrations above 10%. Concerning the chemical attributes, initially the treatment with at least 3,5% of manure, and 8,5% of bagasse with no phosphorous (T5), showed chemical properties suitable for plant growth, although there was a low content for organic matter. The substratum that had better physical characteristics, were those with at least 17,5% of sugar cane bagasse, besides that, the simultaneously addition of bovine manure and sugar cane bagasse allowed better values regarding soil microbes.

Key words: recovery, legume, grass, bovine manure, sugar cane bagasse.

¹ Adviser: Prof(a). Dr(a). Eliana Paula Fernandes. EA-UFG.
Co-adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o segundo maior produtor de bauxita do mundo, atrás apenas da Austrália. 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 & Minerale, 2008). Em Goiás, no município de Barro Alto, encontra-se uma jazida de bauxita extensa e peculiar pelo fato da bauxita aflorar na superfície. Essa reserva pertence à Mineradora Santo Expedito Ltda., Mineração Curimbaba e a CBA-Companhia Brasileira de Alumínio.

Uma das etapas que deve nortear o planejamento das atividades minerárias são os estudos ambientais antes dos distúrbios causados pela mineração. São eles que formam as bases para a determinação dos impactos e da própria recuperação através de metodologias técnicas e economicamente adequadas. O programa de reabilitação das áreas mineradas é um dos mais importantes do plano de gestão ambiental neste tipo de empreendimento, pois garante que boa parte dos impactos ambientais sejam reversíveis. Para tanto, a reabilitação ambiental não deve ser considerada um evento que ocorre em uma época determinada, mas sim um processo que se inicia antes da mineração e termina muito depois desta ter se completado.

A metodologia adotada é bastante complexa e deve considerar aspectos como recuperação física (solo e água), visual e de forma (paisagem), recuperação da biodiversidade (flora e fauna) e ainda deve ser particular para cada caso. Vários autores procuraram sistematizar as técnicas de recuperação de áreas degradadas (Jesus, 1992; Griffith et al., 1996), todavia os sistemas devem ser específicos para cada situação, contemplando, entre outros fatores, a localização, clima, topografia, estabilidade do terreno, solo, vegetação e a natureza do(s) agente(s) causador(es) da degradação. Portanto, o manejo do substrato remanescente à exploração e o modelo de revegetação são particulares para cada local e situação e por isso precisa-se conhecer o substrato remanescente e, através de dois ou mais componentes misturados, formar um produto final adequado ao desenvolvimento da vegetação, que auxiliará na recuperação dos impactos negativos nas condições físicas de solos afetados pela mineração. Logo, segundo Reis

(2006), para se restaurar uma região degradada é necessário conhecer a área e desenvolver estratégias adequadas para regenerá-la.

Os rejeitos remanescentes de áreas degradadas comumente apresentam características de retenção de água, fertilidade e atividade biológica inadequados ao crescimento vegetal (Ibama, 1990), sendo um desafio criar condições favoráveis ao crescimento de uma nova vegetação. Por isso, no processo de recuperação de áreas degradadas por mineração é necessário adotar medidas que transformem esse rejeito em um substrato o mais próximo do conceito de solo natural, com adequadas condições físicas e químicas para o crescimento da vegetação, atingindo o equilíbrio das características naturais do ambiente. Este processo de recomposição dá origem aos solos construídos, *minesoils*, os quais são formados por materiais e procedimentos antropogênicos, ou seja, determinados pela ação humana, adquirindo na condição ambiente ao longo do tempo uma evolução pedogênica (Kämpf et al., 2000).

Para que as áreas afetadas pela mineração sejam reabilitadas é necessário que o solo construído dê o mínimo de qualidade ambiental e física para que se desenvolvam plantas, pois o sucesso da recuperação também depende da vegetação, através da acumulação de biomassa e da ciclagem dos nutrientes contidos nesta (Silva, 1994), atuando como um componente ativo na formação do solo e exercendo efeitos químicos, físicos e biológicos que contribuem para o aumento dos níveis de nutrientes (Gonçalves, 2008).

A preparação dos substratos também é definida em função da disponibilidade dos materiais e das propriedades físicas desejadas, como baixa densidade aparente; alta porosidade; boa retenção de água e manutenção das propriedades anteriores ao longo do tempo. Em Barro Alto, devido à presença de usinas de cana-de-açúcar e de uma grande empresa de confinamento na região, o bagaço de cana e o esterco bovino são matérias-primas que podem fornecer boas características aos substratos, além da alta disponibilidade. A fertilização mineral e o uso de material orgânico também contribuem para a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do substrato proporcionando melhores condições potenciais do substrato para que as espécies possam exercer as funções de produção biológica, e possível resgate e manutenção da biodiversidade e qualidade do ambiente.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar atributos de substratos com rejeito de lavra de bauxita cultivados com Puerária (*Pueraria phaseoloides*) e Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em Barro Alto, Goiás para a recomposição florística.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS

As estimativas afirmam que a degradação de terras afeta adversamente a integridade ambiental e produtividade de dois bilhões de hectares ou 23% das áreas sob uso antrópico, sendo que 2/3 de toda a área de agricultura do planeta sofreu alguma forma (com maior ou menor intensidade) de degradação nos últimos cinquenta anos (Global Environment Facility, 2003).

