

GUSTAVO MAGALHÃES NUNES BARBOSA

**REVEGETAÇÃO DE REJEITO DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE
FERRO COM ESPÉCIES FABÁCEAS DE MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B238r
2014
Barbosa, Gustavo Magalhães Nunes, 1988-
Revegetação de rejeito de beneficiamento de minério de ferro com
fabáceas de Mata Atlântica / Gustavo Magalhães Nunes Barbosa. -
Viçosa, MG, 2014.
vi; 98f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Luiz Eduardo Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Revegetação. 2. Árvore. 3. Fabáceas arbóreas. 4. Recuperação da
terra. 5. Minério de ferro. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição
de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.64

GUSTAVO MAGALHÃES NUNES BARBOSA

REVEGETAÇÃO DE REJEITO DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO COM ESPÉCIES FABÁCEAS DE MATA ATLÂNTICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Aprovada: 27 de fevereiro de 27/02/2014

Genelício Crusoé Rocha

Israel Marinho Pereira

Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)

Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Josué Alves Barbosa Filho e Maria do Rosário Magalhães Nunes Barbosa, pela confiança incondicional, sacrifícios e apoio. Aos meus irmãos João Breno, para quem me forço a ser um bom exemplo, Carolina, pela educação complementar, e Mariana, pelos bons momentos de brincadeiras e filmes.

Agradeço a Camila de B. el Semidi por passar comigo todos os momentos, bons e ruins, e por ser meu porto seguro durante minha jornada.

Agradeço a todos os meus “amigos de copo e de cruz”, Guilherme Musse, Paula Afonso, Douglas Monteiro, Rafael Valadares, Jefferson Paes, Bianca Souza, Rodrigo Fernandes e tantos outros, pelo apoio mútuo e amizade.

Aos “Baluartes” Eduardo Lopes, João Carlos, Rômulo Tolêdo, Romildo Dias, David Medeiros e Fabian Santana, aos amigos Elder Soares, Ezehalles Monteiro, Edmilson Clarindo, Siediberg Vieira e Bruno Cunha e à Tia Rosana por representarem minha segunda família.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de realização do mestrado.

À VALE e à Fapemig, pelo apoio financeiro.

Aos meus orientadores, Luiz Eduardo Dias e Igor Rodrigues de Assis, por toda atenção, ensinamentos, paciência e apoio.

Aos professores Brivaldo G. de Almeida e Rejane Magalhães de M. Pimentel, à Dr^a Lúcia Raquel Q. P. da Luz e à Dr^a Selma Cavalcanti C. de H. Tavares, pela fundamental contribuição para minha formação acadêmica e moral.

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Acima de tudo agradeço a Deus, por sempre iluminar meus caminhos.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO GERAL	2
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. Mineração de ferro no Brasil, a geração de rejeitos e os danos ambientais	3
4.2. Espécies arbóreas na recuperação de áreas degradadas	5
4.2.1. Leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas	6
4.2.2. Resposta das leguminosas arbóreas nativas do Brasil à adubação com macronutrientes e ao estresse hídrico	10
4.3. Lodo de estação de tratamento de esgoto e seus usos	13
Literatura citada.....	17
Capítulo 1	24
Resumo	24
Abstract	24
Introdução.....	25
Material e Métodos.....	26
Resultados	31
Discussão.....	40
Conclusões.....	43
Literatura citada.....	44
Capítulo 2	47
Resumo	47
Abstract	47
Introdução.....	48
Material e Métodos.....	50
Resultados	54
Discussão.....	65

Conclusões.....	68
Literatura citada.....	69
Capítulo 3.....	71
Resumo	71
Abstract	71
Introdução.....	72
Material e Métodos.....	73
Resultados	79
Discussão.....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98

RESUMO

BARBOSA, Gustavo Magalhães Nunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Revegetação de rejeito de beneficiamento de minério de ferro com espécies fabáceas de mata atlântica.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientador: Igor Rodrigues de Assis

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de espécies fabáceas arbóreas nativas da Mata Atlântica para revegetação de bacias de rejeito de beneficiamento de minério de ferro. O potencial das espécies foi determinado por meio de avaliação das taxas de crescimento da altura (TCAC) e do diâmetro (TCDC) do caule, das taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e das raízes (TCAr) e acúmulo de N, P e K nas plantas de maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze), mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth), Cássia Rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) e Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake), cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro, submetidas a diferentes doses de NPK em tratamento com e sem estresse hídrico (EH). Os níveis de NPK utilizados foram: 0 (controle); 75; 150 e 300 mg dm⁻³ de N e K, e 0 (controle); 100; 200 e 400 mg dm⁻³ de P. Nos tratamentos sem estresse hídrico (EH) o potencial mátrico (ϕ_m) do substrato foi mantido em -50 kPa, enquanto nos tratamentos com EH o ϕ_m foi reduzido gradualmente em intervalos de 30 dias, ficando: -50; -125; -250 e -1000 kPa para os meses um, dois três e quatro, respectivamente. Avaliou-se também as TCAC, TCDC, TCApa, TCAR de plantas de maricá (*M. bimucronata* (DC) Kuntze) e do fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro, submetidas a diferentes doses de lodo de estação de tratamento de esgoto, assim como o efeito das interações entre espécies e adubação na melhoria das propriedades físicas e químicas do substrato. As doses de lodo de ETE utilizadas foram: 0 (controle); 20; 40 e 80 t ha⁻¹. De modo geral, as espécies apresentaram maiores TCAC, TCDC, TCApa, TCAR e acúmulo de N, P e K quando adubadas com 300; 400; 300 mg dm⁻³ de NPK e quando não há déficit hídrico que reduziu o ϕ_m do substrato para -1000 kPa, exceto para o mulungu, onde o ϕ_m deve ficar acima de -125 kPa. A adubação com 80 t ha⁻¹ de lodo de ETE promoveu melhorias na CTC e nas características físicas do substrato e no teor de carbono orgânico total da camada de 0 a 2,5 cm de profundidade, assim como maiores TCAC, TCDC, TCApa, TCAR das espécies.

ABSTRACT

BARBOSA, Gustavo Magalhães Nunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2014. **Revegetation of tailings from beneficiation of iron ore with Fabaceae species of Mata Atlântica.** Advisor: Luiz Eduardo Dias. Co-advisor: Igor Rodrigues de Assis

The objective of this study was to evaluate the potential of Fabaceae native tree species of Mata Atlântica for revegetation of tailings dam from beneficiation of iron ore. The potential of the species was determined by assessing the rates of height growth (TCAC) and diameter (TCDC) of the stem, the absolute rates of shoot growth (TCApa) and roots (TCAr) and accumulation of N, P and K in plants of marica (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze), mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth), cassia rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) and guapuruvu (*Schizolobium parahyba* SF Blake), grown in samples of tailings beneficiation of iron ore, exposed to different doses of NPK treated with and without water stress (EH). NPK levels were: 0 (control); 75; 150 and 300 mg dm⁻³ of N and K, and 0 (control); 100; 200 and 400 mg dm⁻³ of P. In the treatments without water stress (HS) the matric potential (ϕ_m) of the substrate was kept at -50 kPa, while the treatment with EH the ϕ_m was gradually reduced in 30-day intervals, getting -50; -125; -250 and -1000 kPa for months one, two, three and four, respectively. Was also assessed the TCAC, TCDC, TCApa, TCAR of marica plants (*M. bimucronata* (DC) Kuntze) and fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) grown in samples of tailings from beneficiation of iron ore, exposed to different doses of sludge from sewage treatment plants, as well as the effect of interactions between species and fertilization on physical and chemical properties of the substrate. The dose of sludge were used: 0 (control); 20; 40 and 80 t ha⁻¹. In general, the species had higher TCAC, TCDC, TCApa, TCAR and accumulation of N, P and K when fertilized with 300; 400; 300 mg dm⁻³ of NPK and when there is no drought which reduced the substrate ϕ_m to -1000 kPa, except for the mulungu, where the ϕ_m must be above -125 kPa. The fertilization with 80 t ha⁻¹ sludge promoted improvements in CTC and the physical characteristics of the substrate and the total organic carbon content of between 0 and 2,5 cm depth, as well as larger TCAC, TCDC, TCApa, HRCT of the species.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O setor minerário exerce importante papel na economia brasileira, pois colabora para o aumento do produto interno bruto (PIB), assim como para geração de empregos diretos e indiretos (Quaresma, 2009). Entretanto, a atividade mineraria, juntamente com a agropecuária, são consideradas as principais responsáveis pela degradação ambiental, sendo a mineração responsável por uma degradação pontual e de grande magnitude e a agropecuária por uma degradação menos drástica, porém atingindo grandes extensões de terra (Oldeman, 1994).

O primeiro efeito visível da degradação de áreas mineradas é a poluição visual, sendo considerado como efeito de fácil constatação, principalmente em atividades extrativas a céu aberto (Silva, 2007).

Segundo Silva (2007), a poluição da água, do ar e sonora, assim como a subsidência do terreno são exemplos de problemas oriundos da mineração. O autor ainda chama atenção para as alterações drásticas dos terrenos vizinhos à mineração, principalmente quanto às áreas utilizadas para deposição dos rejeitos provenientes do beneficiamento do minério, denominadas bacias ou depósitos de rejeito.

A recuperação ambiental dos depósitos de rejeito é uma tarefa complexa, existindo, ainda, vários desafios a serem superados. As condições químicas, físicas e biológicas dos substratos encontrados nestes depósitos criam um ambiente inóspito para o crescimento das raízes, com limitações hídricas e de fertilidade (Dias et al., 2007a).

