

POTENCIALIDADE DE PLANTAS PARA REVEGETAÇÃO DE ESTÉREIS E REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA, MARIANA-MG¹

Gilson Pereira Silva², Maurício Paulo Ferreira Fontes³,
Liovando Marciano da Costa³ e Victor Hugo Alvarez Venegas³

ABSTRACT

PLANT SPECIES FOR REVEGETATION OF OVERBURDEN ROCK AND IRON MINE SPOIL OF THE ALEGRIA IRON MINE, MARIANA, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

An experiment was conducted to verify the potentiality of some plant species to revegetate areas under the influence of iron mining. Field conditions were simulated laying mining overburden (soil, phyllite and rock) over the mine spoil to cultivate the plants. Four plant species and two irrigation frequencies were tested for pile covering and plant tops dry matter production. Plants showed larger dry matter production when substrate was either soil or mixtures in which soil was one of the components. Among the plants utilized, *Brachiaria brizantha* and *Melinis minutiflora* produced the larger amounts of dry matter as compared to *Cajanus cajan* and *Panicum maximum*. The frequency of irrigation markedly affected plant growth and development. *P. maximum* was the species with the least decrease in dry matter production with the reduction of irrigation frequency.

KEY WORDS: iron mining revegetation, irrigation, grasses, legumes.

INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas degradadas pela mineração exige a adoção de técnicas específicas, de acordo com a região e o tipo de minério explorado, não existindo, deste modo, um modelo definitivo para a recuperação dessas áreas. Na maioria dos casos, a intervenção do homem é de grande importância para que a recuperação seja realizada de maneira satisfatória (Coppin & Bradshaw 1982). Nessas

RESUMO

Foi conduzido, em casa de vegetação, um experimento para verificar a potencialidade de diversas plantas para a revegetação de áreas de mineração de ferro. Nesse sentido, procurou-se simular a condição de campo colocando-se camadas de estéreis da mina (solo, filito e rocha) sobre o rejeito da mineração para o cultivo das diversas plantas utilizadas. Testaram-se quatro espécies vegetais para recobrimento da pilha, duas frequências de irrigação e avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea das plantas. As plantas apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea quando o substrato foi solo ou misturas nas quais o solo aparecia como componente. Dentre as plantas utilizadas, *Brachiaria brizantha* (brizantão) e *Melinis minutiflora* (capim-gordura) produziram maior quantidade de matéria seca da parte aérea do que *Cajanus cajan* (guandu) e *Panicum maximum* (capim-vencedor). A frequência de irrigação afetou, de modo acentuado, o desenvolvimento das plantas, sendo o capim-vencedor a espécie que teve menor variação de produção de matéria seca da parte aérea, sob redução na frequência de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: revegetação de áreas mineradas, irrigação, gramíneas, leguminosas.

áreas, a volta às condições anteriores de crescimento das plantas de maneira natural é, muitas vezes, lenta.

O planejamento da recuperação requer adequado conhecimento dos componentes do ecossistema e do seu comportamento. Um substrato a ser vegetado pode estar no processo inicial de intemperismo e começar a liberar nutrientes, abrindo, assim, espaço a uma primeira colonização por plantas pioneiras. E estas contribuem com matéria orgânica para a "formação do solo", ciclam nutrientes e

1. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa.

Trabalho recebido em jan./2005 e aceito para publicação em set./2006 (registro nº 618).

2. Fesurv – Universidade de Rio Verde, Caixa Postal 104, CEP 75901-970, Rio Verde, GO. E-mail: gilson@fesurv.br

3. Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: mpfontes@ufv.br

preparam o meio para sustentar espécies mais exigentes, que, por sua vez, serão substituídas por outras mais especializadas na sucessão (Fyles *et al.* 1985).

Pode-se dizer que, na maioria dos casos de recuperação de áreas degradadas, é necessário buscar o restabelecimento da cobertura vegetal, de forma que se estabeleça um ecossistema capaz de manter-se estável. As causas do baixo desenvolvimento da vegetação podem ser divididas em três categorias: *i*) baixa entrada ou retenção de propágulos; *ii*) limitações climáticas e edáficas no estabelecimento e sobrevivência de propágulos; e *iii*) controle biótico, incluindo distúrbios diversos, como ataque de invertebrados e competição exercidos por outras plantas (Davis *et al.* 1985).