Dados da Food and Agriculture Organization (FAO) indicam que anualmente são perdidos aproximadamente 24 bilhões de toneladas de solo por erosão, o que em termos de área, significam de sete a nove milhões de hectares de solos férteis sendo degradados todos os anos (Freitas et al., 2001).

Dentre os diversos fatores de degradação no mundo, Freitas et al. (2001) citam que o superpastejo é responsável por 34,5% das áreas degradadas, o desmatamento por 29,4%, as atividades agrícolas por 28,1%, a exploração intensa da vegetação para fins domésticos por 6,8% e as atividades industriais e bioindustriais (incluindo as atividades de mineração) por 1,2%.

No Brasil não existe uma estatística oficial da extensão das áreas degradadas, no entanto, todas as estimativas apontam para o desmatamento e para as atividades agrícolas e pecuárias, como os principais fatores do desmatamento e degradação de nossos solos (Griffith et al., 1996), sendo que, atualmente, tais fatores continuam sendo os principais.

O conceito de degradação tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais. O conceito tem variado segundo a atividade em que esses efeitos são gerados, bem como em função do campo do conhecimento humano em que são identificados e avaliados (Bitar, 1997).

De acordo com Magnanni (1990), degradada é alguma coisa que desceu de degrau ou de nível, estando, no caso de áreas naturais e ecossistemas, em sentido oposto da escala ecológica evolutiva natural, onde as áreas sobem por um processo sucessório que se direciona do mais simples para o mais complexo e do mais instável para o mais equilibrado.

Área degradada é uma denominação recente para as práticas utilizadas em recursos naturais. São consideradas áreas degradadas, extensões naturais que perderam a capacidade de recuperação natural após sofrerem distúrbios. A degradação é um processo induzido pelo homem ou por acidente natural que diminui a atual e futura capacidade produtiva do ecossistema, sendo difícil retornar a um uso econômico (Bitar, 1997).

Especialmente dedicado à mineração, o trabalho de Willians et al. (1990) admite o conceito relacionado aos aspectos biológicos, edafológicos e hídricos afetados pela atividade extrativista, considerando que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. Em seguida, estabelecem o conceito de degradação ambiental, que ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico.

No que se refere aos conceitos de recuperação, Bitar (1997) relata que para a Soil Conservation Society of América (SCSA), a recuperação pode ser conceituada como o processo de reconversão do recurso perturbado à sua condição anterior ou a outro uso ou, ainda, o termo significa o processo de reconversão de terras perturbadas aos usos iniciais ou a outros usos produtivos.

Para Ibama (1990), recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um “novo” solo e uma nova paisagem.

O mesmo trabalho cita o conceito de reabilitação como sendo o retorno da área a um estado biológico apropriado, onde este retorno pode significar o uso produtivo da área em longo prazo, tal como a implantação de uma atividade que rende lucros; ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando a recreação ou a valorização

estético ecológica. E restauração como o retorno ao estado original antes da degradação, situação que é quase impossível de ser conseguida.

Reis (2006) destaca que o mais importante dentro destas definições é perceber que as atividades de reabilitação, recuperação e restauração formam um contínuo no qual os resultados variam em relação ao grau de similaridade à condição existente antes da intervenção antrópica, indo do menos para o mais similar.

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO

A mineração pode ser considerada uma das atividades mais impactantes ao solo embora, em geral, não afete grandes extensões territoriais. A mineração de bauxita na Amazônia, por exemplo, caracteriza-se pela retirada da floresta, intensa movimentação das camadas superficiais e subsuperficiais 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 degradados (Reis, 2006).

A mineração a céu aberto causa destruição completa da área da jazida e das áreas usadas para depósito de estéril e bacias de rejeito. Esses impactos podem provocar alterações sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo, desequilibrando processos dinâmicos ambientais, os quais são sentidos por toda população, pois as terras alteradas estarão modificadas para sempre (Dias & Griffith, 1998).

