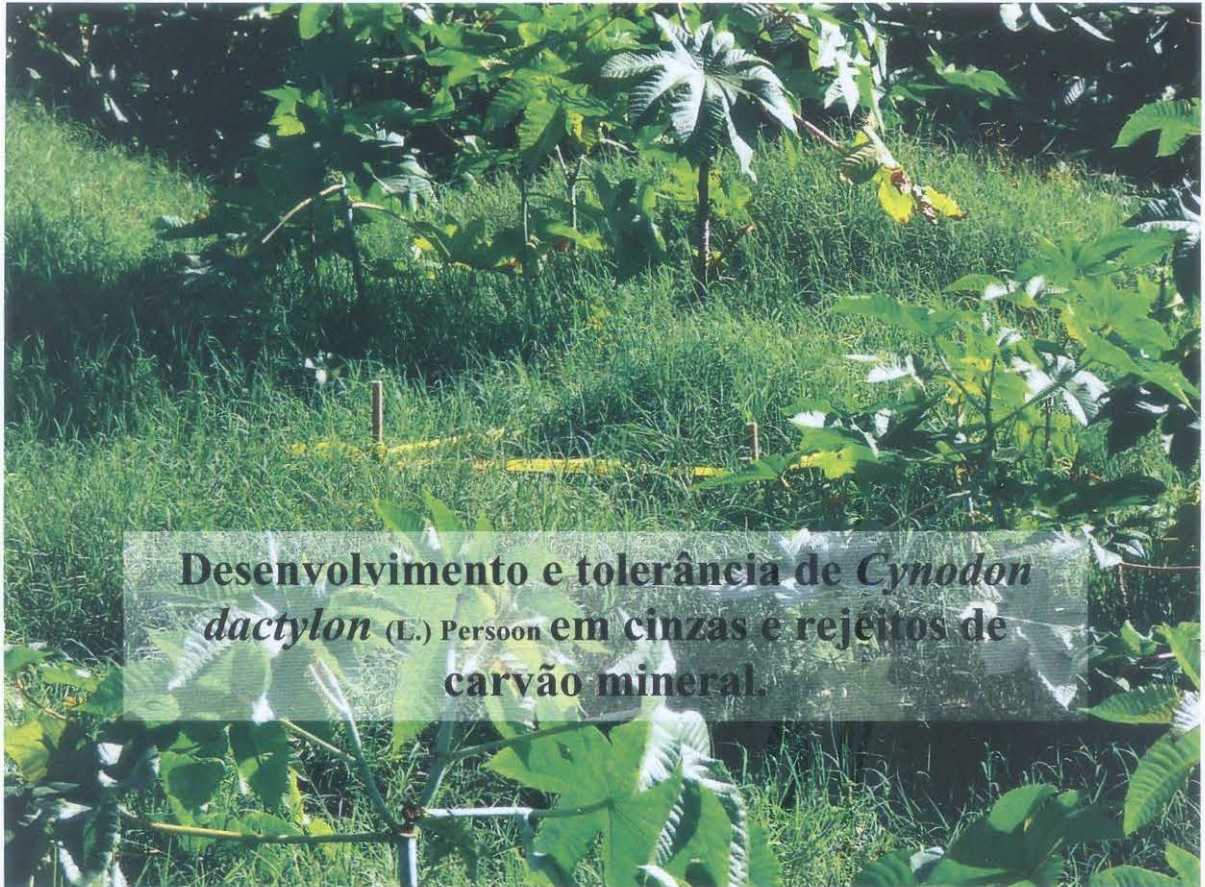


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA
LABORATÓRIO DE ECOLOGIA DE PAISAGEM



Desenvolvimento e tolerância de *Cynodon dactylon* (L.) Persoon em cinzas e rejeitos de carvão mineral.

Ricardo Lange Hentschel

**Porto Alegre,
06 de Dezembro de 2005.**

UFRGS
Instituto de Biociências
Biblioteca Setorial
Nº. Cat.:
Regist.:
Nº. Op.:
Data: 12/12/2005
Nº. Chamado:
Cód. Barco:

Desenvolvimento e tolerância de *Cynodon dactylon* (L.) Persoon em cinzas e rejeitos de carvão mineral.

Autor: Ricardo Lange Hentschel.

Orientação: Maria Luiza Porto e Marisa Azzolini

Porto Alegre, Dezembro de 2005.

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas - Ênfase Ambiental

Dedicatória

Dedico esta obra ao deus Netuno, que muitas alegrias me proporcionou nesta vida. Obrigado Senhor!!!

Agradecimentos

À minha estimada Orientadora, pela paciência e credibilidade dispensadas. Pelos ensinamentos de história natural, de perseverança e de personalidade.

À grande pesquisadora Marisa Azzolini, pelos os ensinamentos, pela coerência e apoio, essenciais para a realização deste trabalho.

Aos colegas do laboratório de Ecologia de Paisagem com os quais aprendi, dividi e convivi. Em especial a Eduardo Dias Forneck pelos ensinamentos taxonômicos e para Ana Paula Moreira da Silva, por ter plantado as mudas de *Cynodon dactylon* e pelas lembranças de prazo!

Aos meus estimados Pais, por terem dado apoio a esta opção de vida, além dos lanches para as saídas de campo e do suporte financeiro.

A minha querida Mariana Franceschi, pela ajuda nas análises dos dados e pelo carinho.

E a todos os colegas e amigos que me enriqueceram com suas idéias e conhecimentos.

Glossário

C25 – tratamento com 25% de cinzas e 75% de solo orgânico

C50 - tratamento com 50% de cinzas e 50% de solo orgânico

C75 - tratamento com 75% de cinzas e 25% de solo orgânico

C100 - tratamento com 100% de cinzas

CGTEE - Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica

Controle – tratamento com solo orgânico

CRM – Companhia Riograndense de Mineração

Perfílios – parte vegetativa da planta da região basal de onde crescem novos ramos;
broto.

R25 tratamento com 25% de rejeitos de mineração de carvão e 75% de solo orgânico

R50 tratamento com 50% de rejeitos de mineração de carvão e 50% de solo orgânico

R75 tratamento com 75% de rejeitos de mineração de carvão e 25% de solo orgânico

R100 tratamento com 100% de rejeitos de mineração de carvão.

TCR – Taxa de Crescimento Relativo

Resumo

Em rejeitos da mineração de carvão coletados em Minas do Leão, RS, e em cinzas de carvão provenientes de São Jerônimo, RS, prepararam-se tratamentos com solo orgânico. Estes tratamentos (25, 50, 75, 100%) serviram de substrato para o plantio de *Cynodon dactylon* (L.) Persoon. As plantas foram transplantadas do pátio da Usina Termelétrica de São Jerônimo (CGTEE) – local de depósito de cinzas - para vasos com solo orgânico em casa de vegetação. Após um mês de aclimatação, 12 indivíduos foram plantados por tratamento. Durante 45 dias de cultivo analisou-se o crescimento através da altura e da emissão de perfílios. Fez-se uma análise de fluorescência. Ao final dos 45 dias retiraram-se três plantas de cada tratamento e calculou-se a área foliar e média e a razão da massa seca da raiz pela massa seca da parte aérea. Os resultados mostraram um maior crescimento para o tratamento com 25% de rejeitos de carvão, seguido do tratamento com 50% de rejeito, 25% de cinzas e controle (R25>R50>C25>controle). A fluorescência apresentou diferença para os tratamentos com 100% de rejeitos e 100% cinzas. O *C. dactylon* apresentou tolerância entre os diferentes níveis de rejeito e cinzas e pode ser uma boa alternativa para o uso em locais degradados pelos subprodutos da exploração do carvão mineral no Rio Grande do Sul.

Sumário

1. Introdução.....	Pág. 09
2. Objetivos.....	Pág. 18
2.1 Objetivos específicos.....	Pág. 18
3. Material e Métodos.....	Pág. 19
3.1 Descrição da área.....	Pág. 19
3.2 Coleta dos rejeitos e cinzas... ..	Pág. 19
3.3 Coleta das plantas em campo.	Pág. 19
3.4 Aclimatação em solo orgânico e casa de vegetação.....	Pág. 20
3.5 Preparação do substrato e plantio seguido de poda.....	Pág. 20
3.6 Taxa de Crescimento Relativo e emissão de perfílios.....	Pág. 20
3.7 Medição de Fluorescência.....	Pág. 20
3.8 Área Foliar.....	Pág. 21
3.9 Biomassa: raiz e parte aérea.....	Pág. 21
4. Resultados.....	Pág. 22
4.1 Taxa de Crescimento Relativo.....	Pág. 22
4.2 Aumento no número de perfílios.....	Pág. 22
4.3 Indicador de Atividade Fotossintética.....	Pág. 24
4.4 Área foliar.....	Pág. 24
4.5 Relação parte aérea / raiz.....	Pág. 25
4.6 Análise visual dos tratamentos.....	Pág. 26
5. Discussões.....	Pág. 27
6. Conclusões.....	Pág. 31
7. Considerações Finais.....	Pág. 32
8. Referências Bibliográficas.....	Pág. 34
Anexo 1. Tabela de possíveis fatores associados.....	Pág. 38
Anexo 2. Tabela periódica destacando os metais pesados citados no texto.....	Pág. 39

Lista de Figuras

Fig. 1 Área de Mineração a céu aberto, Minas do Leão, RS.....	Pág. 12
Fig. 2 Área de recuperação com <i>Brachiaria</i> sp., Minas do Leão, RS.....	Pág. 12
Fig. 3 Área de depósito de rejeitos de mineração, Minas do Leão, RS.....	Pág. 12
Fig. 4 Área de depósito de cinzas de carvão com <i>Cynodon dactylon</i> , São Jerônimo, RS...	Pág. 12
Fig. 5 Plantas tolerantes.....	Pág. 14
Fig. 6 Mistura dos solos.....	Pág. 21
Fig. 7 Medição da fluorescência.....	Pág. 21
Fig. 8 Taxa de Crescimento Relativo.....	Pág. 23
Fig. 9 Número médio de perfílios.....	Pág. 23
Fig. 10 Razão da Fluorescência.....	Pág. 24
Fig. 11 Área foliar.....	Pág. 25
Fig. 12 Relação Raiz / Parte aérea.....	Pág. 25
Fig. 13 Análise visual dos tratamentos.....	Pág. 26
Fig. 14 <i>Mimosa bimucronata</i> habitando depósitos de cinzas e rejeitos de carvão.....	Pág. 33

1. Introdução

Bacias carboníferas brasileiras são consideradas áreas prioritárias em termos de recuperação ambiental. A degradação ambiental gerada pelo uso do carvão depende, dentre inúmeros fatores, do grau de pureza do minério em questão.