Dentre as limitações edáficas, podem ser citadas a acidez do substrato – que pode ter efeito direto ou indireto sobre o metabolismo das plantas – a carência de macro e micronutrientes, a compactação excessiva, a declividade e a baixa permeabilidade do terreno (Brown 1971, citado por Poggiani & Monteiro 1990), a textura, a percentagem de saturação de alumínio e a disponibilidade de água (Salazar Lorenzo 1991). Algumas vezes, a presença de elementos em concentrações tóxicas, resultantes da exploração do minério, torna difícil o processo de revegetação (Haas & Macak III 1985).

A maioria das áreas degradadas pela mineração apresenta materiais a serem utilizados como substrato com características de retenção de água, de fertilidade e de atividade biológica impróprias ao rápido crescimento vegetal, ou mesmo ao estabelecimento de qualquer tipo de vegetação. Por isso, espécies de gramíneas e leguminosas, caso consigam se estabelecer, devem ser utilizadas na fase inicial de estabilização desses substratos (Schoenholtz *et al.* 1987, Einloft *et al.* 1999).

As gramíneas destacam-se pela rapidez de crescimento, cobrindo rapidamente a superfície do material, o que diminui o tempo de exposição à chuva e ao sol. As gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Melinis* vêm sendo utilizadas, com relativo sucesso, na recuperação de áreas degradadas pela mineração (Almeida 2002).

As espécies de leguminosas, por possuírem capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio, nutriente importante e pouco disponível em áreas degradadas pela mineração, adicionam esse elemento ao sistema, tornando-o disponível às demais espécies vegetais (Franco *et al.* 1996).

Assim, os objetivos deste trabalho foram testar a potencialidade de quatro espécies de plantas para revegetação de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria (Mariana-MG), e verificar o efeito de duas freqüências de irrigação dos substratos na produção de matéria seca da parte aérea das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, de janeiro a março, buscando avaliar os efeitos do substrato e da freqüência de irrigação nas gramíneas: brizantão (*Brachiaria brizantha*), capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e capim-vencedor (*Panicum maximum*), bem como na leguminosa guandu (*Cajanus cajan*). Procurou-se simular a situação que ocorre em revegetação de pilhas de rejeito da mineração de ferro.

Os recipientes usados consistiram de um tubo de PVC com diâmetro de 15 cm e altura de 20 cm, vedado no fundo com espuma fenólica (Figura 1). No recipiente, até a altura de 12 cm, foi colocado o rejeito da mineração; de 12 cm até 18 cm, foram colocados os estéreis da mina (filito, solo e rocha) e misturas (1:1 em volume) desses estéreis (filito + rocha; solo + rocha e solo + filito); e, de 18 até 20 cm, foi deixado um espaço vazio para facilitar o processo de irrigação. A proporção 1:1 representou uma primeira escolha, baseando-se na hipótese de igual efeito dos dois componentes.

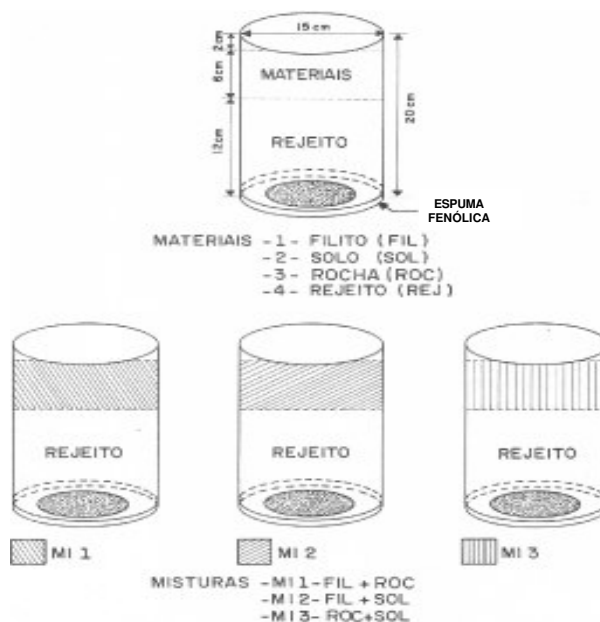


Figura 1. Esquema dos recipientes utilizados no experimento, em casa de vegetação.

Após a caracterização química e física dos materiais (Tabela 1), foi feita a correção dos substratos. Em sacolas plásticas, calcário + gesso foram misturados aos materiais e às misturas e postos para incubação por duas semanas, com umidade em torno de 50% da capacidade de campo. A calagem e a gessagem dos materiais foram feitas de acordo com a análise química de cada material, usando-se o critério da neutralização do alumínio trocável e da elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (CFSEMG 1989). Para a calagem utilizou-se a mistura de $CaCO_3$ e $MgCO_3$ e, para gessagem, a mistura de $CaSO_4$ e $MgSO_4$, em ambos os casos na relação cálcio: magnésio de 4:1, em equivalentes. Os diversos materiais possuem pH próximo de 5,5 ou superior; as exceções são o solo e a mistura filito + solo. Em razão disso, optou-se por utilizar, além de carbonato, o sulfato, que fornece enxofre e evita a elevação excessiva do pH dos materiais.