O impacto ambiental causado pela mineração pode ser tanto intenso, devido a total retirada de material vegetal e da camada superficial do solo, quanto extenso, por abranger grandes áreas. Na identificação dos impactos ambientais deve-se levar em conta que quase todas as minerações baseiam-se em trabalhos que envolvem a movimentação de terras e escavações. Decorrentes destas atividades estão o desmatamento, a alteração da superfície topográfica da paisagem, a perda ou degradação das camadas superficiais do solo, a instabilização de encostas e terrenos em geral, as alterações dos corpos d' água e de níveis do lençol freático, a erosão e o assoreamento (Bitar, 1997).

Os impactos diretos do processo de mineração alteram características físicas, químicas e biológicas do ambiente. O resultado é um forte impacto visual, em função da morte das comunidades de espécies vegetais e animais, alteração no relevo pela modificação da topografia, desestruturação do solo, erosão, assoreamento do sistema de

drenagem, perda de matéria orgânica, maior incidência de raios solares e maiores amplitudes térmicas.

Silva (1988) descreve três fatores que aumentam a extensão dos impactos da mineração: o método de extração, o tamanho da operação a ser utilizada na lavra e a natureza do mineral e suas conseqüências, como o beneficiamento, por exemplo.

Dentre os impactos indiretos, incluem-se mudanças na ciclagem de nutrientes, biomassa total, diversidade de espécies, instabilidade do ecossistema, alteração no nível do lençol freático e na disponibilidade de água superficial (Zimmermann & Trebien, 2001). As alterações na topografia podem causar mudanças de direção de fluxos das águas de escoamento superficial, fazendo com que áreas que antes estavam em domínio da ação erosiva tornem-se áreas de domínio de deposição e vice-versa. Também pode ocorrer contaminação química do solo por vazamento e derramamento de óleos e graxas das máquinas que operam no local, ficando a utilização da área comprometida para as futuras gerações (Regensburger, 2004).

Gardner (2001) relata que a exploração mineral de bauxita acarreta a destruição de toda a vegetação, altera radicalmente as condições edáficas, a paisagem e perturba totalmente o ecossistema. Relata também que comumente podem ser verificadas condições muito favoráveis para a formação de camadas compactadas no solo (substrato) que depende de maior ou menor grau das características do substrato, principalmente em decorrência do intenso movimento de máquinas.

Logo, um aspecto fundamental na recuperação de áreas degradadas pela mineração é o conhecimento do solo ou do substrato onde essa recuperação será conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação dessas áreas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo ou substrato, que deverá, posteriormente, apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas (Franco, 2006).

2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO

A recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por profissionais de diferentes áreas, que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural (Moreira, 2004). Para a recuperação destas áreas faz-

se necessário o restabelecimento dos processos ecológicos vitais aos ecossistemas, como os fluxos de energia e matéria e a ciclagem de nutrientes (Reis, 2006).

2.3.1 Manejo do solo da área degradada

Na reconstrução de um ecossistema degradado, deve ser considerado a estrutura da comunidade, a composição das espécies e o restabelecimento de processos ecológicos através de um ativo programa de modificação do sítio aliado à introdução de espécies. Neste contexto, o manejo do solo teria sua importância na escolha do elenco das ações e intervenções efetuadas no substrato da área a ser recuperada assim como a identificação e posterior atenuação dos fatores responsáveis pela degradação ambiental objetivando sustentação da vegetação introduzida (Gonçalves, 2008).

Segundo Moreira (2004), as principais medidas de manejo de um solo degradado incluem fertilização, correção de acidez, adubação verde, adição de matéria orgânica, subsolagem e práticas de conservação do solo. Em trabalho de Moreira (2004), o qual visava avaliar a influência de um conjunto de práticas de manejo de solo, a superfície minerada mostrou acentuada redução da fertilidade. Na área minerada, os teores de P, S, K, Ca, Mg, B, Cu e Fe eram muito baixos e refletiam diretamente no menor valor da soma de bases e saturação por bases, diminuindo o potencial de fornecimento de nutrientes pelo solo. Contudo, após 12 meses da aplicação de corretivos e fertilizantes houve aumento significativo, notadamente dos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica do solo. A elevação da fertilidade do solo refletiu-se no aumento da saturação por bases e na elevação da capacidade de troca de cátions (CTC), esta principalmente, devido ao aumento dos teores de matéria orgânica. A melhora nas condições nutricionais levou ao estabelecimento da vegetação e uma recuperação ambiental efetiva da área.

Em Porto Trombetas, PA, o manejo do solo objetivando a restauração de áreas degradadas pela mineração de bauxita geralmente é efetuado com o uso de subsolador a intervalos de um metro em sulcos medindo 90 cm de profundidade para aumentar a aeração e facilitar a penetração das raízes. Por fim, planta-se espécie nativa da flora regional, e embora o crescimento seja lento (a maioria das espécies cresce cerca de 20 cm por ano), a sobrevivência é boa. Os principais impedimentos para a recuperação são os insetos (formigas cortadeiras, gafanhotos e lagartas) e as deficiências do solo em termos de nutrientes (Reis, 2006). Em estudos de Reis (2006), em área de exploração de bauxita no

Pará, o fósforo se mostrou como o nutriente mais limitante às plantas nativas, tanto em áreas de rejeito quanto de estéril da mineração, concluindo que este elemento demanda atenção especial na recuperação de áreas degradadas.