No entanto, corroborando a idéia de desenvolvimento sustentável, a legislação ambiental brasileira exige a recuperação do meio ambiente degradado após a retirada do minério. A partir de 1988, a Constituição Federal (Artigo 225) estabeleceu a obrigatoriedade da recuperação das áreas degradadas pela atividade minerária e o decreto N° 97.632, de 10 de abril de 1989, Art.1, a obrigatoriedade da apresentação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

A recuperação de um sistema degradado tem como base restabelecer ao substrato condições para que possa cumprir os serviços desempenhados pelo solo em qualquer sistema natural em equilíbrio (Dias et al., 2007a). Este processo de recuperação inicia-se a partir da criação de um ciclo biogeoquímico, que irá proporcionar incremento de matéria orgânica ao substrato, facilitando o

estabelecimento de comunidades vegetais, animais e microbianas, o que certamente direcionaria o sistema a um determinado nível de sustentabilidade.

A escolha das espécies a serem utilizadas no processo de recuperação de áreas fortemente alteradas é um aspecto que merece atenção. Ainda são poucos os estudos que abordam o potencial de espécies nativas para revegetação das áreas degradadas pela mineração. Ainda, é válido salientar que a utilização de espécies nativas é de primordial importância para a restauração de uma vegetação mais próxima possível da original.

Alguns estudos mostram que o uso de fabáceas arbóreas nativas da Mata Atlântica, é uma eficiente técnica de recuperação ambiental em áreas com solos com baixo teor de matéria orgânica, proporcionando melhoria das características químicas, físicas e biológicas (Carvalho et al., 2000; Costa et al., 2004; Bezerra et al., 2006).

Contudo, pouco se sabe da adaptação das fabáceas arbóreas nativas da Mata Atlântica quando, na área a ser recuperada, o solo é coberto por algum tipo de substrato. Tendo em vista os bons resultados obtidos por meio do uso de fabáceas arbóreas exóticas em áreas deste tipo (Dias et al., 2007a), espera-se que também haja boa adaptação de espécies leguminosas nativas. No entanto, são necessários estudos visando selecionar as espécies mais adaptáveis e que melhor contribuam para a recuperação de áreas com presença de substratos, possibilitando, desta forma, uma recuperação ambiental eficiente e sem inclusão de espécies exóticas no sistema.

Embora “Fabaceae” seja, atualmente, a nomenclatura correta da família botânica também denominada “Leguminosae” (Sousa & Lorenzi, 2008), no presente trabalho será utilizado o termo “leguminosa” quando se referir a espécies pertencentes a esta família, tendo em vista a comum utilização deste termo no contexto de recuperação de áreas degradadas.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de espécies leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica para revegetação de bacias de rejeito de beneficiamento de minério de ferro.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a produção de biomassa e acúmulo de N, P e K nos tecidos das plantas de maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze), mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth), Cássia Rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) e Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake), cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro, submetidas a diferentes doses de NPK e estresse hídrico.

Avaliar o crescimento do maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) e do fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro, submetidas a diferentes doses de lodo de estação de tratamento de esgoto e o efeito das interações entre espécies e adubação na melhoria das propriedades físicas e químicas do substrato.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Mineração de ferro no Brasil, a geração de rejeitos e os danos ambientais

Em meados da década de 90 foi realizada a última estimativa da degradação de solos no mundo, publicado por Oldeman (1994). Os resultados mostraram que aproximadamente 15 % dos solos do mundo estão degradados ou em processo de degradação. Deste total, 1,2 % está relacionado às atividades das indústrias de mineração, que ocupa o posto de segundo maior agente degradante, ficando atrás, apenas, da agropecuária, responsável pelos 98,8% restantes. Embora a extensão de áreas degradadas pela atividade minerária seja cerca de 82 vezes menor que a área degradada pelos processos de agricultura e extrativismo, seus danos são mais sérios e difíceis de reparar.

Contudo a exploração de minérios é de relevante peso para o aumento do índice de desenvolvimento humano (IDH) e do produto interno bruto (PIB) brasileiro. Avaliações recentes indicam o ferro como principal produto mineral exportado, gerando uma renda de 35,36 milhões de dólares no ano de 2010. Neste mesmo ano, houve uma produção de 372 milhões de toneladas, dando ao Brasil o título de segundo produtor mundial de ferro, ficando atrás apenas da Austrália (IBRAM, 2011).

As reservas medidas e indicadas de minério de ferro no Brasil alcançam 29 bilhões de toneladas, situando o país em quarto lugar em relação às reservas mundiais, de 160 bilhões de toneladas. Porém, o teor de ferro no minério das reservas brasileiras se destaca frente às reservas mundiais, isto devido às altas concentrações de ferro encontradas na Hematita (60 % de ferro), predominantemente no Pará, e no Itabirito (50 % de ferro), predominantemente em Minas Gerais (IBRAM, 2011).

Estima-se que cerca de 70 % do minério lavrado no estado de Minas Gerais tem como destino as barragens de rejeito (Quaresma, 2009), onde são acumulados os produtos sem valor econômico, gerados a partir do processo de beneficiamento industrial do minério. Segundo Silva (2010), os rejeitos oriundos do beneficiamento do ferro apresentam faixas granulométricas bastante diversas, que variam desde areias médias até silte. Mendes (2007) ainda complementa que a complexidade do processo de disposição e a variabilidade das propriedades físico-químicas dos rejeitos depositados influenciam a distribuição das densidades e porosidade, fazendo com que estas grandezas dificilmente sejam mantidas dentro de determinados padrões de referência.

No processo de beneficiamento, não é possível recuperar todos os minerais de interesse mesmo com os avanços das técnicas de processo e utilização de reagentes químicos diversos (Silva, 2010). Este fato pode ser observado pelo alto teor de Fe encontrado nos substratos das bacias de rejeito de mineração de ferro (Dias et al., 2007a; Gomes et al., 2011).

Além do alto teor de Fe, os substratos encontrados nas bacias de rejeito da mineração do ferro podem apresentar elevadas concentrações de outros metais, como Mn e Zn, baixas concentrações de nutrientes e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), o que pode interferir no metabolismo e crescimento das plantas (Dias et al., 2007a). Além disso, as propriedades físicas do rejeito de mineração de ferro são variáveis.

Silva et al. (2006), observaram em rejeito deste tipo teores da ordem de 5,4 % de areia grossa; 72,9 % de areia fina; 12,2 % de silte e 2,1 % de argila. Estes autores constataram que, apesar de ser muito arenoso, este tipo de rejeito apresenta condutividade hidráulica relativamente baixa. Este fato foi relacionado à presença de muita areia fina, que, segundo Manfredini et al. (1984), promoveria o aumento da retenção de água, em função da diminuição do volume de macroporos. Por outro

lado, estudos com este tipo de rejeito, em Nova Lima-MG, mostram que o substrato formado apresenta elevada macroporosidade, baixa microporosidade e baixa capacidade de retenção de água (Dias et al., 2007a), o que evidencia que a composição deste material é bastante variável.

A geração de grande quantidade de rejeitos e sua disposição em bacias de captação afeta de forma qualitativa e quantitativa o meio ambiente. Os principais impactos ambientais decorrentes destas atividades são os desmatamentos das áreas de construção das barragens, as alterações nos aspectos qualitativos das águas superficiais, alterações no regime hidrológico dos cursos de água, o desencadeamento dos processos erosivos, a mortalidade da ictiofauna e a fuga de animais silvestres (IPT, 1992).

O reparo destes danos é de fundamental importância para o fechamento da mina e entrega da área. Segundo o art. 225, § 2º da Constituição Federal de 1988, “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.”

4.2. Espécies arbóreas na recuperação de áreas degradadas

O sucesso da recuperação de uma área degradada está intimamente ligado às espécies utilizadas para recuperação. Espécies bem adaptadas e de rápido crescimento são fundamentais para a formação de coberturas vegetais, que diminuem as variações de temperatura do solo, retêm maior quantidade de água, diminuem a evaporação e o escoamento superficial e evitam processos erosivos (Nogueira et al., 2012).

Outro importante ponto a ser levado em consideração é a capacidade que algumas espécies têm de fixar nitrogênio no solo por meio da fixação de N₂ atmosférico com associações simbióticas com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* ou actinomicetos do gênero *Frankia* (Fisher, 1995). Esta é uma característica predominantemente associada às espécies leguminosas.

A utilização de espécies arbóreas é de grande importância visto que estas podem produzir frutos atrativos à fauna ou que forneçam abrigo, favorecendo a

chegada de propágulos na área e, conseqüentemente, contribuindo para aumentar a biodiversidade do sistema.

Espécies arbóreas apresentam inúmeras vantagens num processo de recuperação, quanto à melhoria da qualidade do solo. O extenso sistema radicular permite que as árvores não só acumulem nutrientes que são retirados de grande volume de solo, mas também efetuem sua redistribuição melhorando a fertilidade dos horizontes sub-superficiais. As árvores também permitem melhor condicionamento do solo pelo incremento de matéria orgânica, além de favorecer a melhoria das condições microclimáticas do solo e da superfície. As árvores criam condições favoráveis de meso e microfauna e microflora, melhorando características físicas, químicas e biológicas na rizosfera, resultando em um profundo efeito benéfico no crescimento das plantas e das características do solo (Fisher, 1995).

As árvores remanescentes em paisagens abertas, tais como savanas e pastagens, são estruturas-chave, tendo grande interferência nos processos ecológicos, tais como infiltração de água e ciclagem de nutrientes armazenados em camadas profundas do solo, desproporcionais à área que ocupam no ecossistema (Manning et al., 2006).