Após a incubação, foi efetuada a adubação potássica, fosfatada e nitrogenada, sendo, então, os materiais e as misturas acondicionados na parte superior do vaso, que já continha o rejeito sem correção. A adubação potássica foi feita para elevar o teor do nutriente a 100 mg dm^{-3} ; a fosfatada para se chegar a 300 mg dm^{-3} de P; e a nitrogenada a 150 mg dm^{-3} de N. Adubou-se, também, com $0,81 \text{ mg dm}^{-3}$ de B; $1,33 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu; $4,00 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn; e $0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mo (Alvarez Venegas 1974). O nitrogênio foi parcelado em oito, os micronutrientes em cinco e o potássio em duas aplicações, durante a condução do experimento. O parcelamento, aparentemente excessivo, justifica-se pelas características dos substratos e a necessidade de controle dos nutrientes fornecidos.

Tabela 1. Caracterização química e física dos substratos provenientes da Mina de Alegria, Mariana (MG)

Atributos	Substratos ¹						
	ROC	FIL	REJ	SOL	M11	M12	M13
pH (H ₂ O)	5,40	5,90	7,50	4,40	5,20	4,70	4,60
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	nd	nd	0,14	0,69	nd	0,55	0,54
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	nd	nd	nd	0,38	0,14	0,25	0,25
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,23	0,13	nd	1,09	0,50	0,29	0,45
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,71	0,39	nd	10,30	0,01	3,95	3,88
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,02	0,01	nd	0,20	0,01	0,13	0,13
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,03	0,01	0,05	0,20	0,01	0,12	0,12
P (mg dm ⁻³)	4,00	nd	3,00	3,40	2,50	4,00	3,00
CO (g kg ⁻¹)	nd	0,40	1,60	39,8	-	-	-
Argila (g kg ⁻¹)	136	126	21	95	-	-	-
Silte (g kg ⁻¹)	195	552	122	232	-	-	-
Areia grossa (g kg ⁻¹)	418	125	54	372	-	-	-
Areia fina (g kg ⁻¹)	179	131	729	223	-	-	-
Ds (g cm ⁻³)	1,67	1,10	2,00	1,56	-	-	-
Microporosidade (%)	18,8	42,3	38,5	30,0	-	-	-
Macroporosidade (%)	36,5	13,7	7,8	23,0	-	-	-

¹- ROC: rocha, FIL: filito, REJ: rejeito, SOL: solo, M11: filito+rocha, M12: solo+rocha e M13: solo+ filito e nd: não detectado.

Logo após a adubação, foi efetuado o plantio, utilizando-se quarenta sementes por recipiente. Uma semana após a emergência das plantas foi feito o primeiro desbaste, deixando-se dez plantas por vaso; após mais uma semana foi realizado o desbaste final, deixando-se, em cada vaso, cinco plantas até a coleta do experimento. Foram utilizadas duas frequências de irrigação: uma vez ao dia – na parte da manhã; e três vezes ao dia – pela manhã, ao meio-dia e à tarde.

Na coleta, a parte aérea das plantas foi cortada 2,0 cm acima do nível do substrato, sessenta dias após o plantio. Em seguida, a parte aérea das plantas foi seca em estufa com ventilação forçada, a 70°C por 72 horas, e, em momento seguinte, pesada.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 56 tratamentos e três repetições, em que os tratamentos constituíram um fatorial 7x4x2 (quatro substratos e três misturas, quatro espécies vegetais e duas frequências de irrigação). Os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais (Tabelas 2 e 3), para os efeitos de substrato e de espécies dentro de substratos, respectivamente. Também, testou-se o efeito da frequência de irrigação dentro de substratos e dentro de espécies.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na comparação entre os substratos, observou-se maior produção de matéria seca da parte aérea das plantas no substrato solo, mesmo quando este foi

Tabela 2. Coeficientes de contrastes ortogonais para decomposição dos graus de liberdade dos materiais estudados

Contrastes	Materiais ¹						
	ROC	FIL	REJ	SOL	M11	M12	M13
ROC vs SOL	-1	0	0	+1	0	0	0
SOL vs FIL	0	-1	0	+1	0	0	0
SOL vs REJ	0	0	-1	+1	0	0	0
REJ vs ROC	-1	0	+1	0	0	0	0
REJ vs FIL	0	-1	+1	0	0	0	0
M11 vs M12+M13	0	0	0	0	+2	-1	-1

¹- ROC: rocha, FIL: filito, REJ: rejeito, SOL: solo, M11: filito+rocha, M12: solo+rocha, e M13: solo+filito.