O carvão extraído no Sul do Brasil, por exemplo, ocorre associado a folhelhos, arenitos e siltitos da formação Rio Bonito (Período Permiano: aproximadamente a 270 milhões de anos). As quantidades destas associações determinam o grau de pureza do minério. As argilas são as principais responsáveis pela geração das cinzas e a pirita (FeS_2) pelo alto teor de enxofre. Associado ao banco de carvão se constatou, especialmente para o Rio Grande do Sul, uma série de metais pesados (Volney & Porto, 1991).

A profundidade da jazida também é relevante, numa relação diretamente proporcional entre impacto e profundidade, uma vez que quanto mais profundo mais substrato será removido e maior será o espaço de depósito utilizado para o estéril (porção de substrato sem interesse de mineração). A geomorfologia no Rio Grande do Sul determina que minas de céu aberto sejam mais comuns, enquanto que em Santa Catarina as mais comuns sejam as de Subsolo.

Quanto mais puro for o minério de carvão, maior é o seu poder calorífico. Em Minas do Leão, por exemplo, o composto minerado não serve para siderurgia, pois tal atividade exige carvão de alto índice de pureza, porém é utilizado em usinas termelétricas e empresas de cerâmica. A mineração de carbono, de média ou baixa concentração, é mais propícia a ter mais impurezas associadas. Para separar tais impurezas faz-se o beneficiamento do carvão através de processos físicos resultando em duas partes: rejeitos - minerais mais densos - e carvão - minerais leves.

A beneficiadora de propriedade da Companhia Rio-Grandense de Mineração (CRM), localizada no município de Minas do Leão é assim estruturada: uma esteira leva o carvão até um compartimento com água, onde dois silos em linha recebem o minério. O processo é baseado em flotação, no qual o mais pesado é descartado. O primeiro silo recebe os rejeitos mais pesados comparativamente ao segundo. No rejeito encontra-se a mais alta concentração da principal impureza do carvão mineral, a pirita (FeS_2).

Os rejeitos deixados em locais oxidantes, como em contato com o ar atmosférico, geram alta acidez na presença de água e, conseqüentemente, liberam altas concentrações de metais pesados que estão associados ao minério (FEPAM, 2002). Segundo Bhumbla (1996), as cinzas provenientes da queima do carvão beneficiado possuem algumas propriedades interessantes em curto prazo, como a retenção de água para as plantas, uma boa aeração, capacidade de neutralização da acidez, além de conter nutrientes para as plantas. Porém estudos de longa duração mostram que as cinzas contêm muitos componentes tóxicos e que esgotada a capacidade de tamponamento da acidez pelas cinzas, a condição pode se alterar. As cinzas também podem liberar metais pesados em quantidades tóxicas (Evangelou & Neathely, 1995; Brady & Weil, 1999).

As atividades de recuperação ambiental em áreas degradadas pelo uso do carvão são muito variadas. De modo geral, em mineração a céu aberto esta ação consiste em recolocar os perfis de solo na ordem original, adicionar 1m de solo vegetal na superfície e plantar vegetação rasteira como, por exemplo, a *Brachiaria sp.*

O conhecimento das características vegetacionais, em casos de recuperação de áreas intensamente degradadas, como as de mineração carvão e de depósito de cinzas de carvão é de extrema importância. Estudos sobre a vegetação, como os de fitossociologia, no entorno e no próprio sítio de degradação, podem determinar espécies vegetais do local com alto índice de densidade e cobertura, capacidade fitorremediadora e, possivelmente, com alto potencial para o uso na primeira etapa de revegetação. Para tanto a pesquisa biológica de espécies candidatas a colonizar tais áreas é essencial para o sucesso de um projeto de restauração ambiental.

A vegetação pode minimizar os impactos de vários modos: 1) mantendo os poluentes no terreno degradado, 2) impossibilitando que partículas possam ser dispersas

pelo vento e 3) retornando uma grande proporção de água percolada para a atmosfera pela transpiração, 4) reduzindo assim as concentrações de água com metais pesados solubilizados que escoam para cursos d'água. A cobertura vegetal também minimiza o dano paisagístico causado pelas atividades de mineração de larga escala. (Tordoff et al., 2000).

Uma planta ideal para a revegetação deve compreender as seguintes especificações: 1) controlar a erosão, 2) gerar grande aporte orgânico e 3) propiciar o estabelecimento de estádios vegetacionais seguintes. Essas características parecem ser integradas no capim-de-burro ou grama-paulista – *Cynodon dactylon* (L.) Persoon. Esta gramínea (Poaceae) é perene, herbácea, rizomatosa e estolonífera, e forma uma cobertura densa. Os rizomas e estolões crescem horizontalmente abaixo e a cima do solo respectivamente. Eles são estruturas homólogas, porém atuam de modos diferentes (Dong & de Kroon, 1994). Os rizomas são as principais reservas de carboidratos. Estolões são ramos plagiotrópicos delgados que crescem radialmente a partir do ramo original, e dão suporte para as folhas orthotrópicas, e eventualmente, ramos reprodutivos.

Este gênero, segundo Burkart (1969), em sua maioria é de origem euro-afro-asiática, de regiões quentes e temperadas do velho mundo. *Cynodon dactylon* é uma espécie de origem incerta, apresenta-se por todos os continentes (menos Antártica) e com ampla gama de variedades. Segundo Burton (1951), a ampla distribuição de *C. dactylon* na América sugere que esta poderia ter chegado aqui através dos conquistadores espanhóis nos fenos trazidos para alimentarem seus animais.

Espécies do gênero *Cynodon* foram estudadas profundamente em suas características reprodutivas, de digestibilidade e produção de forragem. Também são utilizadas em gramados, campos de futebol e vegetação de taludes com a finalidade de evitar a erosão. O uso de *C. dactylon* é fonte de controvérsias. Conhecida nos EUA como capim-bermuda, é considerada uma planta valiosa para a produção de forragem, devido ao seu vigor e produtividade (Hoveland et al., 1971). Por outro lado, estas espécies têm merecido destaque dentre os componentes da vegetação, por serem invasoras de difícil erradicação em solos lavrados e beira de caminhos, ou por serem tóxicas para o gado devido a cianogênicos (Caro & Sanches, 1970).



Fig.1 – Área de mineração a céu-aberto, Minas do Leão, RS; Fig 2.- Área recuperada com *Brachiaria* sp., Minas do Leão, RS.



Fig.3 - Área de depósito de rejeitos de mineração, Minas do Leão, RS; Fig – 4 Área de depósito de Cinzas com *Cynodon dactylon*, São Jerônimo, RS.

A sobrevivência de uma espécie em uma determinada área é resultado da Seleção Natural. As pressões seletivas em locais degradados, como ocorre nos depósitos de cinzas e rejeitos de carvão mineral, são muito diferentes daquelas em locais onde há substratos orgânicos abundantes e nutrientes em proporções apropriadas. A tolerância alcançada pelas espécies nos depósitos de mineração também parece estar relacionada com o grau de tolerância das populações fora da mina (tolerância inata) (Kruckeberg & Wu, 1992).

Assim, esta plasticidade é conferida em algumas espécies que tiveram uma história biológica peculiar em relação à maioria. Se, locais com alta acidez e altos teores de metais pesados – típicos de áreas de mineração - fossem comuns ao redor do Globo por muito tempo, provavelmente haveria um maior número de plantas adaptadas a estes ambientes. Segundo Adriano (1986), solos enriquecidos com metais pesados ocorrem naturalmente por todo o mundo. Em outras eras geológicas, ambientes considerados

hoje hostis poderiam ter sido mais comuns, e se uma determinada espécie sobreviveu a este ambiente “hostil” é plausível que ela guarde em seu código genético habilidades para lidar com concentrações acima do que é considerado normal hoje em dia.

Contudo, não apenas o código genético pode conferir a uma planta o seu sucesso em ambientes degradados. Relações simbióticas são de extrema relevância nesses casos. Micorrizas, por exemplo, são partes funcionais das raízes das plantas, e o fungo envolvido tem um papel importante em reduzir a toxidez de metais em plantas (Leung et al., 2005).