De acordo com Haynes & Beare (1996), as raízes exercem um papel importante na formação de agregados. O crescimento destas por entre os poros do solo força uma aproximação das partículas, que conjugado à exsudação de compostos orgânicos, promove a agregação. Outra vantagem da utilização de espécies arbóreas na recuperação de áreas degradadas deve-se ao fornecimento de abrigo, sombra e forragem para a fauna (Dagang & Nair, 2003).

4.2.1. Leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas

A família botânica Leguminosae é uma das mais importantes nos trópicos, com representantes herbáceos, arbustivos e arbóreos distribuídos em mais de 650 gêneros e 1800 espécies, sendo no Brasil encontradas 1500 espécies distribuídas em 175 gêneros (Franco et al., 2003; Souza & Lorezi, 2008). A grande diversidade de espécies de leguminosas, aliadas ao importante papel que estas plantas exercem na incorporação de material orgânico ao solo, cobertura do solo e suprimento de

nitrogênio aos ecossistemas, faz com que as plantas desta família botânica sejam eficientes na recuperação de áreas degradadas (Ribeiro, 1999; Azevedo et al., 2007).

A maioria das espécies leguminosas arbóreas é capaz de formar simbiose eficiente com bactérias diazotróficas (Faria et al., 1999). Devido a essa associação, diversas espécies da família têm sido utilizadas como condicionadoras de solos ácidos e de baixa fertilidade, como os solos tropicais, pois apresentarem baixa exigência nutricional e tolerância à acidez do solo (Dias et al., 1991; Fernández et al., 1996; Balieiro et al., 2001).

Um efeito mais pronunciado sobre a fertilidade do solo tem sido observado quando se utiliza leguminosas arbóreas com capacidade para fixar o nitrogênio do ar atmosférico (Dias et al., 2007b), entretanto, os benefícios não são restritos a essas espécies. Avaliando a utilização de sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas, Dubois (1989) comprovou que o controle dos processos erosivos e manutenção da fertilidade do solo através da ciclagem de nutrientes promovida pelo consórcio de leguminosas arbóreas com outras culturas foram eficientes independentemente de serem fixadoras de nitrogênio ou não.

A capacidade de melhoria da fertilidade do solo por meio de cultivo de leguminosas arbóreas também foi confirmada por Gomes et al. (2006a) que, investigando o retorno de nutrientes ao solo por meio de serrapilheira, constatou que em povoamentos homogêneos, *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) contribuiu para o aumento da matéria orgânica e dos macronutrientes na superfície do solo, sobretudo das quantidades de nitrogênio e potássio.

Costa et al. (2004) mostraram que a serrapilheira produzida por *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia auriculiformis* e *Gliricidia sepium*, dez anos após o plantio, apresentaram valores variando entre 5,7 a 11,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, não muito diferentes dos 9,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ produzido por uma mata secundária com vinte anos de idade. Na mesma área, o aporte anual de nutrientes variou entre 130 a 170 kg ha⁻¹ para nitrogênio, 4,9 a 7,9 kg ha⁻¹ para fósforo, 24 a 31 kg ha⁻¹ para potássio, 150 a 190 kg ha⁻¹ para cálcio e 29 a 40 kg ha⁻¹ para magnésio, apresentando semelhança ou superioridade aos valores referentes à mata secundária.

A elevada produção de serrapilheira está relacionada com o rápido crescimento apresentado por muitas espécies leguminosas que promovem o incremento de carbono no solo, visto que, durante o crescimento da planta ocorre a

fixação do carbono pelo processo de fotossíntese, que é acumulado na sua biomassa vegetal. Parte da biomassa produzida retorna ao solo, em forma de folhas, galhos e estruturas reprodutivas, contribuindo com a formação da camada de serrapilheira. Portanto, a ação do processo de decomposição sobre a serrapilheira proporciona a ciclagem de nutrientes, exercendo importante papel na recuperação de áreas degradadas (Nogueira et al., 2012).

Macedo et al. (2008) avaliaram o estoque de carbono do solo treze anos após a recuperação de áreas de “empréstimo” com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na região de Angra dos Reis, RJ. Os autores observaram que a concentração de carbono na camada de 0-5 cm do solo da área recuperada com leguminosas foi semelhante aos valores encontrados na mata nativa, utilizada como área de referência, e superior aos apresentados por outra área desmatada (não recuperada). Este fato foi atribuído à grande quantidade de serrapilheira aportada pelas leguminosas arbóreas.

Uma acelerada produção de biomassa e, conseqüentemente, um grande aporte de matéria orgânica ao solo é de extrema importância para a recuperação de áreas em estágio avançado de degradação, pois permite ao sistema suportar uma comunidade mais complexa (Chaer et al., 2011). Este fato atribui-se a uma importante função da matéria orgânica na formação e manutenção da estrutura do solo, na fertilidade e na disponibilidade de água e nutrientes (Six et al., 2002)

Outro ponto importante é que várias espécies de leguminosas arbóreas estimulam a resiliência do sistema através do processo de sucessão natural, o que inclui a colonização da área por espécies de plantas nativas, a restauração da qualidade do solo e da vida animal (Chaer et al., 2011).

O uso de leguminosas arbóreas de rápido crescimento estimula a regeneração espontânea de ambientes degradados, processo que ocorre através de interações internas do ecossistema que promove o fluxo de energia e nutrientes interferindo na estrutura e na estabilidade das comunidades vegetais (Resende et al., 2006).

Chada et al. (2004) observaram, após sete anos do plantio de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio em uma encosta degradada em Angra dos Reis, RJ, próxima a uma floresta, a presença de cinquenta espécies nativas de vinte e cinco famílias botânicas diferentes que, aos poucos, estavam se estabelecendo na área.

Observa-se também a influência das leguminosas arbóreas no aumento da diversidade da macro e microfauna do solo, como no trabalho de Carvalho et al., (2000), que estudou formas de recuperação de uma área degradada de relevo forte ondulado da região serrana do Rio de Janeiro, por meio do consórcio de espécies arbóreas com poaceas forrageiras. Estes autores ressaltam que dentre as espécies estudadas, as leguminosas *Erythrina velutina* (eritrina), *Acacia mangium* (acácia) e a *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá) foram as que se destacaram no conjunto de parâmetros avaliados.

Vários autores (Dias et al, 2010; Assis et al, 2011; Chaer et al, 2011; Nogueira et al, 2012) destacam o uso de leguminosas arbóreas na recuperação de áreas drasticamente alteradas por processos de mineração. Dias et al. (2010) avaliaram o crescimento de mudas de leguminosas em solo contaminado com arsênio e concluiu que as espécies *Sesbania virgata* e *Leucaena leucocephala* apresentam potencial para serem utilizadas em programas de fitorremediação de áreas contaminadas por este elemento.

A recuperação de áreas sulfetadas foi um tema abordado no trabalho de Assis et al. (2011), onde foram utilizadas dez espécies, entre árvores e arbustos, pra testar diferentes tipos de camadas de cobertura que permitissem a revegetação de um substrato minerado proveniente da mineração de ouro em Paracatu – MG. Os autores observaram que, de modo geral três leguminosas arbóreas se destacaram, sendo a *Acacia farnesiana* e a *Mimosa bimucronata* com as melhores taxas de sobrevivência e a *Acacia holosericea* com a maior produção de matéria seca.

Chaer et al. (2011), citam um estudo de revegetação de um depósito de estéril de mineração de ferro no estado de Minas Gerais, onde foram utilizadas quinze leguminosas arbóreas, contendo fixadoras e não fixadoras de nitrogênio. A estratégia deste experimento foi mesclar espécies fixadoras de nitrogênio com espécies atrativas da fauna, que teriam o papel de propagar espécies nativas que não foram introduzidas de maneira antrópica. Dois anos após o início do experimento, foi observado que, além da boa adaptação de algumas espécies, como *Acacia angustissima*, *Mimosa artemisiana* e *Enterolobium contortisiliquum* (todas fixadoras de nitrogênio), houve uma colonização por espécies não plantadas, provavelmente provenientes de propágulos, principalmente pela dispersão anemocórica e zoocórica.

São escassos os trabalhos utilizando leguminosas arbóreas para a recuperação ambiental de bacias de rejeito de mineração de ferro, porém a utilização destas espécies neste tipo de ambiente é promissora, visto que a recuperação de outros tipos de áreas degradadas pode ser realizada com sucesso a partir da utilização destas espécies, como relatam Nogueira et al. (2012), afirmando ser uma técnica de baixo custo e com bons resultados.

4.2.2. Resposta das leguminosas arbóreas nativas do Brasil à adubação com macronutrientes e ao estresse hídrico

De maneira geral, as espécies florestais apresentam características distintas de comportamento, sobretudo quanto às exigências nutricionais (Nodari, 1984). De acordo com Raij (1991), o bom crescimento das mudas de espécies florestais nativas é imprescindível para sua sobrevivência no campo e para efetivação dos reflorestamentos e práticas de enriquecimento de ecossistemas florestais degradados. Um dos fatores na determinação da sobrevivência de uma espécie é seu desenvolvimento inicial, de modo que a habilidade competitiva e o uso de recursos por cada muda podem determinar a composição de espécies de árvores adultas em florestas (Croce et al., 2007).

A adubação no desenvolvimento inicial é um fator determinante para o desenvolvimento das mudas. No entanto, a adubação costuma ser inadequada na prática visto que não são respeitadas exigências de cada tipo de solo e planta (Aguar et al., 1989).

Apesar da constante utilização de leguminosas arbóreas em programas de recuperação de áreas degradadas, a maioria dessas espécies têm as exigências nutricionais desconhecidas, o que tem conduzido à adoção de adubações genéricas, desconsiderando as exigências de cada espécie, impossibilitando assim a obtenção do potencial máximo de crescimento e a otimização dos insumos (Fernández et al., 1996).