Tabela 3. Coeficientes de contrastes ortogonais para decomposição dos graus de liberdade de espécies dentro de cada material.

Contrastes	Espécies			
	Guandu	Brizantão	Gordura	Vencedor
LE vs GR ⁽¹⁾	+3	-1	-1	-1
BR vs GO + VE	0	+2	-1	-1
GO vs VE	0	0	+1	-1

¹- LE: Leguminosa, GR: gramíneas, BR: brizantão, GO: gordura, e VE: vencedor.

utilizado em mistura com outros substratos (Tabelas 4 e 5). Comparando-se as produções de matéria seca da parte aérea, verifica-se uma menor variação (34,2%) entre os substratos solo e filito, com a produção das plantas crescidas em solo suplantando à daquelas crescidas em filito. A maior variação (80,2%) ocorreu entre solo e rocha e, novamente, as plantas crescidas no solo apresentaram maior produção.

Essas diferenças devem estar relacionadas às características de cada substrato. O solo apresenta características que beneficiam o crescimento das plantas, tais como menor densidade (densidade global) em relação aos demais substratos – à exceção do filito, com maior teor de matéria orgânica e, principalmente, maior capacidade de troca catiônica que a dos demais substratos (Tabela 1). A maior CTC permite maior retenção dos nutrientes, elevando sua disponibilidade para as plantas, o que teria ocasionado maior produção. Quando a CTC é muito pequena, as perdas de nutrientes por lixiviação tendem a ser maiores, pois é pequeno o número de cargas para que os nutrientes nela permaneçam adsorvidos, mas disponíveis para as plantas (Coppin & Bradshaw 1982), o que não ocorre naqueles substratos de maior CTC e maior teor de matéria orgânica. A matéria orgânica contribui para aumentar a CTC do solo, principalmente nos solos da região tropical, onde a CTC pH dependente assume grande importância (Fassbender & Bornemisza 1987).

Comparando-se a produção de matéria seca da parte aérea das plantas crescidas no rejeito com a daquelas crescidas nos demais substratos (Tabela 4), observa-se diferenças significativas entre o rejeito e o filito (Tabela 5). Apesar do rejeito, para as espécies gordura e brizantão, ter propiciado maior produção de matéria seca que o filito, na média geral de todas as espécies a produção no rejeito foi menor. Além de baixa CTC e baixo teor de matéria orgânica, o rejeito apresentou alta densidade do solo, que, associada à baixa macroporosidade, fez com que o crescimento do sistema radicular das plantas fosse grandemente afetado (observação visual no desmonte dos vasos).

Quando se comparam as plantas crescidas nas misturas que contêm solo com aquelas crescidas na mistura que não contém solo, as primeiras apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea (Tabelas 4 e 5). Este fato está relacionado com as melhores características químicas e físicas do solo (Tabela 1), principalmente maior teor de matéria orgânica, que deve propiciar melhoria destas características (Leite *et al.* 1994).

Tabela 4. Produção de matéria seca (g vaso⁻¹) da parte aérea das espécies vegetais utilizados no experimento, nos diferentes substratos e frequência de irrigação.

Frequências de irrigação/dia	Substrato ¹						
	ROC	FIL	REJ	SOL	MI1	MI2	MI3
----- Gordura -----							
3	4,85	8,44	7,18	11,54	6,64	10,85	9,97
1	2,85	5,23	6,85	7,02	4,36	5,26	6,81
Média	3,85	6,84	7,02	9,28	5,50	8,06	8,39
----- Brizantão -----							
3	6,71	6,32	7,85	11,44	6,48	6,76	8,14
1	5,05	5,57	5,88	5,90	5,02	4,92	5,81
Média	5,88	5,95	6,87	8,67	5,75	5,84	6,98
----- Vencedor -----							
3	3,10	3,76	1,79	7,67	3,30	5,13	6,59
1	2,36	3,75	0,96	6,88	2,68	4,63	6,43
Média	2,73	3,76	1,38	7,28	2,99	4,88	6,51
----- Guandu -----							
3	5,69	8,45	4,66	7,67	7,93	6,75	8,46
1	4,00	5,01	3,24	4,28	5,00	3,99	3,57
Média	4,85	6,73	3,95	5,98	6,47	5,37	6,02

¹- FIL: filito, ROC: rocha, REJ: rejeito, SOL: solo, MI1: filito+rocha, MI2: solo+rocha, e MI3: solo + filito.