Parece claro que espécies diferentes crescendo ao redor de uma mina desenvolveram diferentes estratégias para conviver com as altas concentrações de metais no solo (De Koe T. et al, 1988). Espécies como *Pteris vittata* L. (Pteridaceae) (Fig.5 b.) é considerada por Leung et al. (2005) como hiperacumulador de arsênio, um dos metais mais nocivos ao ambiente e a saúde humana.

Experimentos de germinação com *Schinus lentiscifolius* March (Anacardiaceae) (Fig.5 d.) demonstraram existir tolerância ao cobre em plantas provenientes da área de mineração no Rio Grande do Sul, e que essas necessitam de um mínimo de Cu para atingir seu ótimo de germinação (Porto, 1989). A espécie *Becium homblei* (De Wild.) PA Duvign. & Plancke precisa, para germinar, de 50 a 600ppm de cobre segundo Horscraft (1961). No Reino Unido, é limitada a abrangência de espécies que compõe as áreas revegetadas: em rejeitos ácidos predominam *Agrostis capillaris* L.(fig.5 a.)e *Festuca ovina* L., enquanto que em substratos calcáreos as dominantes são *Agrostis stolonifera* L., *Festuca rubra* L.e *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. (Fig.5 c.) (Smith and Bradshaw, 1972).

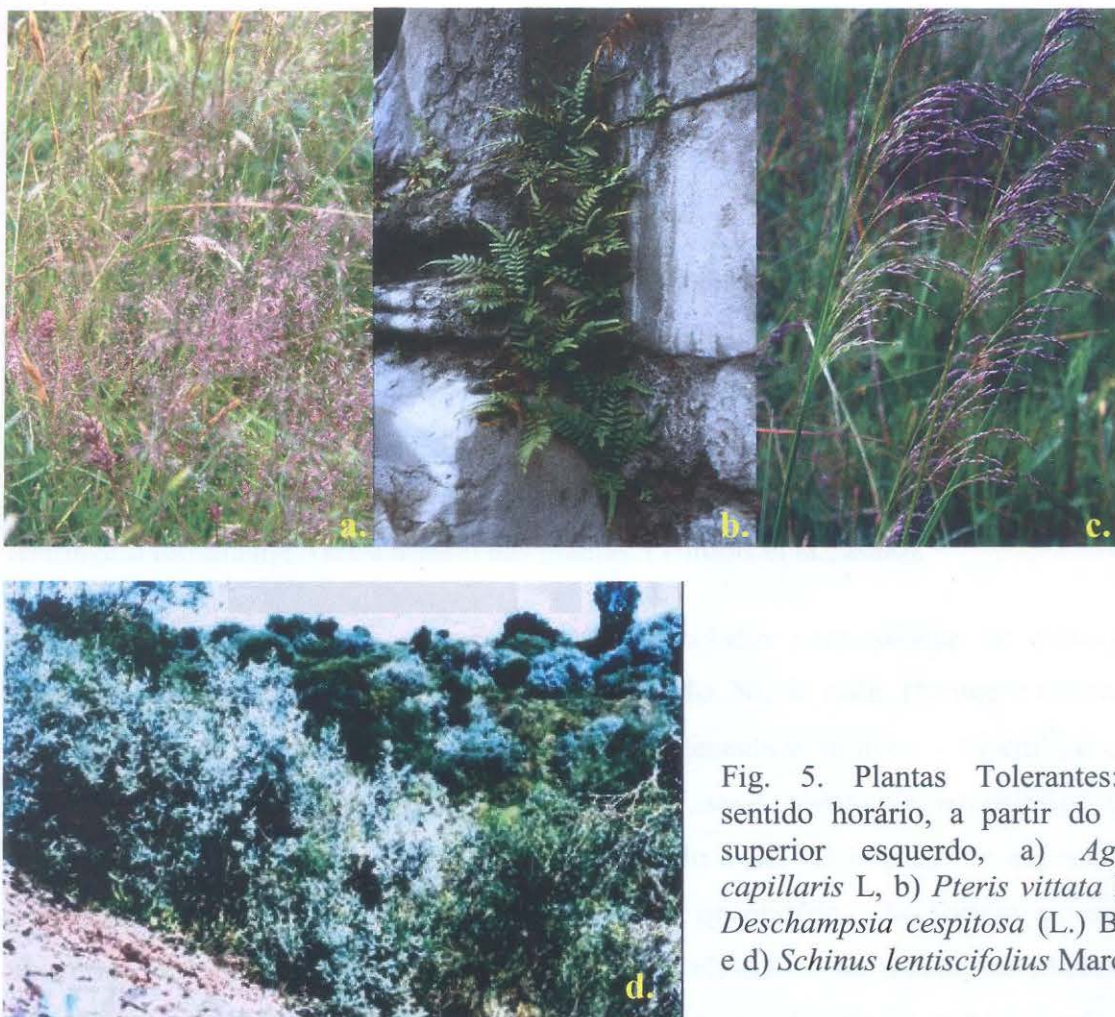


Fig. 5. Plantas Tolerantes: em sentido horário, a partir do canto superior esquerdo, a) *Agrostis capillaris* L, b) *Pteris vittata* L, c) *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. e d) *Schinus lentiscifolius* March.

Existem plantas que não apenas toleram como também hiperacumulam metais pesados (Baker & Brooks, 1989). Contudo estas plantas são geralmente pequenas, de crescimento lento, produzem baixa biomassa e são endêmicas de solos metalíferos (Persans & Salt, 2000). Tais vegetais podem servir como fitorremediadoras de solos contaminados. O conceito de fitorremediação existe desde 1980. Por definição é uma tecnologia que usa plantas para a regeneração ecológica e é uma tecnologia de limpeza emergente. Plantas tolerantes a metal incluindo hiperacumuladoras, são desejáveis para estabilizar os rejeitos na parte superficial do terreno e extrair metais de solos contaminados. (Tordoff. et al., 2000).

A partir de diferentes concentrações químicas no solo, esperam-se diferentes respostas nos níveis moleculares, anatômicos, fisiológicos e morfológicos nas diferentes espécies. Os mecanismos pelos quais as plantas conseguem suportar os efeitos

detrimentais de concentrações tóxicas de metais tem sido foco de muita atenção (Brown, 1995). Plantas possuem níveis ótimos de nutrientes que variam de espécie para espécie.

O crescimento de *C. dactylon* é modulado pela temperatura (Overman et al., 1989), e, em regiões temperadas, observa-se uma pausa durante o inverno (Horowitz, 1972; Moreira & Rosa, 1980). Entretanto, ainda que fatores físicos possam limitar o estabelecimento da vegetação, as propriedades químicas de rejeitos metalíferos são conhecidas como o fator mais inibitório para as plantas. Em particular, os efeitos tóxicos de elementos traço residuais e o nível extremamente baixo de nutrientes restringem fortemente o crescimento das plantas. (Tordoff et al., 2000).

Metais pesados estão comumente associados com toxidez ou poluição, dentre eles citam-se: Ar, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. (Nelsen e Fletcher, 1993). Denomina-se metal pesado elementos com densidade atômica $> 6g\ cm^{-3}$, o que inclui metais, semimetais e até não-metais (Selênio), sendo alguns elementos essenciais aos seres vivos, tais como Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo e Se. O impacto do excesso de metais pesados no solo depende principalmente da quantidade e das formas químicas em que se encontram esses metais: solúvel, trocável, ocluso ou fixado aos minerais, precipitado com outros compostos, na biomassa, ou complexado na matéria orgânica (McBride, 1994).

As concentrações consideradas tóxicas são diferentes entre os países. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) considera como tóxico o teor de metal que causa redução de 50% no crescimento de plantas (King, 1996), enquanto, na Suíça, considera-se queda de apenas 25% no crescimento (SAEFL, 1998). O Brasil ainda não possui regulamentação específica quanto a estes níveis, havendo tendências de adoção dos níveis definidos pela USEPA (Accioly & Siqueira, 2000).

Pode-se analisar o crescimento vegetal de várias maneiras. Linger et al. (2005) analisou massa seca e úmida, Wójcik (2005), a produção de Biomassa e o alongamento das raízes, Peralta-Videa (2004), a raiz e biomassa focando diferentes estágios de crescimento.

Alterações no crescimento podem ser conseqüências de disfunções em diferentes níveis fisiológicos. As atividades relacionadas à fotossíntese recebem atenção

especial uma vez que é o mecanismo pelo qual os vegetais fixam o carbono e conseqüentemente crescem, e que pode ser afetado pelos níveis nutricionais. Segundo Schreiber & Bilger (1987), o método mais efetivo de se analisar influências estressantes à fotossíntese *in vivo* é detectando-se a fluorescência da clorofila. A eficiência fotoquímica é expressa pela razão de fluorescência de clorofila $F_v / F_m (= F_m - F_o / F_m$ *vide item 4.7*).

A análise da fluorescência da clorofila tornou-se uma das técnicas mais poderosas e amplamente usadas por fisiologistas e ecofisiologistas vegetais (Maxwell, 2000). Grant e Incoll (2005) mostram que variações nas taxas de fluorescência ocorrem entre populações da mesma espécie em ambientes diferentes.