Segundo Salomão et al. (2007), também em Porto Trombetas, PA, a restauração da paisagem florestal em áreas lavradas pela Mineradora Rio do Norte apresenta bons resultados. O reflorestamento heterogêneo aliado à prática de incorporação de solo superficial nas áreas a serem restauradas tem se mostrado promissores. O solo superficial advindo do decapeamento contém além de altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, o banco de sementes florestal e a presença de microrganismos, sendo importante o seu retorno a área que será recuperada.

Costa et al. (1998), trabalhando em sítios degradados por exploração de bauxita na Floresta Amazônica, em Oriximiná, PA, verificaram que mesmo após dez anos do replantio o carbono orgânico foi menor do que os valores encontrados na floresta nativa intacta. Tal constatação mostra a dificuldade de se restabelecer os teores originais de matéria orgânica das áreas degradadas que antes existia numa floresta clímax, além da necessidade de um contínuo monitoramento do solo. Evidencia-se, desta forma, que as dosagens de nutrientes e matéria orgânica devem ser mais elevadas na implantação da revegetação para que as plantas estabeleçam mais rapidamente, assim como, a microbiota do solo na área degradada.

As propriedades dos solos construídos refletem as características dos materiais utilizados para composição do mesmo e do método de construção adotado. A correção posterior dos distúrbios pode ser difícil e onerosa, o que sugere que haja um considerável controle sobre as características do solo construído, obtido através de um adequado manejo e método de construção, com cuidadosa seleção dos materiais mais adequados para a construção e correta disposição destes nas áreas a serem recuperadas (Quinões et al., 2008).

Os objetivos da recuperação dos solos construídos prevêm basicamente o surgimento de sucessão vegetal, de modo que essa revegetação promova a inibição da ocorrência do processo erosivo nestas áreas, através da presença de indícios de reestruturação das propriedades físicas do solo, início de reciclagem de nutrientes, vegetação e organismos vivos (Bugin, 2002).

Para um bom estabelecimento das plantas, faz-se necessário à adequação de substratos, os quais devem apresentar propriedades físicas, químicas e biológicas

adequadas para o estabelecimento da planta. As propriedades físico-hídricas dos substratos são importantes no sentido de buscar condições ideais para o crescimento das plantas, destacando a importância da porosidade, da capacidade de retenção de água e da textura, além de outras como: ausência de microrganismos patogênicos, baixo custo, alta disponibilidade e adequado suprimento de nutrientes. Portanto, a qualidade do substrato depende, primordialmente, das proporções e dos materiais que compõem a mistura (Meletti & Teixeira, 2000).

A preparação dos substratos também é definida em função da disponibilidade dos materiais e das propriedades físicas desejadas, como elevada capacidade de retenção de água; elevado teor de água, mesmo a baixas tensões; distribuição de tamanho de partículas que permite as duas propriedades anteriores simultaneamente e baixa densidade aparente; alta porosidade; elevada condutividade hidráulica; e manutenção das propriedades anteriores ao longo do tempo (Rosa et al., 2001).

Assim, de acordo com Gonçalves (2008), se o solo construído for composto por materiais de alta qualidade e em uma inclinação estável, esses podem superar o potencial de alguns solos naturais. Em Barro Alto, GO, a inclinação do relevo é alta, portanto, além da qualidade dos materiais utilizados, devem-se ter maiores cuidados geotécnicos para sucesso da recuperação.

2.3.2 Revegetação da área degradada

A revegetação, segundo Bugin (2002), é a etapa do processo de recuperação da área em que são adotadas as medidas para a implantação de uma cobertura vegetal, visando não somente a recuperação paisagística, mas também o controle dos processos erosivos e recuperação das propriedades do solo.

Griffith et al. (1996) propõem que existem diversos usos potenciais para os quais as áreas degradadas podem ser destinadas, como cultivos/pastagens, reflorestamentos, áreas residenciais ou urbanas, parques e áreas de recreação, ou simplesmente permitir a sucessão vegetal natural. A definição do uso mais adequado, no entanto, deve levar em consideração aspectos inerente à própria área e deve ser previamente estabelecido na etapa de planejamento da atividade produtiva, geradora da degradação.