Tabela 5. Análise de variância da produção de matéria seca da parte aérea das plantas dos contrastes entre os substratos utilizados.

FV	GL	Q M
Contrastes ¹		
SOL vs ROC	1	144,73**
SOL vs FIL	1	47,34**
SOL vs REJ	1	107,82**
REJ vs ROC	1	2,71
REJ vs FIL	1	12,27**
MI1 vs MI2 + MI3	1	28,19**
Erro	110	1,49
CV (%)	-	20,84

** - Valores significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

¹- ROC: rocha, FIL: filito, REJ: rejeito, SOL: solo, MI1: filito+rocha, MI2: solo+rocha, e MI3: solo+ filito.

As plantas que cresceram em misturas em que o solo estava presente apresentaram, em valores absolutos, produção inferior apenas às com solo usado isoladamente. Mas as diferenças, em favor do solo, não foram elevadas, ou seja, a menor foi de 11,9% em relação à mistura solo + filito e a maior, de 29,2% em relação à mistura solo + rocha. A menor diferença encontrada na produção das plantas que cresceram na mistura solo + filito (Tabela 4) deve estar relacionada com a maior capacidade de retenção de água apresentada pelo filito (Tabela 1).

Ao se fazer comparação entre o filito e a mistura solo + filito, nota-se ganho médio de 19,8% na produção das plantas crescidas na mistura, podendo ser satisfatório o uso desta mistura em relação ao filito isoladamente, em razão do ganho na produção. Mas, de acordo com observação visual durante a condução do experimento, o filito pode apresentar,

quando sob irrigação, problemas de encrostamento superficial, o que pode diminuir a infiltração da água.

Levando-se em conta que a quantidade de solo na maioria das áreas a serem revegetadas é escassa, o filito em mistura com o solo poderá vir a ser usado como alternativa para a revegetação das pilhas de rejeito. Contudo, aconselha-se utilizar uma proporção solo/filito maior do que a utilizada neste experimento (1:1), para minimizar os problemas de infiltração de água no substrato.

A produção de matéria seca da parte aérea das plantas variou com a espécie, em cada tipo de substrato (Tabelas 4 e 6). Quando se comparam as produções de gramíneas com a leguminosa, houve diferenças significativas nos substratos filito, rejeito e solo e nas misturas rocha + filito e solo + filito (Tabela 6). A produção das gramíneas foi superior à produção da leguminosa apenas nos substratos em que o solo foi um dos componentes. Nos demais substratos, mesmo na rocha, a produção da leguminosa foi sempre superior. Tais resultados parecem ser devido à maior exigência das gramíneas testadas (Cantarutti *et al.* 1999) ou à capacidade apresentada pela leguminosa de fixação simbiótica do nitrogênio (com nodulação viável). Isto, segundo Marrs *et al.* (1980), é de fundamental importância no processo de revegetação. Deve-se salientar, porém, que nos casos em que a produção das gramíneas é inferior, o capim-vencedor apresenta produções de matéria seca muito baixas (Tabela 4). As menores variações (16,6%) ocorreram no substrato rocha, o que deve estar relacionado com a baixa capacidade deste substrato em reter água, conforme indicam os valores de macro e microporosidade (Tabela 1). Isso deve ter igualado o desenvolvimento das espécies, independentemente de serem gramíneas ou leguminosa.

Na comparação do brizantão com as demais gramíneas, ocorre variação significativa nos substratos rocha e rejeito e na mistura filito + rocha (Tabela 6). As gramíneas do gênero *Brachiaria* estão sendo muito utilizadas na revegetação de áreas degradadas pela mineração, em razão de sua elevada capacidade de competição com outras espécies em solos ácidos e de baixa fertilidade (Rocha 1986), ou mesmo tendo maior crescimento em condições de experimentos em casa de vegetação (Silva *et al.* 1995a).

Observando a produção de matéria seca do capim-gordura e do brizantão (Tabela 4), nota-se que, nos diversos substratos, a produção dessas gramíneas praticamente se iguala, com as maiores diferenças

ocorrendo no substrato rocha (52,5%), onde a produção do brizantão suplanta a do capim-gordura, e na mistura rocha+solo (37,9%), em que a produção do capim-gordura suplanta a do brizantão.