A energia luminosa absorvida pela clorofila pode seguir três vias: 1) Pode ser usada na fotossíntese, 2) pode ser dissipada como calor ou 3) pode ser reemitida como luz (Fluorescência da clorofila). O total refletido é muito baixo (entre 1-2%). O espectro da fluorescência é diferente do absorvido. É um espectro de comprimento de onda maior do que aquele ativador de fotossíntese. Assim, se emitida uma luz com comprimento de onda conhecido, a quantidade que reemitida em comprimento de onda maior quantifica a fluorescência. O aumento da fluorescência ocorre naturalmente quando uma planta é levada do escuro para o claro. Isto ocorre, pois há uma redução de aceptores de elétrons livres no ciclo fotossintético (Maxwell, 2000). Conclui-se que a disponibilidade de luz é maior do que a capacidade dos aceptores de elétrons, e quanto menos aceptores, menor a eficiência fotoquímica e maior a fluorescência.

No município de São Jerônimo, na área da Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE), observa-se uma provável ocorrência natural de *C. dactylon*, o qual recobre quase que completamente pilhas de cinzas de carvão. Zocche e Porto (1993), mostraram sua presença espontânea em áreas com rejeitos de carvão no Rio Grande do Sul.

Tendo em vista que *C. Dactylon* apresenta características resistentes que nos parecem próprias para tolerar ambientes extremos apresentando forma de vida estolonífera - rizomatosa, pioneirismo na colonização, crescimento rápido e biomassa aérea e subterrânea abundantes. Pretende-se testar a hipótese de sua viabilidade como espécie tolerante, que poderá ser usada em diferentes áreas impactadas pela mineração e

depósito de cinzas de carvão, sendo a hipótese nula a não viabilidade como espécie tolerante. Para tanto, pretendem-se os objetivos a seguir.

2. Objetivos

O presente estudo tem o intuito de investigar a tolerância através de pesquisas de desenvolvimento e crescimento de uma espécie pioneira, *Cynodon dactylon*, em cinzas de carvão oriundas da termelétrica de São Jerônimo (CGTEE), e sobre rejeitos oriundos da separação do carvão minerado no município de Minas do Leão (CRM).

2.1. Objetivos específicos:

- ❖ Identificar padrões de desenvolvimento de *Cynodon dactylon* em diferentes tratamentos com proporções distintas de cinzas e rejeito de carvão;
- ❖ Averiguar aspectos fisiológicos relacionados;
- ❖ Avaliar a possibilidade de uso do *Cynodon dactylon* como revegetante de áreas degradadas pela utilização do carvão.

3. Materiais e métodos

3.1 Descrição da Área

São Jerônimo situa-se a margem direita do baixo rio Jacuí, dentro da região geomorfológica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Segundo IBGE (1986), está incluída na região fitoecológica da Floresta Estacional Decidual de formação Aluvial. Às margens do rio Jacuí encontra-se a usina termelétrica de São Jerônimo (CGTEE).

O Município de Minas do Leão fica ao Sul do rio Jacuí, entre os domínios da Depressão Central e da Serra do Sudeste. Sua vegetação é reconhecida como Savana Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria. A área de mineração e o beneficiamento ficam junto a estrada BR-290, que corta o município.

O Clima em ambas localidades é do tipo Cfa de Koeppen, com temperaturas médias anuais em torno de 19 °C.

3.2 Coleta dos rejeitos e cinzas

As cinzas foram coletadas na base inferior do precipitador eletrostático da termelétrica seguindo a norma NBR 10001/1987. Os rejeitos, cedidos pela CRM, são provenientes da primeira separação – são mais pesados e mais impuros - entre duas, que ocorrem no beneficiamento do carvão minerado. Os rejeitos foram triturados com marreta e depois peneirados em malha de 0,5 cm.

3.3 Coleta das plantas em campo

As plantas foram coletadas no pátio da CGTEE – São Jerônimo. Estas se desenvolviam sobre o depósito a céu aberto das cinzas de carvão e foram retiradas amostras de toda a extensão do pátio da usina aonde havia cinzas e *C. dactylon* as

recobrando. As cinzas são provenientes da queima do carvão, que é minerado e beneficiado em Minas do Leão (CRM).

3.4 Aclimação em solo orgânico e casa de vegetação

As mudas coletadas foram selecionadas e plantadas em vasos individuais com solo orgânico comercial e colocadas sobre um sombrite com retenção de 50% de luz durante 1 mês.

3.5 Preparação do substrato e plantio seguido de poda

Após a aclimação, as plantas foram transplantadas para floreiras (45cm x 17cm x 15cm), as quais continham 8 litros de diferentes proporções de solo comercial e cinzas de carvão, e diferentes proporções de solo comercial e rejeitos de carvão mineral. Os tratamentos foram divididos da seguinte maneira: 9 tratamentos: um controle (100% solo orgânico), quatro tratamentos entre cinzas e solo orgânico e quatro entre rejeitos e solo orgânico (100%, 75%, 50% e 25%). Para preparar uma concentração de 25% de rejeito, por exemplo, misturaram-se 2 litros de rejeitos com 6 litros de solo orgânico. Foram utilizadas 4 repetições por tratamento, sendo cada repetição com 3 plantas, totalizando 108 plantas. O capim-de-burro foi cortado de modo que apenas uma gema foi plantada por vaso. Dois dias depois as plantas foram podadas a 10 cm acima do entrenó mais basal.

3.6 Taxa de Crescimento Relativo e Emissão de perfílios

Mediu-se com trena milimetrada o comprimento do mesmo ramo de cada planta a partir do primeiro entrenó mais inferior (108 plantas). E a partir do nível do solo, cada broto que eventualmente surgiu ou morreu foi contabilizado. Calculou-se então a Taxa de Crescimento Relativo (TCR) apresentada por Beadle (1985). Para tal utilizou-se a seguinte fórmula: $TCR = (\ln Af - \ln Ai) / t$; (onde \ln = logaritmo natural; Af = Altura Final; Ai = Altura Inicial; Tempo = período de tempo entre a obtenção da altura inicial e final).

3.7 Medição de fluorescência

Com o auxílio do fluorômetro modulado – *Hansatec* - foram realizadas as medidas da fluorescência da clorofila a. As plantas foram pré-adaptadas ao escuro

durante uma hora com um pequeno grampo. Após este período efetuou-se a medida da fluorescência basal (F_0) e após um pico de luz é realizada a medida da fluorescência máxima (F_m). Para avaliar a eficiência quântica do fotossistema II, é calculada a razão F_v/F_m onde $F_v = F_m - F_0$ (Genty et al. 1989).

3.8 Área foliar

Para o cálculo de massa seca e área foliar usaram-se apenas três plantas por tratamento tendo em vista a necessidade de secar a planta para obter medidas de massa seca. Ou seja, a planta é morta e como o experimento será mantido por mais dias de cultivo, optou-se por três plantas por tratamento. Destas coletou-se 10 folhas, por tratamento, que foram medidas no aparelho *Licor: Li - 3100 area meter*. Mediu-se o limbo foliar - sem incluir a bainha - por 5 vezes, para evitar erros, e destes dados extraiu-se uma média que foi considerada. Esta média foi feita com as quartas e quintas folhas contadas a partir do ápice.

3.9 Biomassa: raiz e parte aérea

As plantas de *C. dactylon* (3 por tratamento) depois de retiradas dos vasos foram: separadas entre parte aérea e raiz, lavadas e secas em estufa por 3 dias a 60 °C. Depois de secas, pesou-se a parte aérea e a raiz. Calculou-se a razão entre a massa seca da raiz e a massa seca da parte aérea.



Fig. 6. - Mistura dos solos



Fig. 7. - Medição de fluorescência

4. Resultados

4.1 Taxa de Crescimento Relativo:

Durante o período de cultivo, evidenciou-se uma maior TCR para o tratamento R25 e uma menor para R100 (Fig.8). A TCR apresentou relação inversa com o aumento da concentração de rejeito. Nos tratamentos com cinza, observou-se que as plantas expostas a proporções de cinza 75 e 100% tiveram a TCR igualmente reduzidas quando comparadas ao controle. Os tratamentos com rejeitos mostraram um gradiente enquanto que para cinzas houve uma separação de dois grupos: 50% para baixo e 75% para cima. As diferenças no crescimento são mais visíveis a partir do décimo terceiro dia. Após 34 dias de experimento, R100 praticamente cessou o desenvolvimento da parte aérea. O grupo controle apresentou uma menor TCR que R50 e R25.

4.2 Aumento no Número de Perfílios

Os Perfílios que emergiram mostraram um incremento maior no tratamento R25, seguido de C25 e R50 (Fig. 9). A emissão de novos ramos logo na primeira semana foi maior para os grupos C100 e R100 do que para aqueles entre 50 e 75 de ambos os tratamentos. Porém, cessou após o 27º dia de medição para o tratamento C100, e muito pouco foi acrescido em R100. Nos tratamentos R75 e R100 percebe-se um decréscimo no número médio de brotos do 13º dia até o 34º, quando então retornou a crescer.