Gardner (2001) afirma que o uso da terra proposto, deve levar em conta a compatibilidade com os usos das terras circundantes, os desejos das populações locais, a proteção da biodiversidade e as exigências legais. Qualquer que seja o uso proposto, e caso seja a revegetação, esta deve ser produtiva e sustentável. De acordo com Reis (2006), se o propósito for restaurar a vegetação nativa, os níveis de produtividade devem ser suficientes para estabelecer e manter um ecossistema auto-sustentável e a restauração da diversidade de espécies deve ser um objetivo a ser perseguido.

O retorno do solo construído a uma condição próxima à do solo original, dependerá da sua reestruturação, a qual está baseada principalmente no restabelecimento do ciclo da matéria orgânica. Assim, deve-se buscar plantas de cobertura mais adaptadas às condições deste ecossistema, para que esse ciclo se estabeleça e se verifique o efeito destas plantas sobre os atributos do solo, minimizando os efeitos prejudiciais da erosão (Franco et al., 2006).

Solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares, que adicionam material orgânico de quantidade e composição variada (Wolhenberg et al., 2004). A escolha adequada das espécies vegetais que devem ser utilizadas é importante, pois a obtenção de um nível de equilíbrio e evolução da recuperação do local depende dos resultados do desenvolvimento dessa vegetação. Cintra & Mielniczuk (1983) observaram que o sistema radicular das plantas tem capacidade de se desenvolver diferenciadamente em solos compactados.

Conforme Silva & Mielniczuk (1997), as gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular, contribuem para a formação e estabilidade do solo, o que as torna potenciais plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas. No controle da erosão em solos construídos, as gramíneas são as espécies que melhor se adaptam, devido a sua alta capacidade de cobrir rapidamente o solo (Bugin, 2002). O tapete formado pela parte aérea e o sistema radicular fasciculado das gramíneas garante proteção de tal forma que a erosão se torna mínima e que haja um aumento no conteúdo de água no solo, pelo aumento da capacidade de retenção e redução da evaporação (Mesquita et al., 1992).

As leguminosas, também podem ser plantas adequadas para a cobertura do solo, sendo de fácil propagação (Mesquita et al., 1992), e importantes devido à possibilidade de fixação biológica de nitrogênio por simbiose com rizóbios.

Segundo Siqueira et al. (1995), a fixação biológica do nitrogênio destaca-se nas leguminosas herbáceas, que podem ser utilizadas em diversos sistemas de exploração agrícola. Por este motivo são empregadas em práticas como a adubação verde, consorciação, rotação de culturas, produção forrageira, e também para a manutenção da matéria orgânica do solo.

Sistemas que preconizam o uso de leguminosas podem ser mais sustentáveis, uma vez que se reduz a dependência de insumos produzidos à custa de combustíveis fósseis e aumenta o potencial de disponibilidade de nitrogênio às plantas. Segundo Wohlenberg et al. (2004), certas espécies, pela sua rusticidade, podem ser utilizadas em programas de revegetação e recuperação de áreas degradadas. Sendo assim, o consórcio destas espécies tem maior possibilidade de sucesso na reestruturação do solo, porque alia as leguminosas capazes de incorporar nitrogênio atmosférico ao sistema, com as gramíneas de alto potencial de produção de biomassa.

2.3.2.1 Benefícios da revegetação

Qualquer estudo que inclua a avaliação da qualidade ambiental de uma região ou a compreensão dos processos que conduziram a uma dada situação não pode deixar de considerar a cobertura vegetal (Oliveira & Balbuena, 2000), a qual pode reduzir parte dos prejuízos causados pelas operações de mineração a céu aberto.

Na maioria das vezes, o solo das áreas construídas possui características físico-químicas alteradas, apresentando níveis baixos de nutrientes, quando comparados às do solo original e o adequado desenvolvimento da vegetação pode auxiliar na correção desses fatores, por isso devem-se escolher espécies que tenham capacidade para crescer rapidamente, proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e restabelecer o regime hídrico (Kopezinski, 2000).

Os benefícios das coberturas vegetais não se limitam à diminuição do efeito visual da área degradada e erosão das chuvas. Durante a decomposição de restos de culturas pela ação das bactérias aeróbicas e especialmente de material celulósico, são produzidos ácidos poliurônicos que conferem estabilidade aos agregados do solo. O sistema radicular das plantas de cobertura também é um fator importante no controle da erosão e na agregação, pois pode atuar como agente rompedor de camadas compactadas na

superfície e em profundidade e como auxílio de agregação na rizosfera através da força exercida pelas raízes ao aumentarem seu diâmetro (Bertol et al., 2004).