O capim-gordura obteve produção de matéria seca da parte aérea maior que a do capim-vencedor, com diferença significativa em todos os substratos (Tabela 5), à exceção do substrato rocha, onde não houve diferença significativa. Mesmo neste substrato, a produção de matéria seca da parte aérea do capim-gordura é superior à do capim-vencedor (Quadro 4).

Numa comparação geral, somando-se a produção das espécies nos diversos substratos e nas diferentes frequências de irrigação, o capim-gordura apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea, seguido de perto pelo brizantão, com uma diferença de 6,5%; logo após o brizantão, ficou o guandu, com uma diferença de 24,3% em relação ao capim-gordura; em último lugar, com a menor produção de matéria seca da parte aérea, esteve o capim-vencedor, com uma diferença de 65,8% em relação ao capim-gordura. Esses resultados indicam que as espécies *M. minutiflora* e *B. brizantha*, que já vêm sendo utilizadas na revegetação de áreas mineradas, foram as mais adequadas à revegetação dos substratos testados. Silva *et al.* (1995b) relatam resultados semelhantes.

Tabela 6. Análise de variância dos contrastes entre espécies, dentro de substratos, para a produção de matéria seca da parte aérea das plantas.

FV ¹	GL	QM
LE vs GR d/ ROC	1	2,16
BR vs GO + VE d/ ROC	1	26,76**
GO vs VE d/ ROC	1	3,79
LE vs GR d/ FIL	1	6,72*
BR vs GO + VE d/ FIL	1	1,69
GO vs VE d/ FIL	1	28,46**
LE vs GR d/ REJ	1	5,77*
BR vs GO + VE d/ REJ	1	28,50**
GO vs VE d/ REJ	1	95,37**
LE vs GR d/ SOL	1	26,65**
BR vs GO + VE d/ SOL	1	0,63
GO vs VE d/ SOL	1	12,02**
LE vs GR d/ M11	1	13,25**
BR vs GO + VE d/ M11	1	9,11*
GO vs VE d/ M11	1	18,88**
LE vs GR d/ M12	1	3,52
BR vs GO + VE d/ M12	1	1,56
GO vs VE d/ M12	1	30,24**
LE vs GR d/ M13	1	7,33*
BR vs GO + VE d/ M13	1	0,91
GO vs VE + VE d/ M13	1	10,57**
Erro	110	1,49
CV (%)	-	20,84

* e ** - Valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

¹ SOL: solo, ROC: rocha, FIL: filito, REJ: rejeito, M11: filito+rocha, M12: solo+rocha, M13: solo+filito, LE: leguminosa, GR: gramínea, GO: capim-gordura, BR: brizantão, e VE: capim-vencedor.

Independentemente da espécie e do substrato, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas decresceu com a redução da frequência de irrigação (Tabela 4), indicando a importância da quantidade de água disponível no substrato para o crescimento das plantas. Além de seu efeito direto na planta, a inadequada quantidade de água no substrato pode, também, determinar a quantidade de nutrientes que chega às raízes das plantas, afetando, portanto, sua nutrição mineral.

Sob variação da frequência de irrigação, no substrato rejeito é que houve a menor variação na produção de matéria seca da parte aérea do capim-gordura (4,8%), quando comparada às demais espécies, sendo esta variação não-significativa (Tabela 7). Nos demais substratos, a variação de produção para esta espécie foi significativa. Tal variação deve estar relacionada à não-adaptação desse capim a condições de estresse hídrico (Baruqui 1985).

Mesmo apresentando alta microporosidade (Tabela 1), não se observaram durante o experimento,

em casa de vegetação, problemas de aeração para as plantas que cresceram apenas tendo o rejeito da mineração como substrato.

Nos substratos testados, a pior produção do capim-gordura ocorreu quando se utilizou a rocha isoladamente ou em combinação com o filito (Tabela 4). Aparentemente, as razões para a menor produção vegetal, quando se utilizou este substrato, são a sua menor capacidade de reter umidade e sua baixa disponibilidade de nutrientes (Tabela 1).

A revegetação utilizando-se o substrato rocha requer a sua mistura com outro material que, preferencialmente, tenha maior capacidade de retenção de água e maior disponibilidade de nutrientes do que este substrato.

O capim-vencedor, apesar de apresentar baixa produção de matéria seca (Tabela 4), de maneira geral, mostrou as menores variações na produção, em função da variação na frequência de irrigação, independentemente do substrato (Tabela 7). Isso deve estar ligado a alguma característica de adaptação da espécie ao estresse hídrico. Os menores decréscimos de produção, com a variação da frequência de irrigação ocorreram nos substratos que continham o filito como um de seus componentes (para o filito sozinho, 0,27%; para o filito em mistura com o solo, 2,5%).