O conhecimento do comportamento nutricional de cada espécie gera maior produtividade, economia e menores impactos ambientais nos plantios florestais (Souza et al., 2006). Entretanto, a produtividade das espécies arbóreas com alto potencial de crescimento, como as leguminosas arbóreas, é frequentemente limitada

por restrições nutricionais e hídricas, tornando imprescindível, para o sucesso da implantação destas espécies em solos marginais, o conhecimento das exigências nutricionais, o que permitirá a escolha de espécies adequadas aos ambientes de baixa fertilidade (Marques et al., 2004).

Nos últimos anos vem ocorrendo muitas mudanças na produção de mudas de espécies arbóreas nativas, ocorrendo um aprimoramento da qualidade, visando o melhor desenvolvimento no campo e, conseqüentemente, minimizando o trabalho de manutenção das mudas e os custos de implantação dos projetos de reflorestamento (Pires de Moraes Neto et al, 2001).

Existem na literatura estudos relacionados às respostas de algumas espécies nativas à adubação na fase inicial do crescimento. O fedegoso (*Senna macranthera*) é um exemplo de espécie em que estudos sobre sua fertilização têm sido conduzidos, visando à melhoria das mudas produzidas. Entre esses estudos, citam-se os de Silva et al. (1997), que verificaram que a espécie é responsiva ao potássio; Pereira et al. (1996a) que observaram efeito negativo da adição de nitrogênio e o de Pereira et al. (1996b) onde foi verificado que, de forma contrária, em cultivo com areia lavada, verificaram efeitos positivos da adição de nitrogênio no crescimento das mudas, o que evidencia sua demanda pela espécie. Paron et al. (1997), por sua vez, não verificaram efeito da adição de nitrogênio no crescimento das mudas de *S. macranthera* cultivadas em um Latossolo, enquanto a adição de fósforo promoveu significativo aumento no crescimento das plantas.

Cruz et al. (2011), avaliando o crescimento e a qualidade de mudas de fedegoso (*S. macranthera*) em resposta à aplicação de macronutrientes, verificaram que após seis meses da aplicação de fertilizantes à base de macronutrientes, comparados com a não adição, levou a ganhos significativos no crescimento e qualidade das mudas, concluindo que houve efeito da aplicação de doses crescentes de potássio, fósforo e enxofre.

Estudando o crescimento de mudas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) sob diferentes doses de macronutrientes, Gonçalves et al. (2008), concluíram que a aplicação de macronutrientes refletiu no maior crescimento e desenvolvimento das mudas, sugerindo ainda doses recomendadas de nitrogênio (50 a 200 mg dm⁻³), fósforo (150 a 250 mg dm⁻³), potássio (50 mg dm⁻³), cálcio (0,8 cmol_c dm⁻³), magnésio (0,2 a 0,8 cmol_c dm⁻³) e enxofre (20 a 80 mg dm⁻³).

Gonçalves et al. (2010) estudaram o crescimento de mudas de *M. caesalpiniaefolia* sob diferentes doses de macronutrientes, onde observaram que a aplicação de fósforo foi a mais benéfica para o crescimento das mudas, seguido pelo enxofre e nitrogênio. Esta espécie se mostrou pouco exigente em potássio, cálcio e magnésio, requerendo baixa quantidade destes para seu crescimento adequado. Os mesmos autores, com base nos resultados encontrados recomendaram doses variando de 50 a 200 mg dm⁻³ de nitrogênio, de 312 a 600 mg dm⁻³ de fósforo, de 50 mg dm⁻³ de potássio, 0,8 cmol_c dm⁻³ de cálcio e 0,2 cmol_c dm⁻³ de magnésio.

Sabe-se, porém, que a absorção de nutrientes está intimamente ligada ao conteúdo de água no solo. Meurer (2007) considera que, provavelmente, a água do solo é o fator que mais influencia na absorção, pois esta ocorre a partir do contato dos nutrientes com a superfície da raiz, o que depende do transporte em meio aquoso, seja por difusão ou fluxo de massa.

Entretanto, existem outras razões que tornam a água um fator fundamental na produção vegetal, como, por exemplo, o fluxo interno da água na planta, que é extremamente necessário para o crescimento vegetal. Nota-se que durante o ciclo reprodutivo das espécies, cerca de 98 % da água absorvida atravessa a planta e perde-se, posteriormente, para a atmosfera, sendo então necessário um bom manejo da água no solo a fim de manter a umidade dentro dos limites ótimos para as culturas (Meurer, 2007).

Quando há pouca água disponível e a capacidade da planta para se ajustar a baixos níveis de umidade é atingida ocorre a perda da estabilidade das estruturas (proteínas, biomembranas, etc) e das funções vitais (processos bioquímicos e metabolismo energético). Se o fator de estresse perdura, ocorre resposta da planta em forma de processos adaptativos; esta é a fase de aclimatação (Larcher, 2000).

Todavia, isto requer gasto energético, resultando, na melhor das hipóteses, em redução do crescimento. Se a intensidade e/ou duração do estresse supera a capacidade de resposta da planta, um estado de exaustão pode ocorrer, podendo ocasionar até a sua morte (Larcher, 2000).

Sintomas decorrentes do estresse hídrico puderam ser observados por Dantas (2006), avaliando o crescimento inicial de duas leguminosas arbóreas controlado pela disponibilidade de água e nutrientes. Neste estudo as plantas foram submetidas a dois níveis de estresse hídrico; o primeiro nível teve a umidade variando entre 0,1 a 0,5

MPa enquanto o segundo variou de 0,1 a 1,2 MPa. As espécies avaliadas foram a gliricídia (*Gliricídia sepium*) e a jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), que, mesmo sendo espécies xerófilas, apresentaram uma menor produção de matéria seca, bem como um menor aproveitamento de fósforo e potássio, quando submetidas ao nível mais elevado de estresse hídrico.

Entretanto, para as espécies florestais nativas, estudos relacionados à fertilidade e ao estresse hídrico são ainda escassos e insuficientes, por causa do grande número de espécies existentes nos diferentes biomas brasileiros, sendo necessárias mais investigações, particularmente quando são usados substratos pobres em nutrientes (Croce et al., 2007).

4.3. Lodo de estação de tratamento de esgoto e seus usos

O lodo de estação de tratamento de esgoto (lodo de ETE) é um resíduo de composição predominantemente orgânica, obtido ao final do tratamento das águas servidas à população (Vieira & Cardoso, 2003), de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que sejam agentes de poluição.

Em consequência de sua riqueza em nutrientes, principalmente N e P, a utilização em terras agricultáveis tem se apresentado como uma opção racional do uso deste material orgânico (Vieira & Cardoso, 2003). Deste modo, o lodo de ETE vem de maneira crescente revelando-se como um importante insumo agrícola, de interesse não só na fertilização das culturas, mas por viabilizar a ciclagem de nutrientes, promover a melhoria das condições físicas e biológicas dos solos e por reduzir a pressão de exploração sobre os recursos naturais (Simonete, 2001), no entanto, alguns problemas ambientais podem ser gerados a partir do uso indiscriminado deste resíduo, geralmente relacionados com sua variada composição química (Gomes et al., 2006b), que dependerá diretamente do tipo de efluente que chega à estação de tratamento de esgoto (Nascimento et al., 2004).

Quando o efluente é originado essencialmente de rejeitos domésticos as quantidades de metais pesados tóxicos fornecidas ao solo e absorvidas pelas plantas são geralmente baixas. Efluentes de origem industrial podem gerar lodos com alta concentração de metais pesados, cujo uso agrícola iria se constituir em risco real de contaminação da cadeia trófica (Nascimento et al., 2004) via absorção e translocação

desses elementos em plantas cultivadas nessas áreas, devido à possibilidade de percolação de metais para águas subterrâneas (Gomes et al., 2006b).

Como, de forma geral, o lodo de ETE é um material com alta carga orgânica composto de macro e micronutrientes, substâncias orgânicas persistentes e microrganismos patogênicos, a sua disposição indiscriminada pode levar ainda à eutrofização dos mananciais, devido aos nutrientes N e P, à atração de vetores e à emissão de odores desagradáveis, além da contaminação de humanos e animais por patógenos de origem fecal (Da Cas, 2009).

Deste modo, embora a utilização agrícola de lodo de esgoto se apresente como uma das alternativas mais viáveis para a disposição final deste resíduo, a possibilidade da ocorrência de danos à saúde humana pode limitar sua utilização como fertilizante.

Desta forma, o reflorestamento é uma excelente opção de uso para o lodo de esgoto (Fernandes et al., 1997). Altas doses de lodo podem ser utilizadas, com alto grau de segurança, devido ao ciclo longo das plantas e por não se tratar de produção alimentar (Campos & Alves 2008; Da Cas, 2009), além de proporcionar o fornecimento mais equilibrado de nutrientes e reduzir as perdas por erosão e lixiviação (Rosselli et al., 2003).

Outros estudos têm sido feitos visando seu uso para recuperação de áreas drasticamente alteradas, como em áreas de “empréstimo” e de mineração, sob o argumento de que a incorporação de fontes de matéria orgânica nestes substratos é uma importante técnica de recuperação deste tipo de ambiente (Leite et al., 1994).

Vários estudos nesta linha de pensamento têm apontado que uso de resíduos orgânicos para o estabelecimento de uma cobertura vegetal sobre superfícies expostas pela mineração tem-se mostrado eficaz em diferentes ecossistemas (Bezerra et al., 2006; Adani et al., 2007; Corrêa et al., 2010) e o lodo de ETE já tem sido utilizado como condicionador físico e fertilizante em situações semelhantes (Brofas et al., 2000).