A manutenção do solo coberto traz também outros benefícios, tais como: proteção contra a radiação solar, mantendo as temperaturas mais baixas, reduzindo, desta forma, a perda de água por evaporação, e mantendo conseqüentemente os teores de água elevados por períodos mais longos; maior controle de plantas daninhas; maior ciclagem de nutrientes além de beneficiar a atividade biológica (Gassen & Gassen, 1996).

A seleção cuidadosa de espécies vegetais e práticas de manejo, baseadas no entendimento da sucessão natural e dos processos de ciclagem de nutrientes para a plantação de florestas, são importantes instrumentos para a recuperação de solos tropicais degradados (Moreira, 2004).

A escolha ou criação de um modelo de revegetação é um processo em constante aprimoramento, que é alimentado não só pelos conhecimentos básicos sobre ecologia, demografia, genética, biogeografia, mas também pelas informações sobre o ambiente físico e biológico da região onde será implantado. A interação dos conhecimentos teóricos básicos, informações sobre a área e tecnologia disponível é que vai determinar qual o modelo mais adequado para cada situação (Moreira, 2004).

Assim, diante de vários métodos possíveis de serem utilizados para revegetação é necessário, para que se obtenham os benefícios, fazer uma análise cuidadosa das alternativas tecnológicas disponíveis e da provável eficácia que as medidas terão na correção ou estabilização da degradação. Além disso, a aplicação dos métodos de revegetação nestes ecossistemas deve visar à conservação dos recursos naturais de forma que estes não se esgotem e mantenham suas condições de reprodução da vida.

2.3.2.2 Método de revegetação tapete verde e expansão de ilhas de vegetação

Este método consiste na interação de duas abordagens executadas em duas fases, conforme Griffith et al. (1996). Na fase I ocorre implantação do tapete verde e é feito um coquetel de propágulos de leguminosas herbáceas e gramíneas. De acordo com Griffith et al. (1996), o tapete verde proporciona aos locais degradados uma oferta de condições biológicas favoráveis ao rápido estabelecimento da vegetação preparando o ambiente para receber os propágulos dos fragmentos florestais da região com possibilidades de germinação e crescimento. Na fase II ocorre a expansão de ilhas de

vegetação, que é introdução de espécies nativas da flora regional atrativas à fauna, agrupadas, formando assim ilhas de vegetação. Isto criaria um afluxo de dispersores (especialmente aves e morcegos) entre os fragmentos remanescentes e a área em recuperação ambiental. Esta manipulação da dinâmica sucessional para chegar a uma paisagem auto-sustentável contemplaria também fertilização química e acréscimo de matéria orgânica em alguns sítios no interior da área em recuperação.

A criação do tapete verde é via semeadura direta ou, mais recentemente, via hidrossemeadura, ambas utilizando coquetéis de gramíneas perenes exóticas e leguminosas. Esta estratégia visa à rápida cobertura do solo, a interrupção do processo erosivo, o desenvolvimento de sistemas radiculares profundos e o fornecimento de matéria orgânica ao solo. Estas características contribuem para melhorar as condições edáficas da área degradada, permitindo a instalação de espécies mais exigentes no local (Ribeiro et al., 2006).

Em Porto Trombetas, PA, segundo Dias et al. (2001), as pesquisas realizadas no período de 1994 a 1998 culminaram com o estabelecimento de uma metodologia na qual sementes de espécies leguminosas arbustivas são inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos e hidrossemeadas para formar o tapete verde. Nas áreas de tanques de rejeito, os quais apresentam elevada umidade no início do processo de recuperação, existe um processo natural de morte dos indivíduos à medida que ocorre a secagem do substrato. Desta maneira, o acesso aos tanques é facilitado, permitindo o início da segunda fase do processo de revegetação: o enriquecimento com espécies nativas da região, a fim de dar sequência ao processo sucessional e garantir a sustentabilidade do sistema.

O cultivo de leguminosas em áreas mineradas como tapete verde auxilia na implantação de espécies nativas. Uma opção mais barata e eficiente para recuperação de áreas degradadas é a preconizada por Faria et al. (2006), utilizando espécies leguminosas noduladas e micorrizadas, associadas à adubação com gesso, fosfato de rocha e, quando disponível, composto orgânico. Essas espécies quando também associadas a fungos micorrízicos, que propiciam melhor aproveitamento dos nutrientes do solo principalmente do fósforo e da água, conseguem se estabelecer em substratos com baixos teores de matéria orgânica. No que se refere ao efeito das leguminosas na melhoria da fertilidade dos solos, Costa et al. (2000) estudando a deposição de serrapilheira em área de subsolo exposto revegetado com leguminosas fixadoras de nitrogênio, concluíram que o plantio das

leguminosas demonstrou ser capaz de recuperar os ambientes degradados com adição de grandes quantidades de carbono e nitrogênio ao sistema e ativando os fluxos de nutrientes via deposição de serrapilheira.