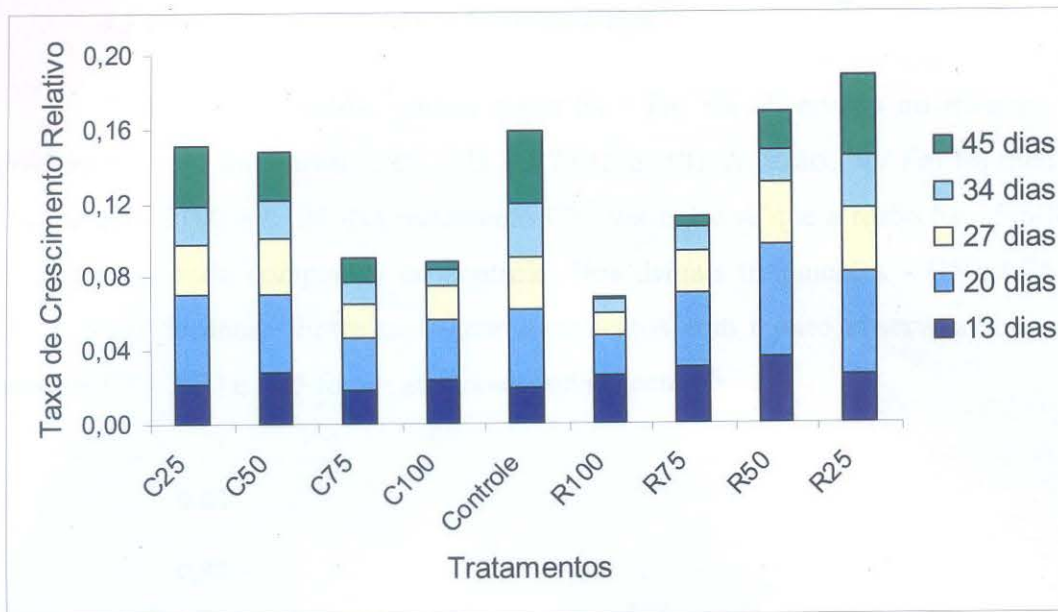


Fig. 8 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de *Cynodon dactylon* após 45 dias de cultivo; (n = 12). C25 = 25% de cinzas; C50 = 50 % de cinzas; C75 = 75 % de cinzas; C100 = 100% de cinzas; Controle = 100% de solo orgânico; R25 = 25% de rejeitos; R50 = 50% de rejeitos; R75 = 75 % de rejeitos; R100 = 100% de rejeitos.

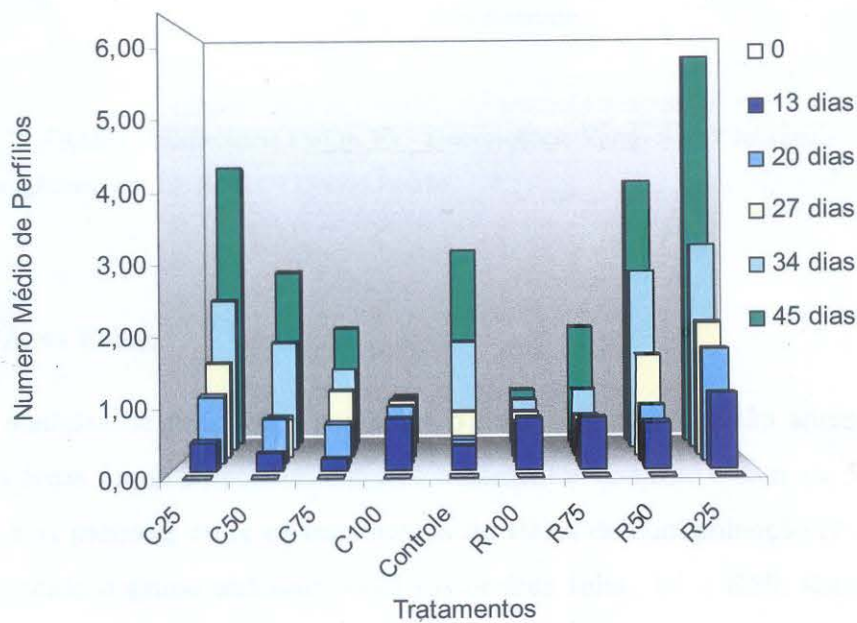


Fig. 9 - Número Médio de Perfílios após 45 dias de cultivo, (n = 12).

4.3 Indicador de Atividade Fotossintética

O maior valor médio para a razão F_v / F_m foi observado no tratamento controle, seguido do tratamento C25, C75 e R75 (Fig. 10). A razão F_v / F_m foi menor nos tratamentos C100 e R100. No tratamento C25 verificou-se que a razão F_v / F_m foi pouco afetada quando comparada ao controle. Nos demais tratamentos - C50, C75 e C100 - a razão diminuiu. Entre tanto, nos tratamentos com rejeito observa-se que os tratamentos R75, R50 e R25 foram afetados similarmente.

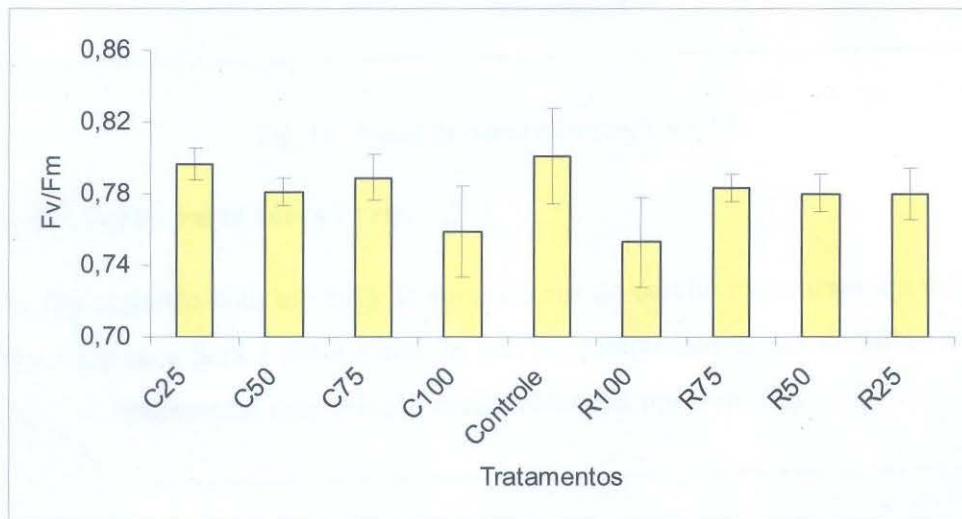


Fig. 10 – Razão Fluorescência F_v/F_m : F_v - Fluorescência Variável = (F máxima - F basal); F_m - Fluorescência máxima; $n = 10$. Barras = Desvio Padrão.

4.4 Área Foliar

As medidas de área foliar seguiram o padrão geral até então apresentado onde as maiores áreas foram detectadas entre os tratamentos controle e com até 50% de contaminantes, e as menores entre os tratamentos de 100% de contaminação (Fig. 11). Mais especificamente o grupo analisado com maior área foliar foi o R50, seguido de Controle e C50 com a mesma média. No outro extremo aparecem em ordem decrescente C100, C75 e R100.

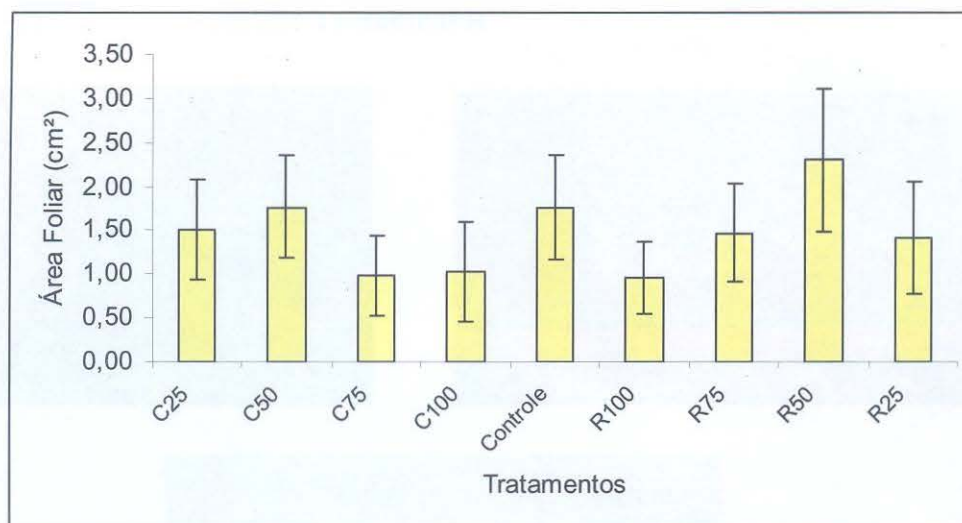


Fig. 11 - Média de Área Foliar (cm²); n = 10.

4.5 Relação parte aérea / raiz.

Os tratamentos com até 50% de subprodutos do carvão mostraram um maior padrão de biomassa seca para a parte aérea do que os tratamentos acima de 50%. R75, R100, C75 e C100, apresentam uma relação mais próxima a um (Fig. 12).

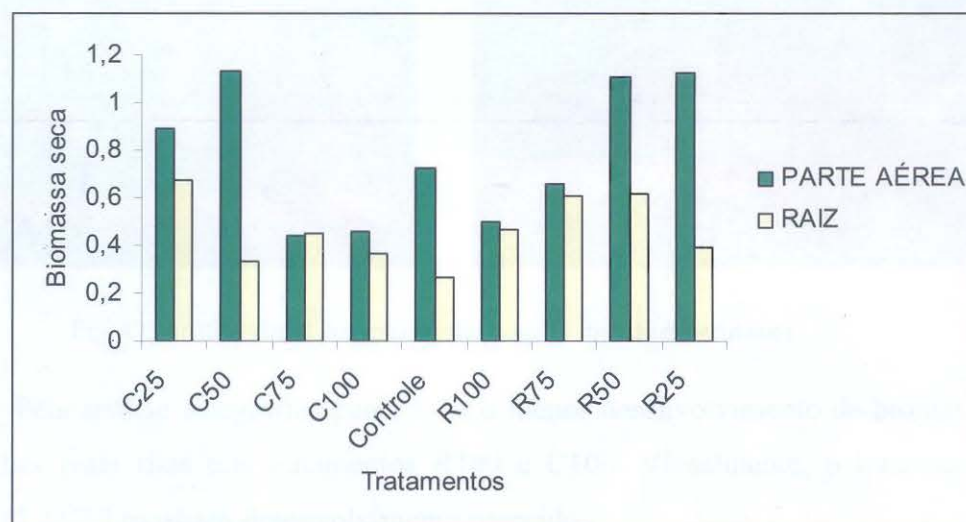


Fig. 12 - Relação entre a massa seca da raiz e a massa seca da parte aérea; n = 3.