Frente à situação atual, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) regulamentou através da resolução 375/2006 (Brasil, 2006), os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de ETEs e seus produtos derivados, considerando os benefícios que o lodo de esgoto pode trazer a agricultura como fonte de matéria orgânica e também de nutrientes para as plantas, e os riscos a saúde

pública e ao ambiente. Porém não há legislação, até o presente momento, quanto ao seu uso para fins de reflorestamento.

O lodo de ETE contém um alto teor de matéria orgânica (Melo et al., 2001), o que pode ajudar a melhorar as características físicas do material exposto, elevar a sua fertilidade e servir de meio para o estabelecimento e manutenção de microrganismos e fauna de solo (Pignataro Netto et al., 2009). Possui também quantidades apreciáveis de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e, devido a estas características, pode ser usado como fonte desses elementos na agricultura (Melo et al., 2001).

A principal vantagem do lodo de ETE em relação aos fertilizantes minerais é o modo contínuo como os nutrientes são liberados para o solo e para o sistema radicular das árvores, podendo este efeito durar vários anos (Da Cas, 2009). Alguns estudos têm sido feitos abordando o potencial do lodo de ETE como fertilizante orgânico alternativo.

Gonçalves (2005) avaliou os efeitos da reciclagem do nitrogênio presente no lodo e sua influência na produtividade do cafeeiro, concluindo que a aplicação em superfície de 11,5 a 23 t ha⁻¹ de lodo seco foi eficiente em fornecer nitrogênio para as plantas de café. Não foi indicado risco de lixiviação de nitrato para as águas subterrâneas, pois apenas 3 a 5 % do nitrogênio total aplicado via lodo foi lixiviado, assim como não mostrou significativas perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, mesmo em altas dosagens (80 e 160 t ha⁻¹).

Outros autores (Da Ros et al., 1993; Poggiani et al., 2000; Nascimento et al., 2004) observaram um aumento importante no teor de nitrogênio total do solo devido à aplicação de lodo de ETE, indicando a eficiência do resíduo em suprir a demanda por nitrogênio para um bom crescimento vegetal.

Vieira & Silva (2004) testaram doses de fósforo equivalente à metade e ao dobro da dose adequada, e observaram valores de produção semelhantes entre os tratamentos com lodo (3,0 e 6,0 t ha⁻¹) e o tratamento com fertilizantes. Estes autores concluíram que, nessas doses, o lodo poderia suprir a necessidade de fósforo para a cultura da soja. Os mesmos autores atestaram ainda que quando em dose adequada, a aplicação do lodo de ETE não interfere na nodulação da soja.

Segundo Boyd et al. (1980), o maior uso de lodo de ETE em áreas agrícolas pode ser uma alternativa eficiente para o maior sequestro de carbono no solo, o

aumento da produção de biomassa vegetal e a melhoria do grau de fertilidade de solos brasileiros. Isso devido ao carbono estar presente no lodo em altas concentrações, com teores variando de 18 a 50 % na matéria seca desse resíduo. Entretanto, aumento nos teores de carbono orgânico em solos que receberam lodo de ETE, depende da dose aplicada, da taxa de decomposição e de características intrínsecas aos diferentes lodos (Oliveira et al., 2002).

Em alguns estudos, têm-se verificado, em longo prazo, aumentos lineares dos teores de carbono no solo com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (Marques, 1996; Oliveira et al., 2002). Por sua vez, seis semanas de incubação de solos com lodo não foi suficiente para promover grandes mudanças na composição do húmus do solo (Iakimenko et al., 1996).

Bezerra et al. (2006) estudando a revegetação de uma área degradada, testaram doses crescentes de lodo de ETE consorciado com duas espécies de leguminosas arbóreas, *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) e *M. bimucronata* (maricá) e observaram que as doses crescentes de lodo exerceram efeitos significativos sobre o teor de carbono orgânico no solo, melhorado os aspectos da fertilidade do solo e promovendo maior crescimento das espécies.

Correia & Bento (2010) avaliando a qualidade do substrato de uma área de “empréstimo” uma década após a revegetação, observaram um aumento de cerca de 117 % do teor de matéria orgânica. Houve também um aumento de representantes da macrofauna no substrato revegetado, superando em aproximadamente 30 % aos encontrados na área de referência. Desta forma, concluíram que a incorporação de lodo de ETE ao substrato reabilitou funções edáficas que permitiram o estabelecimento de uma melhor cobertura vegetal.

O lodo de ETE também pode contribuir para o aumento dos teores e proporções de substâncias húmicas presentes no solo, principalmente de ácidos fúlvicos (Sastre et al., 1996; Dias et al., 2007c). Ainda, segundo os autores, a aplicação contínua de lodo de esgoto resulta em maior acúmulo de substâncias húmicas na camada superficial do solo (0 – 20 cm).

Na camada superficial do solo, por ter maior incorporação de resíduos vegetais, os processos de decomposição são mais ativos e os mecanismos de proteção física da matéria orgânica, por meio da formação de agregados, é mais atuante (Silva & Mendonça, 2007). Este processo também ajuda na estabilização dos agregados, que,

junto à sua formação, é considerada uma das mais importantes e difíceis tarefas no manejo do solo (Brady, 2008)

Portanto, como fonte de matéria orgânica, o lodo de ETE favorece a formação de agregados, facilitando a penetração das raízes e vida microbiana, aumenta a resistência do solo à erosão, por estabilizar a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção de água. Além disso, fornece nutrientes para as plantas, propiciando maior rendimento de matéria verde e seca (Tsutiya, 2001).

Alguns autores (Ibáñez-Granell et al., 1993; Navas et al., 1999) ressaltam o efeito positivo da aplicação do lodo de ETE no desenvolvimento da vegetação e na recuperação de solos degradados e ácidos, pois a incorporação de matéria orgânica restabelece a estrutura, melhora a circulação de ar e água e libera nutrientes essenciais ao desenvolvimento da vegetação.

De Maria et al. (2007) verificaram, em solos que receberam lodo, aumento gradativo no diâmetro dos agregados de acordo com a quantidade aplicada. Os autores ainda mencionam que a estabilidade dos agregados em água foi maior em solos que receberam lodo, pois estes ficaram mais resistentes às ações hídricas, devido aos componentes e benefícios do lodo de esgoto.

Em estudo de reestruturação de solos degradados, Campos & Alves (2008) observaram que o lodo de esgoto influenciou as propriedades físicas do solo quando comparado ao solo exposto (sem tratamento para recuperação), sendo a densidade do solo, a porosidade total e a macroporosidade os melhores indicadores da recuperação do solo.

Todavia, pesquisas acerca da qualidade dos substratos revegetados com o uso desses materiais são relativamente escassas, apesar de necessárias para um melhor manejo de resíduos orgânicos em áreas drasticamente alteradas.

Literatura citada

- ADANI, F.; GENEVINI, P.; RICCA, R.; TAMBONE, F.; MONTONERI, E. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application. *Waste Management*.v.27, p.319-324, 2007.
- AGUIAR, I. B.; VALERI, S. V.; BANZATTO, D. A.; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S. F. Seleção de componentes de substrato para produção de mudas de eucalipto em tubetes. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Piracicaba, v.41/42, p.36-43, 1989.

- ASSIS, I. R.; DIAS, L. E.; ABRAHÃO, W. A. P; RIBEIRO JUNIOR, E. S.; MELLO J. W. V. Cover layers to the growth of trees and shrubs over a sulfide spoil from gold mining. *Revista Árvore*. Viçosa, v.35, n.4, p.941-947, 2011.
- AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão Guandu: Uma Planta Multiuso. *Revista da Fapese*, v.3, n.2, p.81-86, 2007.
- BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, I. G.; DIAS, L. E. Formação de mudas de *Acacia holosericea* e *A. auriculiformis*: resposta à calagem, fósforo, potássio e enxofre. *Revista Árvore*. Viçosa, v.25, p.183-191, 2001a.
- BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.41, n.3, p.469-476, 2006.
- BOYD, S. A.; SOMMERS, L. E.; NELSON, D. W. Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. *Science Society of America Journal*. Madison, v.44, p.1179-1186, 1980.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The nature and properties of soils. 14. ed. Harlow: Prentice Hall. 2008. 980p.
- BRASIL, CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, 29 ago. 2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>, acesso: 27 mar. 2013.
- BROFAS, G.; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *Journal of Environment Quality*. v.29, p.811-816, 2000.
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.32, p.1389-1397, 2008.
- CARVALHO, S. R.; CAMARGO FILHO, S. T.; ARONOVICH, S.; PALMIERI, F.; BLANCANEAUX, P.; DIAS, P. F.; SILVA, J. N. Recuperação de áreas degradadas através da introdução de gramíneas forrageiras e de leguminosas arbóreas no estado do Rio de Janeiro. *Boletim de pesquisa*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2000.
- CHADA, S. C.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA S. M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. *Revista Árvore*. Viçosa, v.28, p.801-809, 2004.
- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*. Oxford, v.31, p.139-149, 2011.
- CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M. M.; SANTOS, P. F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.14 p.538-544, 2010.
- CORRÊA, R. S.; BENTO, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.34 p.1435-1443, 2010.
- COSTA, G. S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO R.N.; FARIA, S. M. Aporte de nutrientes pela serrapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.28 p.919-927, 2004.
- CROCE, C. G. G.; CARMO, M. S. C.; CÂMARA, F. L. A. Desenvolvimento inicial e poder calorífico de duas espécies arbóreas nativas e pioneiras sob tratamentos convencional,