A *Pueraria phaseoloides* é uma leguminosa perene, herbácea e de crescimento rasteiro. Atualmente ela é uma opção bastante valiosa para o melhoramento das pastagens, pois, segundo Costa et al. (2004), possui alto valor nutritivo, maior resistência à seca e capacidade de incorporar expressivas quantidades de nitrogênio ao solo ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Logo, essas características também estão associadas ao seu bom uso para recuperação do solo. É uma espécie que se desenvolve bem em pH entre 4 a 5, adaptando-se a uma grande variedade de solos. No entanto, o crescimento pode ser incrementado pela elevação do pH através da calagem. Em solos com baixa disponibilidade de fósforo, responde bem à adubação fosfatada (Costa et al., 2004). Sendo, portanto, uma espécie rústica e pouco exigente, o que é interessante no aspecto de recuperação de áreas degradadas.

Neste método também se utilizam gramíneas, como *Brachiaria* sp., pois possuem crescimento rápido, boa produção de fitomassa e contribuem significativamente com a ciclagem de nutrientes. Davide (1994), citado por Diniz (2008), relata que o capim gordura *Melinis minutiflora* também é uma espécie que possui grande capacidade de colonizar solos degradados, cobrindo-os e incorporando grande quantidade de matéria orgânica no solo.

A *Brachiaria decumbens* Stapf. é originária da África, planta perene, ereta ou decumbente. É uma espécie pouco tolerante ao frio e cresce bem em diversos tipos de solo, porém, requer boa drenagem e condições de média fertilidade, vegetando bem em terrenos arenosos e argilosos (Vilela, 1998). Além disso, o mesmo autor afirma que apesar de poder ser cultivada tanto em solos argilosos como em arenosos, *B. decumbens* apresenta queda de produtividade quando cultivada em solo de baixa fertilidade, sendo importante a adubação do solo bem como a consorciação com leguminosas. A *B. decumbens* é bastante difundida nas regiões brasileiras e apresenta boa adaptação principalmente nas áreas de Cerrado, as quais se caracterizam pela relativa acidez e baixa fertilidade dos solos (Santos & Monteiro, 1999).

As braquiárias têm se mostrado como plantas de elevado potencial de produção de matéria seca (MS). A quantidade de forragem produzida pode variar muito, pois depende das condições de solo, de clima e do manejo da espécie utilizada. Segundo

Goedert & Lopes (1987) a *B. decumbens* pode alcançar uma produtividade anual entre 5 t ha⁻¹ a 12 t ha⁻¹ de matéria seca.

Ainda por utilizar espécies arbóreas nativas, este método visa, além da recuperação da produção primária líquida (biomassa), o aumento do incremento da biodiversidade nas áreas a serem recuperadas, o que é muito importante para que a sucessão natural ecológica dê continuidade ao processo de recuperação da área.

2.4 REFERÊNCIAS

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia: Engenharia Mineral)-Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BUGIN, A. Introdução à recuperação de áreas degradadas. In: TEIXEIRA, E. C., PIRES, M. J. R. (Coord). **Meio ambiente e carvão** - impactos da exploração e utilização. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/FEPAM, 2002. p. 93-98.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 2, p.197-201, 1983.

COSTA, E. S.; LUISÃO, R. C.; LUIZÃO, F. J. Soil microbial biomass and organic carbon in reforested sites degraded by bauxite mining in the Amazon. In: BLUME, H. P.; EGER, E.; FLEISCHHAUER, A.; HEBEL, A.; REIJ, C.; STEINER, K. G. (Ed.) **Advances in geocology**. Reiskirchen: ISSS, 1998. p. 443-450.

COSTA, G. S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. Reabilitação do fluxo de nutrientes, pela deposição da serrapilheira de leguminosas arbóreas em uma área de com subsolos exposto em recuperação, em analogia a uma capoeira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., Blumenau. **Anais...** Blumenau: Fundação Universidade Regional de Blumenau, 2000. 1 CD-ROM.

COSTA, N. L.; RODRIGUES, A. N. A.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; OLIVEIRA, J. R. da C. **Calagem e adubação para pastagens de *Pueraria phaseoloides* em Rondônia**. Recomendações Técnicas 86, Porto Velho: Embrapa Rondônia, fev. 2004. 3 p.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; CASTILHO, A.; HENRIQUES, J. C. **Revegetação de tanques de depósito de rejeito da lavagem de**

bauxita extraída em Porto Trombetas-PA. 2001. 4 p. Disponível em: <<http://www.cemacufla.com.br/trabalhospdf/trabalhos%20voluntarios/protoc%2036.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2009.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Solos/Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 1-7.

DINIZ, A. R. **Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas: potencial de seqüestro de carbono.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 17 p. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Anderson.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2009.