4.6 Análise Visual dos Tratamentos

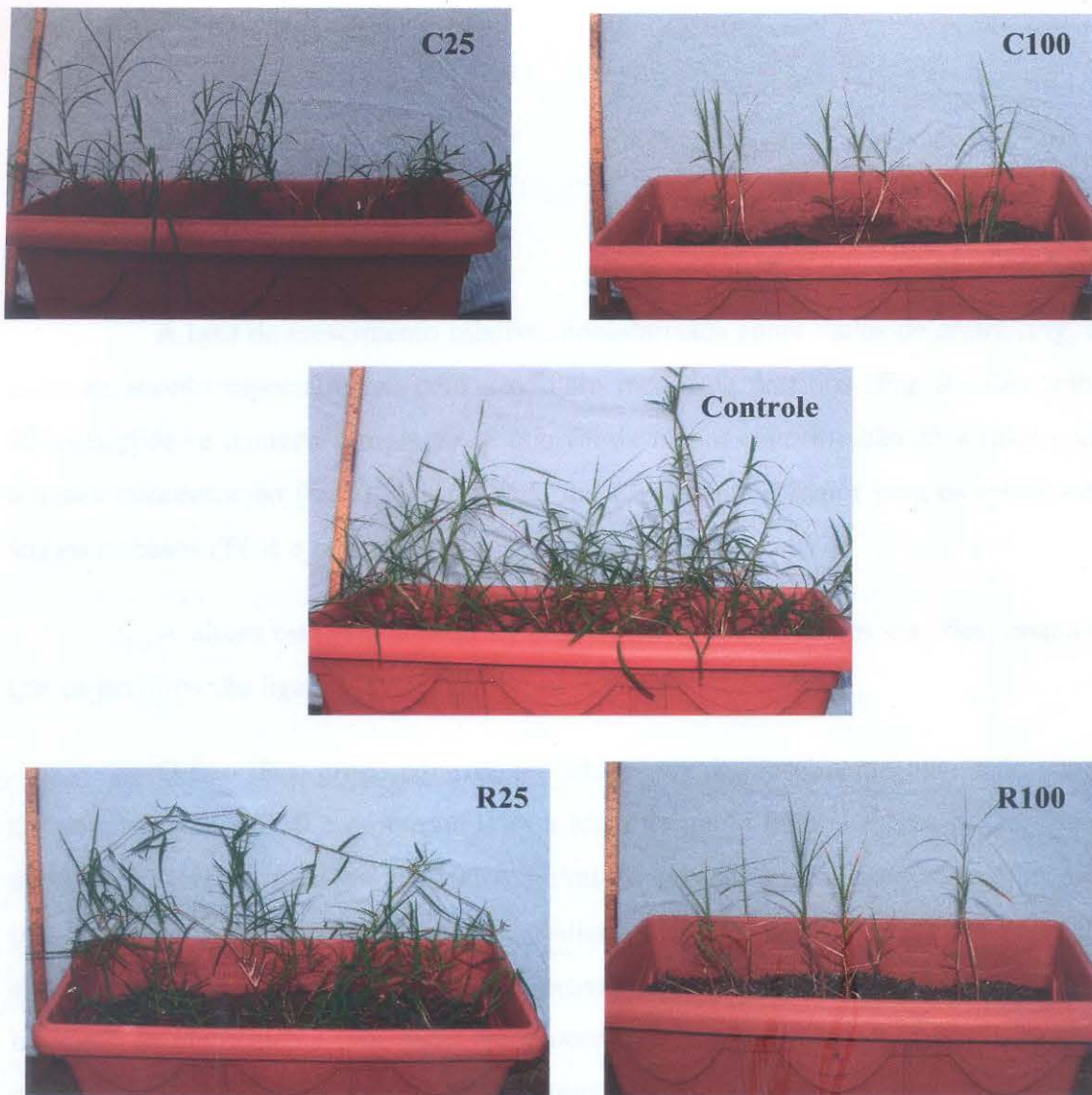


Fig. 13. Análise visual dos tratamentos com 45 dias de experimento.

Pela análise fotográfica percebe-se o menor desenvolvimento de biomassa aérea e folhas mais rijas nos tratamentos R100 e C100. Visualmente, o tratamento controle, R25 e C25 mostram desenvolvimento parecidos.

5. Discussões

A taxa de crescimento relativo, contabilizada sobre dados de altura (Fig. 8), estão de acordo especialmente com o número médio de perfílios (Fig. 9). Em ambas análises pôde-se conferir um gradiente que vai da menor concentração 25% (topo) para a maior concentração (base). A amplitude deste gradiente é maior para os rejeitos em ambos os casos (TCR e perfílios).

A altura esta relacionada ao crescimento vegetativo dos estolões, enquanto que os perfílios são ligados ao desenvolvimento rizomatoso.

O fato de o grupo controle ter tido a taxa de crescimento menor do que os tratamentos R25 e R50 corroboram com a idéia de que a planta testada possui algum nível de tolerância para os elementos químicos presentes nos rejeitos ou que estes possuam níveis de nutrientes que possibilitam o crescimento, já que os poluentes encontram-se em menores proporções. É provável que tenha havido neste período uma liberação de elementos – nutrientes em concentrações não fitotóxicas para *C. dactylon*: como o Cu, Fe, Zn, o que favorece o aumento da TCR nestes tratamentos. Ou seja, esta variedade de *C. dactylon* desenvolve-se melhor com até 50 % de rejeitos no substrato do que sem rejeito após 45 de experimento. E o mesmo não ocorre para as cinzas provavelmente pelo curto tempo (45 dias) de experimento. Espera-se que no decorrer do tempo que a grama-paulista em tratamentos de cinzas passe a ter um desenvolvimento superior ao atual tendo em vista a possibilidade da liberação tardia dos metais nas cinzas.

É interessante ressaltar que a matéria orgânica complexa metais. Por exemplo, Bech *et al.*, 1997 mostra que o Cu e Al formam complexos orgânicos, o que parece ser menos fitotóxico. Elementos orgânicos exercem uma influência negativa na disponibilidade de Arsênio. Isto é explicado pela absorção dos metais como o As aos

óxidos de ferro e de alumínio, presentes na matéria orgânica e nas argilas (Adriano,1986).

Contudo essa diminuição do efeito fitotóxico pela presença de matéria orgânica no solo não explica o menor desenvolvimento do grupo controle comparado a R25, R50 na TCR e nem o menor número médio de perfílios em relação a R25, R50 e C50.

Algumas variedades de *C. dactylon* talvez possam necessitar concentrações de metais e/ou acidez acima da faixa habitual das plantas para o seu desenvolvimento pleno. Em rejeitos de mineração de chumbo e zinco na Índia, estolões desta gramínea, transplantados de outros depósitos de mineração, cresceram mais se comparados àqueles de solos não contaminados (Aery *et al.*, 1987). Ye *et al.*(2000) conclui que *C. dactylon* é efetivo recuperador pois é uma planta tolerante a metais e uma excelente revegetante para pilhas de rejeitos de chumbo e zinco no sul da China (YE *et. al.*,2000).

Em nível fisiológico, o padrão de gradiente apresentado nas análises de crescimento morfológico não encontra semelhança com o apresentado na razão F_v / F_m (Fig. 10). Os resultados da razão de fluorescência mostram um resultado pontual, ou seja, é uma medida de um determinado instante. Já os gráficos de desenvolvimento apresentam uma tendência que leva em conta 45 dias. Talvez, se fizéssemos mais medidas de F_v / F_m seus valores estariam mais de acordo com o apresentado pelo desenvolvimento. A razão de Fluorescência é um ótimo indicador de eficiência fotossintética (Maxwell, 2000). Exceto para os tratamentos de 100% de rejeito e cinza, um mesmo padrão de fluorescência foi apresentado. Os valores encontrados para a razão F_v / F_m estão abaixo do ótimo indicado por Bjorkman & Demmig, (1987) que é de 0,83. O resultado mais próximo a este patamar é o do tratamento controle. Mas por que então o tratamento controle cresceu menos que os tratamentos C25, R25 e R50? Talvez o resultado da razão de fluorescência possa ser apenas pontual, ou talvez outros mecanismos estejam envolvidos.

Se o resultado de padrão de fluorescência for analisado levando-se em conta a plasticidade da planta em relação aos diferentes substratos, pode-se concluir que este padrão é um resultado que corrobora com a idéia de tolerância de *C. dactylon*.

As folhas são o principal órgão de atividade fotossintética, ou seja, a fotossíntese, na maioria dos casos, é proporcional à área foliar. A análise da média foliar apresentou um padrão parecido com os demais gráficos morfológicos (Fig.11). Porém os máximos entre os grupos situaram-se nos tratamentos de 50% para rejeito e cinzas. Acredita-se que a área foliar média é uma variável interessante, porém contém margem para erro. O ideal seria calcular a área foliar total da planta, o que de ponto de vista prático é pouco viável. De qualquer modo os resultados são coerentes com a hipótese de tolerância do *C. dactylon*.