- orgânico e biodinâmico. *Revista Energia na Agricultura*. Botucatu, v.22, n.4, p.10-24, 2007.
- CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J.C.L. Crescimento e qualidade de mudas de Fedegoso cultivadas em latossolo vermelho-amarelo em resposta a macronutrientes. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v.39, n.89, p.021-033, 2011.
- DA CAS, V. L. S. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de lodo de esgoto e palha de aveia. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- DAGANG, A. B. K.; NAIR, P. K. R. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems*. v.59, p.149-155, 2003.
- DANTAS, J. S.; SALCEDO, I. H.; FRAGA, V. S.; MAIA, E. L. Crescimento inicial de duas leguminosas arbóreas forrageiras controlado pela disponibilidade de água e nutrientes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife, v.1, n.1, p.7-12, 2006.
- DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.17, p.257-261, 1993.
- DE MARIA, I. C.; KOCSSIS, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*. Campinas, v.66, p.291-298, 2007.
- DIAS, L. E.; ALVAREZ V. V. H.; BRIENZA JUNIOR, S. Formação de mudas de Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*). Resposta a calcário e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26 p.69-76, 1991.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.955-990, 2007a.
- DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; RODRIGUES, K. M. R.; FRANCO, A. A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Goiânia, v.37, n.1, p.38-44, 2007b.
- DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.31, p.701-711, 2007c.
- DIAS, L. E.; MELO, R. F.; MELLO, J. W. V.; OLIVEIRA, J. A.; DANIELS, W. L. Growth of seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), wand river hemp (*Sesbania virgata* (Cav.) Pers.), and lead tree (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) in anarsenic-contaminated soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.34, p.975-983, 2010.
- DUBOIS, J. C. L. Agroflorestas: uma alternativa para o desenvolvimento rural sustentado. REBRA/Informativo Agroflorestal. Rio de Janeiro, 1989. 5p.
- FARIA, S. M.; LIMA, H. C.; OLIVARES, F. L.; MELO, R. B.; XAVIER, R. P. Nodulação em espécies florestais, especificidade hospedeira e implicações na sistemática de leguminosae. In: FERTBIO 98 - Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, 1999. Anais. Viçosa: SBCS, 1999. p.667-686.
- FERNANDES, F; ANREOLI, C. V.; DOMASZAK, S. C. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. *Sanare*, v.6, n.6, p.15-21, 1997.

- FERNÁNDEZ, J. Q. P.; RUIVO, M. L. P.; DIAS, L. E.; COSTA, J. P. V.; DIAZ, R. R. Crescimento de mudas de *Mimosa tenuiflora* submetidas a diferentes níveis de calagem e doses de fósforo, potássio e enxofre. *Revista Árvore*, Viçosa, v.20, p.425-431, 1996.
- FISHER, R.F. Amelioration of degraded rain Forest soils by plantations of native trees. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, v.59, p.544-549, 1995.
- FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: *SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*, 2003, Campo Grande. Anais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003. p.1-24.
- GONÇALVES, F. T. A. Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. *Revista Árvore*. Viçosa, v.32, n.6, p.1029-1040, 2008.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v.38, n.88, p.599-609, 2010.
- GOMES, S. R. G.; MAURENZA, D.; LOPES, M. I. M. S.; PINTO, M. M. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo em arboreto de pau-brasil (*Caesalpiniaechinata* Lam.). *Hoehnea*. Mogi-Guaçu, v.33, n.3, p.339-347, 2006a.
- GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Ciência Rural*. Santa Maria, v.36, n.6, p.1689-1695, 2006b.
- GOMES, M. A.; PEREIRA, C. A.; PERES, A. E. C. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. *Revista Escola de Minas*. Ouro Preto, v.64, n.2, p.233-236, 2011.
- HAYNES, R. J. & BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in mesothermal humid soils. In: CARTER M.R. & STUART, B.A, (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: Lewis Publishers, p.213-262, 1996.
- IAKIMENKO, O.; OTABBONG, E.; SADOVNIKOVA, L.; PERSSON, J.; NILSSON, I.; ORLOV, D.; AMMOSSOVA, Y. Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components. 1. Content for humic substances and mineralization of organic carbon and nitrogen in incubated soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.58, p.121- 126, 1996.
- IBÁÑEZ-GRANELL, A.; SANCHÍS, A.; GARCÍA CAMARERO, J.; INGELMO-SÁNCHEZ, F. Reclamation of abandoned land with sewage sludge and plant cover. *Studia Oecológica*, v.10, p.101-108, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira*. 6. ed. Belo Horizonte: [s. n.], 2011. 291p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. 3º curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais. v.3 São Paulo:[s. n.], 1992. 291 p.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa, 2000. 500p.
- LEITE, L. L.; MARTINS, C. R.; HARIDASAN, M. Efeitos da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília.

- In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. 2. Curitiba, 1994. Anais. Curitiba: SOBRADE, 1994. p.527-534.
- MACEDO. M. O.; RESENDE. A. S.; GARCIA. P. C.; BODDEY. R. M.; JANTALIA. C. P.; URQUIAGA. S.; CAMPELLO. E. F. C.; FRANCO. A. A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* v.255, p.1516-1524, 2008.
- MANFREDINI, S.; PADOVESE, P. P.; OLIVEIRA, J. B. Efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de latossolos de textura média e areias quartzosas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.8, n.1, p.13-16, 1984.
- MANNING, A. D.; FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Scattered trees are keystone structures-Implications for conservation. *Biological Conservation*. v.132, p.311-321, 2006.
- MARQUES, M. O. Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar. 1996. 111f. Tese (Livre Docência). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 1996.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; CARVALHO, J. G.; LACERDA, M. P. C.; MOTA, P. E. F. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. *Cerne*. Lavras, v.10, n.2, p.167-183, 2004.
- MELO, W. J. de; MARQUES, O. M.; MELO, V. P. O Uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). *Bio-sólido na agricultura*. São Paulo: SABESP, p.289-363, 2001.
- MENDES, M. B. Comportamento geotécnico de uma barragem de rejeito de minério de ferro alteada para montante. 2007. 192f. Dissertação (Mestrado Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.65-90, 2007.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.28, p.385-392, 2004.
- NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. Use of bio-solids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). *Bioresource Technology*, v.69, p.199-205, 1999.
- NODARI, R. O. Características de mudas de *Schizolobium parahyba* (Velloso) Blake, submetidas a diferentes composições de substrato-fase de viveiro. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5, Nova Prata, 1984. Anais. Nova Prata, 1984, v.2, p.362-369.
- NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M. de; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.8, n.14, 2012. 2121p.
- OLDEMAN, L.R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D.J.; SZABOCLS, I. (Ed.) *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: Cab International, p.99-118, 1994.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado

- com cana-de-açúcar: Carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. R. . Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v.26, p.505-519, 2002.
- PARON, M. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. Fundo micorrízico, fósforo e nitrogênio no crescimento inicial da trema do fedegoso. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v.21, p.567-574, 1997.
- PEREIRA, E. G.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S.; PURCINO, A. A. C. Efeitos da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. Campinas, v.8, n.1, p.59-65, 1996a.
- PEREIRA, E. G.; SIQUEIRA, J. O.; VALE, F. R.; MOREIRA, F. M. S. Influência do nitrogênio mineral no crescimento e colonização micorrízica de mudas de árvores. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.31, n.9, p.653-662, 1996b.
- PIRES DE MORAES NETO, S.; GONÇALVES, J. L. M.; TAKAKI, M. Produção de mudas de seis espécies arbóreas, que ocorrem nos domínios da Floresta Atlântica, com diferentes substratos de cultivo e níveis de luminosidade. Revista Árvore. Viçosa, v.25, n.3-4, p.277-287, 2001.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p.163-178, 2000.
- QUARESMA, L. F. Perfil da mineração de ferro. Relatório técnico In: BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. 2009.
- RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RESENDE, A. S.; MACEDO, M. O.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Recuperação de áreas degradadas através da reengenharia ecológica. In: Becker, B. K.; GARAY, I. (Ed.). **Dimensões Humanas da Biodiversidade**. Petrópolis: Vozes, p.315–340, 2006
- RIBEIRO, P. A. Utilização de leguminosas na produção de biomassa e como fonte de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo no município de Alagoinha-PB. 1999. 57f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba. , João Pessoa, 1999.
- ROSSELLI, W.; KELLER, C.; BOSCHI, K. Phytoextraction capacity of trees growing on metal contaminated soil. Plant and Soil. v.256, p.265-272, 2003.
- SASTRE, I.; VICENTE, M. A. & LOBO, M. C. Influence of the application of sewage sludge on soil microbial activity. Bioresource Technology. v.57, p.19-23, 1996.
- SILVA, I. R. FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.32, n.2, p.205-212, 1997.
- SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M.; BARROS, N. F. Caracterização química, física e mineralógica de estereis e rejeito da mineração de ferro da mina Alegria, Mariana-MG. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia, v.36, n.1, p.45-52, 2006.
- SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. Revista Espaço da Sophia., v1, n.08, 2007.

- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p.275-374, 2007.
- SILVA, W. P. Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001). 2010. 120f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- SIMONETE, M. A. Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. 2001. 89f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.
- SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*. v.241, p.155–176, 2002.
- SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. Adubação Mineral do Ipê-Rôxo (*Tabebuia impetiginosa*). *Ciência Florestal*. Santa Maria, v.16, n.3, p.216-270, 2006.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para a identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de bio-sólido. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.). Bio-sólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, p.133-180, 2001.
- VIEIRA, R. F.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.38, n.7, p.867-874, 2003.
- VIEIRA, R. F.; SILVA, C. M. M. S. Utilização de lodo de esgoto como fonte de fósforo na cultura da soja. Circular Técnica. Jaguariúna: Embrapa/CNPMA, 2004.