No caso do brizantão, variações significativas na produção de matéria seca da parte aérea, considerando-se a alteração na frequência de irrigação, ocorreram nos substratos rejeito e solo, e na mistura solo + filito (Tabela 7). No substrato solo, a variação encontrada foi maior que nos demais (Tabela 4).

Considerando-se o efeito da frequência de irrigação na espécie e no substrato, o menor decréscimo de produção para a espécie *B. brizantha* ocorreu no substrato filito (13,54%), de modo semelhante ao que aconteceu com o capim-vencedor. Decréscimo este em relação às demais espécies, considerando a frequência de irrigação e o substrato, como fica evidenciado no Tabela.

Não obstante apresentar o maior decréscimo de produção no substrato solo, sob variação na frequência de irrigação, brizantão produziu maior quantidade de matéria seca da parte aérea, na maior frequência de irrigação, superando em 40,5% a produção das plantas crescidas na mistura solo + filito, que ocuparam o segundo lugar. Tal fato é interessante, pois as variações na produção de matéria seca da parte aérea ocorridas no solo, sob a variação na frequência de irrigação, para todas as espécies, estão

Tabela 7. Análise de variância dos contrastes das frequências de irrigação, em cada substrato e espécie, para a produção de matéria seca da parte aérea das plantas.

FV ¹	GL	QM
Frequência d/ ROC d/ GO	1	6,00**
Frequência d/ ROC d/ BR	1	4,12
Frequência d/ ROC d/ VE	1	0,81
Frequência d/ ROC d/ GU	1	4,30
Frequência d/ FIL d/ GO	1	15,46**
Frequência d/ FIL d/ BR	1	0,84
Frequência d/ FIL d/ VE	1	0,00
Frequência d/ FIL d/ GU	1	17,75**
Frequência d/ REJ d/ GO	1	0,17
Frequência d/ REJ d/ BR	1	5,86*
Frequência d/ REJ d/ VE	1	1,03
Frequência d/ REJ d/ GU	1	3,02
Frequência d/ SOL d/ GO	1	30,65**
Frequência d/ SOL d/ BR	1	46,04**
Frequência d/ SOL d/ VE	1	0,94
Frequência d/ SOL d/ GU	1	17,17**
Frequência d/ M11 d/ GO	1	7,77*
Frequência d/ M11 d/ BR	1	3,20
Frequência d/ M11 d/ VE	1	0,59
Frequência d/ M11 d/ GU	1	12,85**
Frequência d/ M12 d/ GO	1	46,93**
Frequência d/ M12 d/ BR	1	5,06
Frequência d/ M12 d/ VE	1	0,38
Frequência d/ M12 d/ GU	1	11,43**
Frequência d/ M13 d/ GO	1	14,98**
Frequência d/ M13 d/ BR	1	8,14*
Frequência d/ M13 d/ VE	1	0,04
Frequência d/ M13 d/ GU	1	35,82**
Erro	110	1,49
CV (%)	-	20,84

* e ** - Valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

¹ GO: gordura, BR: brizantão, VE: capim-vencedor, GU: guandu, ROC: rocha, FIL: filito, REJ: rejeito, SOL: solo, M11: filito+rocha, M12: solo+rocha e M13: solo+filito

sempre entre as maiores, quando comparadas com os decréscimos nos demais substratos (Tabela 4). Isso pode estar relacionado com a grande macroporosidade do solo (Tabela 1), que não deve ter permitido adequada retenção de água.

Para o guandu, as menores variações na produção de matéria seca da parte aérea, sob variação da frequência de irrigação, ocorreram nos substratos rocha e rejeito (Tabela 7), indicando que, para estes substratos, a quantidade de água retida na menor frequência de irrigação não influenciou a produção desta espécie.

Variações significativas na produção de matéria seca do guandu, sob variação na frequência de irrigação (Tabela 7), ocorreram nos substratos filito e solo e também na mistura destes dois substratos, podendo isso indicar que, para esta espécie, a utilização dos referidos substratos provocou problemas de déficit hídrico para as plantas.