A natureza tóxica do substrato e outros fatores edáficos podem afetar substancialmente a habilidade da planta a sobreviver em depósitos metalíferos. (Smith & Bradshaw, 1979). Isto inclui restrição de nutrientes e em alguns casos, a baixa capacidade de retenção de água do solo.

Boyer (1982), sentencia que a disponibilidade de água limita o crescimento vegetal. Moriana *et al.* (2002), apresenta resultados onde a fotossíntese foliar é afetada pela quantidade de estresse hídrico. Taiz & Zeiger (1998), citam que o déficit de água aumenta a extensão da raiz.

Levando em conta estas afirmações quanto à estrutura física do solo espera-se uma maior relação da área radicular para o tratamento R100 do que para C100, uma vez que os rejeitos se apresentam como restos de mineração pedregosos e não reteriam a umidade tão bem quanto as cinzas. Contudo a relação de biomassa raiz / parte aérea foi muito semelhante. Uma resposta plausível em um primeiro momento para esta semelhança seria, por parte das cinzas, indicada por um nível de elementos disponíveis muito baixo que é compensado com a retenção de umidade, enquanto que para os rejeitos a maior disponibilidade dos elementos traço e/ou acidez necessários para o desenvolvimento ótimo estariam sendo diminuídos pela menor retenção de umidade.

Tordoff *et al.* (2000), relata que os mecanismos pelos quais metais pesados causam toxidez as plantas são pobremente entendidos, mas se sabe que eles causam inibição do crescimento da raiz, o que, entre outros problemas, leva ao aumento da susceptibilidade a seca.

Do ponto de vista químico, sabe-se que altas concentrações de elementos traço danificam as raízes, interferindo na divisão e na alongação do tecido radicular

(Hagemeyer & Breckle, 1996), não obstante se a adição de elementos estiver de acordo com a biologia da espécie pode ocorrer um maior desenvolvimento. A adição de concentrações de cobre a soluções nutritivas de ecótipos resistentes aumentaram o crescimento da raiz (Ouzounidov, 1994). Hagemeyer *et al.*(1994) demonstra em um experimento com *Fagus sylvatica* que a matéria seca das raízes aumentou em estudos com baixas concentrações de Cd e Zn. Mas em concentrações maiores o crescimento radicular foi fortemente inibido. Logo se entende por que Hagemeyer & Weisel (1989b) acreditam que os efeitos tóxicos dos elementos traço vão depender se este é ou não um nutriente essencial.

Pelos dados apresentados baseados em um baixo número amostral sobre a razão raiz/ parte aérea (Fig.12), torna-se difícil indicar alguma tendência. Contudo vale salientar que os rejeitos apresentaram uma tendência de menor razão raiz / parte aérea de R75 para R25, podendo esta, ser devida a maior retenção de umidade por parte de R25 que possui 75% de solo orgânico no seu tratamento. A massa da raiz foi proporcionalmente maior nos grupos com mais de 50% de cinzas e rejeitos. Este acréscimo relativo na biomassa radicular pode ter sido ocasionado pela falta de macronutrientes e / ou déficit hídrico, ocasionando um maior investimento na malha radicular e um menor desenvolvimento da parte aérea.

6. Conclusões

Cynodon dactylon presta-se para a revegetação de áreas degradadas por rejeitos e cinzas de carvão. Esta planta apresentou manifestações positivas a diferentes concentrações de substrato, verificando-se o maior desenvolvimento de *C. dactylon*, em R25 depois de 45 dias de pesquisa. É provável que este desenvolvimento pleno ocorra pela disponibilização de metais traços essenciais provenientes do rejeito para o de *Cynodon dactylon*, aliado a manutenção de umidade retida pelo solo orgânico. Os tratamentos de C25 e C50 estiveram mais próximo do controle provavelmente em função do curto tempo, insuficiente para que as cinzas disponibilizem os metais pesados. *C. dactylon* mostrou uma amplitude de tolerância com até 50% de substratos contaminantes. Os tratamentos com concentração acima de 50% tiveram desenvolvimento à margem do controle, mostrando que estes podem estar sendo prejudicados pelo alto nível de elementos tóxicos ou pela baixa disponibilidade de macro-nutrientes, ou ainda, por parte dos rejeitos, por uma baixa retenção de umidade, o que foi evidenciado pelo maior crescimento de C100 quando comparado a R100.

7. Considerações finais

A restauração de áreas degradadas vem se aprimorando pelo avanço das ciências ambientais e pelos avanços da ocupação antrópica sobre áreas naturais. Trazer de volta florestas suprimidas ou rios poluídos às mesmas condições de outrora parece uma utopia. Contudo, alguns métodos estão se mostrando eficazes na restauração de determinados ambientes.

Uma metodologia sugerida por Tordoff et al. (2000) é a mistura de gramíneas e leguminosas com fertilizantes inorgânicos para minimizar as deficiências de nutrientes e uma fina camada de matéria orgânica para melhorar a estrutura física do substrato e prover nutrientes de forma mais desacelerada.

Bradshaw et al. (1978) ressalta que a formação de gramados é também limitada pela falta de populações de leguminosas tolerantes a metais pesados, o que manteria o suprimento de nitrogênio.

É sabida a existência de populações tolerantes a metais nas regiões áridas e tropicais (Smith and Bradshaw, 1972) das quais devem ser desenvolvidas variedades comerciais (Bradshaw and Johnson, 1992).

Zocche (2002), encontrou no maricá concentrações de metais pesados em *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze. Esta leguminosa desenvolve-se naturalmente sobre os rejeitos abandonados em Minas do Leão. A população local ao dizer “é o que mais dá” gera mais um indicativo sobre a plasticidade e agressividade desta planta pioneira. O mesmo ocorre em São Jerônimo em que junto com a mamona (*ricinus communis* L.) o maricá desenvolve-se naturalmente. Ressalta-se ainda o alto valor calorífico da madeira e a natividade da espécie.



Fig. 14 - *Mimosa Bimucronata* habitando locais de depósito de cinzas e rejeitos de carvão

8. Referências Bibliográficas






- ACCIOLY A.M.A. & SIQUEIRA J.O. Contaminação química e Biorremediação do Solo. In: **Tópicos em Ciências do solo**, Editores: R.F. de Novaes, V.H. Alvarez & C.E.G.R. Scafer. vol. 1, 2000 Sociedade. Brasileira. de Ciências do Solo, Viçosa, MG p- 299 -346.
- ADRIANO, D.C. **Trace Elements in the Terrestrial Environment**. -Springer, Berlin 1986.
- AERY, N.C., TIAGI, Y.D. & KHANDERWAL, R.K., Studies on the efficacy of certain plants for the stabilization of tailings dam at Zawar Mines, India. In: **Heavy Metals in the Environment, Proceedings of the International Conference**, vol. 1, 1987. pp. 445-447.
- BAKER, A.J.M. & BROOKS, R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery** 1, 81– 126, 1989.
- BEADLE C. L. Plant growth analysis. In: **Techniques in bioproductivity and photosynthesis**. 2 ed. Edited by J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock. Pergamon Press. UK. p:20-25. 1985.
- BECH J et al.. Arsenic and haevy metal contamination of soil and vegetation around copper mine in Northern Peru. **The science of the total environment** v. 203 p.83-91, 1997.
- BHUMBLA, D. **Coal ash for reclamation**. 1996. Disponível em: www.wvu.edu
- BJÖRKMAN, O. & DEMMIG, B. Photon yeld of O₂ evolution and chlorphyll fluorescence at 77K amon vascular plants of diverse origins. **Planta** 170. 480-504. 1987
- BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, 218: 443-448, 1982.
- BRADSHAW, A. AND JOHNSON, M. Revegetation of Metalliferous Mine Waste: The Range of Practical Techniques Used in Western Europe. **Minerals, Metals, and the Environment**. p 481-491. Elsevier Applied Science, London & NewYork. 1992
- BRADSHAW, A.D., HUMPHREYS, M.O. & JOHNSON, M.S. The value of heavy metal tolerance in the revegetation of metalliferous mine wastes **Environmental Management of Mineral Wastes**, pp. 311± 334. 1978

- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: P. Hall, 1999.
- BROWN, G. The effects of lead and zinc on the distribution of plant species at former mining areas of Western Europe: **FLORA** 190, 243-249. 1995
- BURKART, A. **Flora Ilustrada de Entre Rios** (argentina) Graminae. Buenos Aires INTA. 1969 v.2 p. 551 (Colección científica, 6).
- BURTON, G. W. The adaptability and breeding of suitable grasses for the southeastern states. **Advances in Agronomy**. Nova York. v.3 p.197-240. 1951
- CARO, J.A. & SANCHES, E. las especies de *Cynodon* (Gramineae) de la República Argentina. **Kurtziana**, Córdoba, v.5 p:191-252. 1970
- DE KOE, T. et al. Heavy metal and arsenic in water sediment and plants near Jales gold and silver mine in North Portugal. **Environmental contamination**. 152-154. 1988
- Dos SANTOS, A.M.P.V. & BOECHAT, S.C. *Cynodon* (Poaceae, Chloridoideae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica** (44):85-102, 1994
- EVANGELOU, V. P. & NEATHELY, J. K. **Bituminous Fly ash Release Potential Modeling and Remediation of Arsenic, Boron and Heavy Metals**. 1995. Disponível em: www.uky.edu
- FERNANDEZ, O. N. Establishment of *Cynodon dactylon* from stolon and rhizome fragments. **Weed Research**. 43, 130-138. 2003
- GRANT, O.M. & INCOLL, L.D. Photochemical efficiency is an important component of ecophysiological variation of *cistus albidus* between habitats in south-east Spain. **Functional Plant Biology**, 32, 107 - 115. 2005
- GENTY, B., BRIANTAIS, J.M. & BAKER, N.R. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence.. **Biochimica et Biophysica Acta** 990, 87-92. 1989
- HAGEMEYER, J. & BRECKLE, S.-W. Growth under trace element stress. - in: Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi (eds.): **Plant Roots: The Hidden Half**. 2nd Ed., M. Dekker, New York: pp. 415-433.1996
- HAGEMEYER, J., SCHÄFER, H. & BRECKLE, S.-W. Seasonal variations of nickel concentrations in annual xylem rings of beech trees (*Fagus sylvatica* L.). **The Science of the Total Environment** 145: pp. 111-118. 1994
- HAGEMEYER, J. & WEISEL Y. Uptake of Cd²⁺ e Fe²⁺ by excised roots of *Tamarix aphylla*. **Physiol. Plant**. 77: 247-253. 1989b.
- HOVELAND, C. S.; KING, L. C.& EVANS, E.M. Bermuda grass for forage in Alabama. **Bulletin, Agricultural Experiment Station**, Auburn, Auburn University, v. 328 p: 1-27. 1971

- IBGE. 1986. **Levantamento de Recursos Naturais: Ecologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da Terra**. IBGE, Rio de Janeiro, Folha S.H. 22, p. 541-632.
- JONHSON, M.S. & BRADSHAW, A.D. Prevention of heavy metal pollution from mine wastes by vegetative stabilization. **Trans. Inst. Min. Metall.** 86, 47±55. 1977.
- KING, G. A Solution to the Ecological Inference Problem, **Book manuscript in progress**, harvard.edu:pub/gking/sei.zip. 1996
- KRUCKEBERG, A. L. & WU, L. Copper tolerance and copper accumulation of herbaceous plants colonizing inactive California Copper Mines. **Ecotoxicology and environmental safety** 23, 307-319 (1992)
- LEUNG, H.M., YE, Z.H. & WONG, M.H.. Interactions of mycorrhizal fungi with *Pteris vittata* (As hyperaccumulator) in As-contaminated soils. **Environmental Pollution** -- 2005
- LINGER, P.; OSTWALD A. & HAENSLER, J. Cannabis sativa L. growing on heavy metal contaminated soil: growth, cadmium uptake and photosynthesis. **Biologia plantarum** 49 (4): 567-567, 2005.
- MAXWELL, K. & JONHSON, G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**. vol. 51, n°345 pp.659-668, 2000.
- McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994. 395p.
- MORIANA, A., VILLALOBOS, F.J. & FERERES, E. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europea* L.) leaves to water deficits. **Plant cell and environment** 25, 395-405, 2002.
- MOREIRA I & ROSA ML Estabelecimento de plantas de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **I. Congresso Português de Fitiatria e Fitofarmacologia & II Simpósio Nacional de Herbologia**, 143–164. 1980
- OUZOUNIDOU, G. Root growth and pigment composition in relationship to element uptake in *Silene compacta* plants treated with copper. **J Plant Nutr.** 17:933-943, 1994
- OVERMAN AR, ANGLELY EA & WILKINSON SR A phenomenological model of coastal bermudagrass production. **Agricultural Systems** 29, 137–148. 1989
- PERSANS, M.W. & SALT, D.E. Possible molecular mechanisms involved in nickel, zinc and selenium hyperaccumulation in plants. **Biotechnol. Genet. Eng. Rev.** 17, 389–413. 2000
- PERALTA-VIDEA, J. R.; ROSA, G.; de la GONZALEZ J. H. & GARDEA-TORRESDEY J. L. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants **Advances in Environmental Research**, vol 8, 3-4, pp 679-685, 2004

- PORTO, M.L. & SILVA, M.F.F. 1990, Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasil**. 3 (2): p. 13-21. 1989
- PORTO, M.L. Tolerância ao cobre em ecótipos de *Schinus lenticifolius* march (Anacardiaceae) de áreas de mineração no Rio Grande do Sul, Brasil **Acta Botanica do Brasil**. 3 (2) p. 23 -31. 1989
- SAEFL, **Overview on International Organizations, Institutions and Instruments Related to Forests**. Environmental Documentation Nr. 98, pp. 5-44; Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Berne, 1998
- SCHREIBER U, BILGER W Rapid assessment of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. In: JD Tenhunen, FM Catarino, OL Lange, WC Oechel, eds, **Plant Response to Stress - Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems**. pp 27-53. 1987.
- SMITH, R. A. H. & BRADSHAW, A. D. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. **Journal of Applied Ecology** 16:595-612. 1979.
- SMITH, R. A. H. & BRADSHAW, A. D. Stabilization of toxic mine wastes by the use of tolerant plant populations. **Trans. Inst. Min. Metall.** 81, 230±237. 1972
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plant Physiology** 2Ed. 1998 Sinauer Associates, Inc. Sunderland
- TORDOFF, G.M., BAKER, A.J.M., WILLIS, A.J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. **Chemosphere** 41, 218e219. 2000
- VOLNEY, Z. J. & PORTO, M. L. Avaliação do sistema de lagoas em área de mineração de carvão a céu aberto: metais pesados na água, plantas e substrato Em: **Boletim do Instituto de Biociências** n. 49, p. 1-83 1991
- WÓJCIK, M.; VANGRONSVELD, J. & TUKIENDORF, A. Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*: I. Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium **Environmental and Experimental Botany**, vol 53, (2), pp 151-161 2005
- YE Z.H.; WONG J.W.C.; WONG M.H.; BAKER A.J.M.; SHU W.S.I.; LANG C.Y. Revegetation of Pb/Zn Mine Tailings, Guangdong Province, China. **Restoration Ecology** vol. 8, n° 1, p 87-92 2000
- ZOCHE, J. J.: Comunidades vegetais de savana sobre estruturas mineralizadas de cobre, na Mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS 2002 248p il. Tese (doutorado). Instituto de Biociências, UFRGS, Porto Alegre.
- ZOCHE, J. J. & PORTO, M. L. Florística e fitossociologia de campo natural sobre banco de carvão e áreas mineradas, **Acta botanica Brasil** 6, (2), p. 47-84 : il. 1993

Anexo 1. Tabela de possíveis fatores associados

	Tratamento	umidade	ph	Nutrientes	TCR/ TCRcontrole
	CINZAS 25%	Retém umidade	Neutro?	Ok!	1,0
	CINZAS 50%	Retém umidade	Básico?	Ok!	0,9
	CINZAS 75%	Retém umidade	Básico?	Pouco?	0,6
	CINZAS 100%	Retém umidade	Básico?	Pouco?	0,6
	Controle	Retém umidade	Pouco ácido?	Ok!	1,0
	REJEITOS 100%	Pouco úmido	Ácido?	Metais pesados?	0,4
	REJEITOS 75%	Pouco úmido	Ácido?	Metais pesados?	0,7
	REJEITOS 50%	Retém umidade	Ácido?	Ok!	1,1
	REJEITOS 25%	Retém umidade	Ácido?	Ok!	1,2

NOVA TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Não pode ser usado para propósitos científicos

1	2											13	14	15	16	17	18	
H 1,01												B 10,81	C 12,01	N 14,01	O 16,00	F 18,99	He 4,00	
Li 6,94	Be 9,01											Al 26,98	Si 28,09	P 30,97	S 32,06	Cl 35,45	Ne 20,18	
Na 22,99	Mg 24,31											Ga 69,72	Ge 72,61	As 74,92	Se 78,96	Br 79,90	Ar 39,95	
K 39,10	Ca 40,08	Sc 44,96	Ti 47,88	V 50,94	Cr 51,99	Mn 54,94	Fe 55,85	Co 58,93	Ni 58,69	Cu 63,54	Zn 65,37	In 76,57	Sn 118,71	Sb 121,76	Te 127,60	I 126,90	Kr 83,80	
Rb 85,47	Sr 87,62	Y 88,91	Zr 91,22	Nb 92,91	Mo 95,94	Tc 98,91	Ru 101,07	Rh 102,91	Pd 106,42	Ag 107,87	Cd 112,41	Xe 131,29						
Cs 132,91	Ba 137,33	La 138,91		Hf 178,49	Ta 180,94	W 183,84	Re 186,21	Os 190,23	Ir 192,22	Pt 195,08	Au 196,97	Hg 200,59	Tl 204,38	Pb 207,20	Bi 208,98	Po 209	At 209	Rn 222
Fr 223	Ra 226	Ac 227		Rf 261	Db 262	Sg 266	Bh 264	Hs 277	Mt 268	Ds 285	Uuu 288	Uub 287	Uuq 289	Uuh 288				Uuo 289

LEGENDA

	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Nº ATÔMICO	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
SÍMBOLO	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
MASSA ATÔMICA	138,91	140,12	140,91	144,24	144,91	150,36	151,96	157,25	158,93	162,50	164,93	167,26	168,93	173,05	174,97			
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
	227	232	231	238	237	244	243	247	247	251	252	257	258	259	260			

Anexo 2. Tabela periódica destacando os metais pesados citados no texto