Capítulo 1

Resposta de adubação com NPK e ao estresse hídrico de mudas de maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) e mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth) cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e o acúmulo de N, P e K por plantas de maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) e mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth) cultivadas por 120 dias em vasos contendo amostras de substrato proveniente da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro e adubadas com diferentes níveis de NPK, sendo estes: 0 (controle); 75; 150 e 300 mg dm⁻³ de N e K, e 0 (controle); 100; 200 e 400 mg dm⁻³ de P. Nos tratamentos sem estresse hídrico (EH) o potencial mátrico (ϕ_m) do substrato foi mantido em -50 kPa, enquanto nos tratamentos com EH o ϕ_m foi reduzido gradualmente em intervalos de 30 dias, ficando: -50; -125; -250 e -1000 kPa para os meses um, dois, três e quatro, respectivamente. O crescimento das espécies foi avaliado por meio das taxas de crescimento da altura de caule (TCAC) e do diâmetro de caule (TCDC), avaliados em intervalos de 30, e das taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e das raízes (TCAr) após 120 dias do semeio, assim como o acúmulo de N, P e K na biomassa das plantas. A presença do estresse hídrico interferiu negativamente em todas as variáveis avaliadas em ambas as espécies, no entanto, o mulungu mostrou-se menos resistente que o maricá, não sobrevivendo ao último nível do EH. Apenas a TCAr do maricá e o acúmulo de P e K nas raízes desta espécie não apresentaram efeito de adubação. Para as demais variáveis, em ambas as espécies, as doses de 300; 400 e 300 mg dm⁻³ de N; P e K, respectivamente, promoveram melhores resultados.

Abstract

This study aimed to evaluate the growth and accumulation of N, P and K by plants of maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) and mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth) grown for 120 days in pots with substrate from tailing dam beneficiation of iron ore and fertilized with different levels of NPK, namely: 0 (control); 75; 150 and 300 mg dm³ of N and K, and 0 (control); 100; 200 and 400 mg dm³ of P. In treatments without water stress (EH) the matric potential (ϕ_m) of the substrate was kept at -50 kPa, while the treatment with the EH the ϕ_m was gradually reduced in 30-day intervals, getting: -50; -125; -250 And -1000 kPa for months one, two, three and four, respectively. The growth of the species was assessed by growth rates of stem height (TCAC) and stem diameter (TCDC), evaluated at intervals of 30, and the absolute growth rates of shoots (TCApa) and roots (TCAr) after 120 days of seeding, as well as the accumulation of N, P and K in plant biomass. The presence of water stress negatively interfered on all variables in both species, however, mulungu was less resistant than maricá not surviving the last level of the EH. Only maricá's TCAr and accumulation of P and K in the roots showed no effect of fertilization. For the other variables, in both species, doses of 300; 400 and 300 mg dm⁻³ N; P and K, respectively, promoted better results.

Introdução

Embora a mineração tenha um importante papel no setor econômico brasileiro, colaborando para o aumento do produto interno bruto (PIB) e para a geração de empregos diretos e indiretos (Quaresma, 2009), é uma atividade que causa degradação pontual, porém de grande magnitude (Oldeman, 1994).

Um dos impactos ambientais gerados pela mineração de ferro é a construção de barragens para depósito do rejeito proveniente do processo de beneficiamento do minério. A recuperação ambiental destas bacias de rejeito é uma tarefa complexa devido às condições físicas, químicas e biológicas do substrato serem muito restritivas (Dias et al., 2007). De maneira geral, este substrato é predominantemente arenoso ou silto-arenoso, com elevados teores de ferro e manganês.

Os maiores impasses da recuperação deste tipo de área são acelerar o processo de pedogênese e a escolha das espécies a serem utilizadas. A escolha das espécies se torna ainda mais difícil quando se trata do uso de espécies nativas, visto que são escassos os estudos quanto à necessidade nutricional e quanto ao potencial destas espécies para a recuperação de áreas drasticamente alteradas.

A alternância entre períodos em que o substrato encontra-se encharcado e períodos onde apresenta-se severamente seco mostra-se o fator mais limitante para a escolha das espécies, exigindo que estas tenham uma maior plasticidade quanto à exigência de disponibilidade de água.

Portanto, é de primordial importância a realização de estudos que possibilitem a seleção de espécies adaptáveis a este tipo de ambiente, assim como conhecer suas necessidades nutricionais. Além da plasticidade, a utilização de espécies vegetais que possam gerar maiores volumes de biomassa e promover a incorporação de carbono ao substrato contribuiria fortemente para prover ao substrato maior capacidade de retenção de água e qualidade estrutural (Bezerra et al., 2004; Macedo et al., 2008).

Neste aspecto, algumas espécies leguminosas arbóreas mostram estas características (Franco et al., 2003; Chaer et al., 2011), dentre elas o maricá (Bezerra et al., 2006) e o mulungu (Bona, 2009).

O maricá é uma leguminosa arbórea pioneira com ampla distribuição geográfica, ocorrendo em amplas faixas de temperatura, altitude e regimes hídricos. Esta espécie é nativa da América do Sul, ocorrendo em países como Argentina, Uruguai, Paraguai e Brasil. No Brasil ocorre naturalmente na Mata Atlântica,

Restinga e até na Caatinga, em altitudes variando entre 2 a 1500 m, temperatura média anual entre 11°C e 28°C e precipitação média entre 1100 e 2500 mm anuais.

O mulungu é uma leguminosa arbórea pioneira de porte médio e rápido crescimento (Pereira et al., 2014) nativa do Brasil, onde ocorre nos estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e São Paulo, na floresta estacional semidecidual da bacia da Paraná (ESALQ, 2014). Além de ser tradicionalmente utilizada na medicina alternativa no tratamento de ansiedade, tosse nervosa agitação psicomotora, insônia asma, bronquite, hepatite, e inflamação hepática baço (Oliveira et al., 2011) apresentou potencial para recuperação de matas siliars, ecossistemas degradados e manutenção da fauna silvestre (Bona 2009, Pereira et al., 2014).

Ambas as espécies citadas são capazes de se associas simbioticamente com bactérias do gênero *Rhizobium* (Carvalho, 2004; Pereira et al., 2014) e alguns estudos (Carvalho, 2004; Gattai et al., 2011) mostram que o maricá e espécies do gênero *Eritrhiria* também se associam com fungos micorrízicos arbusculares contribuindo para a manutenção de N da área em recuperação.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes de plantas de duas espécies de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica submetidas a quatro níveis de adubação em ambientes com e sem estresse hídrico.

Material e Métodos

O experimento foi montado em casa de vegetação, utilizando amostras (0-20 cm) de rejeito de beneficiamento de minério de ferro depositado na barragem de rejeitos Forquilha III na Unidade Fábrica da empresa VALE S.A., município de Ouro Preto, MG.

O material foi seco ao ar, homogeneizado, destorroado e passado em peneira com abertura de malha de 4,0 mm. Após a homogeneização, foram retiradas três amostras para a caracterização química (Tabela 1), que foram destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 2,0 mm.

Tabela 1. Caracterização química do substrato da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
7,3	8,3	19,2	0,79	0,02	0	0,3	0,85	0,85	1,13	76,0	0,0

MO	P-rem	S	Zn	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
0,16	49,4	17,8	1,51	52,8	68,7	0,99	0,8	1,0	0,1	0,1

pH em água - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Matéria Orgânica (MO) = Carbono Orgânico x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente; Teores totais de Cr - Ni - Cd - Pb - Digestão ácida - Ácidos nítrico e fluorídrico.

A partir de amostras não deformadas coletadas com auxílio de anéis de 5 cm de altura e de amostras deformadas coletadas de 0 a 5 cm de profundidade determinou-se a curva característica de retenção de água (figura 1) por meio da determinação da umidade volumétrica (θ) em equilíbrio com os potenciais: -0,004; -0,006; -0,008 e -0,01 MPa, aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuck, 1979), e -0,05; -0,1; -0,2; -0,5; -1,0 e -1,5 MPa, aplicados em placas porosas dispostas em câmaras de pressão (Klute, 1986).

A curva foi ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980) e os parâmetros de ajuste foram obtidos por meio do software SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

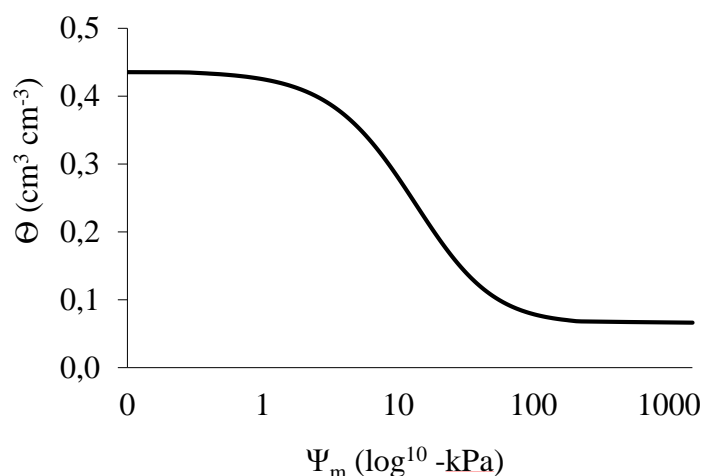


Figura 1: Curva característica de retenção de água do rejeito de beneficiamento de minério de ferro.

Procedimento experimental

O experimento foi montado segundo o esquema fatorial 2 x 4 x 2 (2 espécies, 4 níveis de adubação, com e sem estresse hídrico), em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 16 tratamentos. As unidades experimentais compreenderam vasos plásticos de 3 dm³, contendo 2,0 kg de rejeito seco e três plantas.

As espécies de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas foram o maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) e o mulungu (*Erythrina mulungu* Mart. ex Benth.) cujas sementes foram compradas da empresa Arbocenter®. As sementes não sofreram quebra de dormência e foram plantadas diretamente no rejeito, utilizando-se 6 sementes por vaso. Em cada vaso, foram mantidas três plântulas que apresentaram emergência mais rápida, enquanto as demais foram desbastadas logo após a emergirem.