CONCLUSÕES

1. As plantas apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea quando o substrato foi solo ou misturas nas quais o solo aparecia como componente.
2. As espécies *Brachiaria brizantha* (brizantão) e *Melinis minutiflora* (capim-gordura) apresentam maior produção da parte aérea que as espécies *Panicum maximum* (capim-vencedor) e *Cajanus cajan* (guandu).
3. A frequência de irrigação afeta de maneira acentuada o desenvolvimento das plantas, sendo capim-vencedor a espécie que teve menor variação de produção de matéria seca da parte aérea sob redução na frequência de irrigação.
4. Nas condições desta pesquisa, o recobrimento eficaz das pilhas de rejeito requer o emprego de irrigação, principalmente no período de estiagem. Maior produção de matéria seca da parte aérea, nas espécies estudadas, mostrou-se associada à maior frequência de irrigação.

REFERÊNCIAS

Almeida, R. O. P. O. 2002. Revegetação de áreas mineradas: estudos dos procedimentos aplicados em mineração de areia. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo. 160 p.

Alvarez Venegas, V. H. 1974. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 125 p.

Baruqui F., M. Resende & M. Figueiredo. 1985. Causas da degradação e possibilidades de recuperação das pastagens em Minas (Zona da Mata e Rio Doce). Informe Agropecuário, 11 (128): 27-37.

Cantarutti, R., C. E. Martins, M. M. Carvalho, D. M. Fonseca, M. L. Arruda, H. Vilela & F. T. T. Oliveira. 1999. Sugestão de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais: pastagens. p. 332-341. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães & V. H. Alvarez V. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. CFSEMG, Viçosa, Minas Gerais, 359 p.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1989. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. CFSEMG, Lavras. 159 p.

Coppin, N. J. & A. D. Bradshaw. 1982. Quarry reclamation the establishment of vegetation in quarries and open pit nonmetal mines. London, Mining Journal Books. 112 p.

Davis, B. N. R., K. H. Lakhani, M. C. Brow & D. G. Park. 1985. Early seral communities in a limestone quarry: an experimental study of treatment effects on cover and richness of vegetation. The J. of Applied Ecology, 22 (3): 473-490.

Einloft, R., J. J. Griffith, H. A. Ruiz. 1999. Índice de priorização de gramíneas e leguminosas para revegetação de uma área de empréstimo. Revista Árvore, 23 (2): 213-221.

Fassbender, H. W. & E. Bornemisza. 1987. Química de solos. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.

Franco, A. A., E. F. C. Campello, L. E. Dias & S. M. Faria. 1996. Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA. Embrapa-CNPAB, Itaguaí. 71p. (Documentos 27).

Fyles, J. W., I. H. Fyles & M. A. M. Bell. 1985. Vegetation and soil development on coal mine spoil at high elevation in the Canadian Rockies. The J. of Applied Ecology, 22 (2): 239-248.

Haas, C. N. & J. J. Macak III. 1985. Revegetation using coal ash mixture. J. of Environ. Engineering, 111(5): 559-573.

Leite, L. L., C. R. Martins & EM. Haridas. 1994. Efeitos da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no parque nacional de Brasília p. 527-534. In Simpósio Sul-americano, 1/ Simpósio nacional de recuperação de áreas degradadas, 2. Foz do Iguaçu, Paraná. 679 p. Anais.

- Marrs, R. H., R. D. Roberts & AD. Bradshaw. 1980. Ecosystem development on reclaimed China clay wastes. *J. Applied Ecology*, 17(3): 709-717.
- Poggiani, F. & C. C. Monteiro, 1990. Efeito da implantação de maciços florestais puros na reabilitação do solo degradado pela mineração de xisto betuminoso, p. 275-281. In Congresso Florestal Brasileiro, 6. Campos do Jordão, São Paulo. 725 p. Anais.
- Rocha, G. L. 1986. Perspectivas e problemas de adubação de pastagens no Brasil, p. 1-29. In H. B. Mattos, J. C. Werner, T. Yamada & E. Malavolta (Ed.). Calagem e adubação de pastagens. Potafos, Piracicaba, São Paulo. 477 p.
- Salazar Lorenzo, J. 1991. Regeneração natural de uma área minerada de bauxita em Poços de Caldas. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 151 p.
- Schoenholtz, S. H., J. A. Burger & J. L. Torbert. 1987. Natural mycorrhizal colonization of pines on reclaimed surface mines in Virginia. *Journal of Environ. Qual.*, 16 (2): 143-146.
- Silva, K. E., A. B. Vale, N. F. Barros & R. Garcia. 1995a. Níveis de N, P e K e calagem para revegetação de um rejeito da mineração de ferro. *Revista Árvore*, 19 (2): 135-148.
- Silva, K. E., AB. Vale, N. F. Barros & R. Garcia. 1995b. Utilização de rejeito da mineração de ferro em combinação com solo para revegetação. *Revista Árvore*, 19 (13): 405-414.