FARIA, S. M.; LIMA, H. C.; RIBEIRO, R. D.; CASTILHO, A. F.; HENRIQUES, J. C. **Nodulação em espécies leguminosas da região de Porto Trombetas, Oriximiná, Estado do Pará e seu potencial uso no reflorestamento de bacias de rejeito lavado de bauxita.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 24 p. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/download/doc209.pdf>>. Acesso em: 4 mai. 2009.

FRANCO, A. P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota, RS.** 2006, 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

FREITAS, P. L.; MANZATTO, C. V.; COUTINHO, H. L. C. A crise de energia e a degradação dos recursos naturais: solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 7-9, 2001.

GARDNER, J. Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental. **Unasyuva**, Roma, v. 52, n. 207, p. 3-8, 2001.

GASSEN, D. N., GASSEN, F. R. **Plantio direto, o caminho do futuro.** Passo Fundo: Aldeia Sul Editora, 1996. 207 p.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. **Operational program on sustainable land management.** 2003. 14 p. Disponível em: <http://gefweb.org/Operational_Policies/Operational_Programs/OP_15_English.pdf> Acesso em: 2 jan. 2009.

GOEDERT, W. J.; LOPES, A. S. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. In: SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Fosfato, 1987. p. 24-49.

GONÇALVES, F. C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos.** 2008.

91 f. Dissertação (Mestrado em Solos)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Recuperação de áreas degradadas usando vegetação nativa. **Saneamento Ambiental**, São Paulo, v. 7, n. 37, p. 28- 37, 1996.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

JESUS, R. M. Recuperação de áreas degradadas. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, p. 350-362, 1992.

KÄMPF, N., SCHNEIDER, P., BOHNEN, H. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera do Baixo Jacuí. In: CENTRO DE ECOLOGIA. (Org.). **Carvão e meio Ambiente**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 596-640.

KOPEZINSKI, I. **Mineração e meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, 103 p.

MAGNANINI, A. Recuperação de área degradadas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 3, p. 25-40, 1990.

MELETTI, L. M. M.; TEIXEIRA, L. A. J. Propagação de Plantas. In: MELETTI, L. M. M. **Propagação de frutíferas tropicais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 13-49.

MESQUITA, B. A.; PORTO, M. P.; ALVES, F. A. R. Cobertura vegetal x erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 57-61, 1992.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)-Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2004.

OLIVEIRA, P. L.; BALBUENO, R. A. Cobertura vegetal na região carbonífera do Baixo Rio Jacuí. In: CENTRO DE ECOLOGIA. (Org.). **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 77-107.

QUINÕES, O. R. G.; INDA JÚNIOR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A.; DICK, D. P. Características de solos construídos após mineração de carvão relacionadas ao processo e construção e à composição do material utilizado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1564-1571, set. 2008.

REIS, L. L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo)-Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

REGENSBURGER, B. **Estímulo à sucessão secundária para a recuperação de uma área degradada pela mineração de argila, Campo Formoso/Doutor Pedrinho-SC.** Blumenau: Universidade Regional de Blumenau. 2004. 54 p. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0094.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2009.

REVISTA MINÉRIOS & MINERALES. **Da bauxita ao alumínio.** Edição 306, terça-feira - 05-08-2008. Disponível em: <http://www.minerios.com.br/index.php?id_materia=811> Acesso em: 26 jan. 2009

RIBEIRO, A. I.; LONGO, R. M.; TEIXEIRA FILHO, A.; WANDERLEY, J. M. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1 p. 83-89, 2006.

ROSA, M. F.; BEZERRA, F. C.; NOROES, E. R. V.; ARAUJO, F. B. S. Utilização do pó de coco verde na germinação de alface hidropônico. **Revista Brasileira de Horticultura**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 294-300, 2001.

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. Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 2, p. 85-139, 2007.

SANTOS, A. R. dos; MONTEIRO, F. A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agrícola [online]**, v. 56, n. 3, p. 689-692, 1999.

SILVA, G. P. **Caracterização química, física e mineralógica de materiais provenientes da mineração de ferro e comportamento de plantas para sua revegetação.** 1994. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

SILVA, H. V. Proposta par avaliar o impacto ambiental: primeira tentativa. **Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 15-21, 1988.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1 p. 113-117, 1997.

SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; VALE, F. R.; FERREIRA, M. M.; MOREIRA, F. M. S. **Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares.** Belo Horizonte: Cemig, 1995. 28 p.

VILELA, H. **Formação e adubação de pastagens.** Viçosa: Aprenda Fácil, 1998. 110 p.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, 2004.

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

ZIMMERMANN, D. G.; TREBIEN, D. O. P. Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 7, n. 1, p. 61-103, 2001.