Foram aplicados quatro níveis crescentes de N, P e K, sendo 0; 75; 150 e 300 mg dm⁻³ para N e K e 0; 100; 200 e 400 mg dm⁻³ para P. As doses de Ca, Mg, S e micronutrientes foram iguais para todos os tratamentos, sendo 120,9; 30,23; 2,2; 1,33; 4,0; 0,81 e 0,15 mg dm⁻³ para Ca, Mg, S, Zn, B e Mo, respectivamente. Não foram aplicados os micronutrientes Fe e Mn.

Os nutrientes foram aplicados de formas distintas. P, Ca, Mg e S foram aplicados em fundação, sendo Ca e Mg aplicados 15 dias antes do plantio e P e S, um dia antes do plantio. N, K e micronutrientes foram aplicados em cobertura, sendo os micronutrientes aplicados os 15 dias após o plantio e N e K aplicados aos 30, 60 e 90 dias após o plantio.

Nos tratamentos que não tiveram estresse hídrico, o potencial mátrico do substrato foi mantida a valores próximos a -50 kPa. Nos tratamentos em que as plantas foram submetidas ao estresse hídrico, o potencial mátrico do substrato foi mantido em aproximadamente -50 kPa nos primeiros 30 dias após o semeio, -125 kPa entre 30 e 60 dias, -250 kPa entre 60 e 90 dias e -1000 kPa entre 90 e 120 dias. A irrigação foi feita por meio de pesagem dos vasos e reposição da lâmina de água deionizada necessária para a obtenção do potencial mátrico desejado, de acordo com a curva característica de retenção de água (figura 1)

Avaliações

Foram avaliadas as taxas de crescimento da altura do caule (TCAC) e do diâmetro caulinar (TCDC), como descrito nas equações 1 e 1 (Hunt,1990).

$$TCAC = \frac{(A_2 - A_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Onde: TCAC: Taxa de crescimento absoluto da altura do caule (mm dia⁻¹);
(A₂ - A₁): Diferença da altura do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁):
Tempo decorrido entre duas observações (dias).

$$TCDC = \frac{(D_2 - D_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Onde: TCDC = Taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule (mm dia⁻¹);
(A₂ - A₁) = Diferença do diâmetro do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁)
= Tempo decorrido entre duas observações (dias).

As TCAC e TCDC foram avaliadas em intervalos de 30 dias, gerando as TCAC¹, TCAC², TCAC³ e TCAC⁴, assim como as TCDC¹, TCDC², TCDC³ e TCDC⁴ para os meses 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Após os 120 dias do experimento, foram calculadas ainda as TCAC e TCDC para o período total do experimento (TCAC^m e TCDC^m).

Após 120 dias do semeio as plantas foram cortadas rente ao rejeito e determinadas a produção de biomassa seca da parte aérea (TCApa) e (TCAr) raiz (equação 3), de acordo com Hunt (1990).

$$TCA = \frac{(BS_2 - BS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Onde: TCA: Taxa de crescimento absoluto (mg dia⁻¹); (BS₂ – BS₁): Diferença da biomassa seca de duas observações (mg) e (t₂ - t₁): Tempo decorrido entre duas observações (dias).

Após o corte das plantas foram determinados os teores dos macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas. A concentração de N total foi obtida a partir da digestão sulfúrica do material vegetal seco, pelo método Kjeldhal, e as concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe e Mn foram obtidos por meio da digestão nitro-perclórica, ambos de acordo com Sarruge & Haag (1974). Com os teores, foram estimados os conteúdos totais dos elementos químicos na parte aérea e nas raízes das plantas por meio da multiplicação com a biomassa seca.

Os dados observados (variáveis dependentes) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e seus efeitos, isolados e em interação, foram avaliados por meio do teste F com 5 % de significância. Em caso de significância estatística do valor de F para as interações fez-se o desdobramento, avaliando o efeito dos níveis de adubação dentro dos tratamentos com e sem estresse hídrico dentro de cada espécie. A avaliação do estresse hídrico e das espécies utilizadas para a obtenção das maiores taxas de crescimento e maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea e nas raízes foi realizada pelo teste de Tukey a 5 % de significância. A avaliação do nível de fertilizante foi realizada por meio de análise de regressão, sendo testados os

modelos linear, raiz quadrada e quadrático. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar[®].

Resultados

Crescimento das plantas

Entre as duas espécies, o maricá apresentou maior taxa de crescimento em altura do caule apenas no segundo mês (TCAC²), onde teve um pico de crescimento atingindo uma taxa de 6,10 mm dia⁻¹, no tratamento sem estresse hídrico. No entanto, este pico influenciou para que o maricá apresentasse uma TCAC^m superior ao mulungu, que, mesmo superando o maricá nos demais meses, obteve valores de TCAC próximos, entre 2,45 e 3,02 mm dia⁻¹, durante todo o experimento (Tabela 2).

O mulungu apresentou maior taxa de crescimento em diâmetro do colo (TCDC) em todos os meses, inclusive no segundo, onde o maricá teve seu pico de crescimento. O pico de crescimento do diâmetro do colo do mulungu foi nos primeiros trinta dias, atingindo uma taxa de 0,118 mm dia⁻¹. Quanto à TCDC, o mulungu manteve-se superior ao maricá, com valores de 0,088 e 0,029 mm dia⁻¹, respectivamente (Tabela 2).

No segundo mês, período do pico de crescimento do maricá, o estresse hídrico promoveu menor crescimento do caule desta espécie, apresentando uma diferença na TCAC² de 1,92 mm dia⁻¹, quando comparada à TCAC² do tratamento sem o estresse. Nos demais meses, não houveram diferenças significativas nas TCAC e TCDC para os tratamentos com e sem estresse hídrico, embora os tratamentos com estresse tenham apresentado valores absolutos menores (Tabela 2). Por outro lado, quando calculados a TCAC^m e a TCDC^m os tratamentos sem estresse hídrico apresentaram valores significativamente superiores aos tratamentos submetidos ao estresse (Tabela 2).

Para o mulungu o estresse hídrico promoveu redução das TCAC e TCDC a partir do segundo nível (60 % da CC), provocando a morte de todas as plantas no último nível (20 % da CC) (Tabela 2).

Tabela 2. Taxas de crescimento do caule em altura (TCAC) e em diâmetro (TCDC) do maricá e do mulungu dos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH) referente à média dos níveis de NPK.

Maricá					
Tratamento	TCAC ¹	TCAC ²	TCAC ³	TCAC ⁴	TCAC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	1,94a	6,10a	2,23a	0,52a	2,70a
CV (%)	(23,8)	(40,6)	(52,4)	(118,9)	(32,2)
Com EH	1,85a	4,18b	1,74a	0,13a	1,97b
CV (%)	(17,0)	(60,6)	(66,8)	(183,8)	(45,3)
	TCDC ¹	TCDC ²	TCDC ³	TCDC ⁴	TCDC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	0,029a	0,048a	0,025a	0,015a	0,029a
CV (%)	(10,7)	(57,2)	(42,3)	(82,4)	(38,5)
Com EH	0,028a	0,031a	0,015a	-0,001a	0,018b
CV (%)	(11,3)	(78,3)	(80,2)	(-586,3)	(43,9)
Mulungu					
Tratamento	TCAC ¹	TCAC ²	TCAC ³	TCAC ⁴	TCAC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	2,45a	2,35a	3,02a	2,74	2,18
CV (%)	(24,4)	(42,8)	(77,6)	(92,2)	(27,0)
Com EH	2,26a	1,01b	0,04b	-	-
CV (%)	(22,6)	(107,3)	(346,4)		
	TCDC ¹	TCDC ²	TCDC ³	TCDC ⁴	TCDC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	0,118a	0,097a	0,093a	0,112	0,088
CV (%)	(16,4)	(59,8)	(76,0)	(106,7)	(28,4)
Com EH	0,116a	0,024b	-0,002b	-	-
CV (%)	(16,4)	(182,7)	(-1076,7)		

^{1, 2, 3 e 4} indicam valores referentes aos 1º, 2º, 3º e 4º meses, respectivamente; ^m corresponde à média do período experimental. Valores seguidos por letras iguais, na coluna, em cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

Ao término do experimento, observou-se que o estresse hídrico comprometeu a produção de biomassa de ambas as espécies. Para o maricá as TCAPa e TCAR foram reduzidas (Tabela 3), enquanto no mulungu a morte das plantas no último nível de estresse hídrico não permitiu a medição de biomassa seca aos 120 dias.

Tabela 3. Taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TC_{Apa}) e das raízes (TC_{Ar}) do maricá e do mulungu dos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH) referentes à média dos níveis de NPK

Espécie	TC _{Apa}		TC _{Ar}	
	Sem E. H.	Com E. H.	Sem E. H.	Com E. H.
	mm dia ⁻¹			
Maricá	20,7a	2,8b	8,97a	1,31b
CV (%)	(92,5)	(86,5)	(84,5)	(78,9)

Valores seguidos por letras iguais, na linha, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

Após 120 dias, a TC_{Ar} do maricá não submetido ao estresse hídrico apresentou o comportamento de uma função raiz quadrada (RQ), mostrando maior diferença entre os níveis 0 e 1, enquanto a TC_{Apa} respondeu de modo linear crescente aos níveis de NPK estabelecidos (Figura 2A). As TC_{Apa} e TC_{Ar} foram crescentes com o aumento dos níveis de NPK, se ajustando as funções quadrática e linear, respectivamente (Figura 2B).

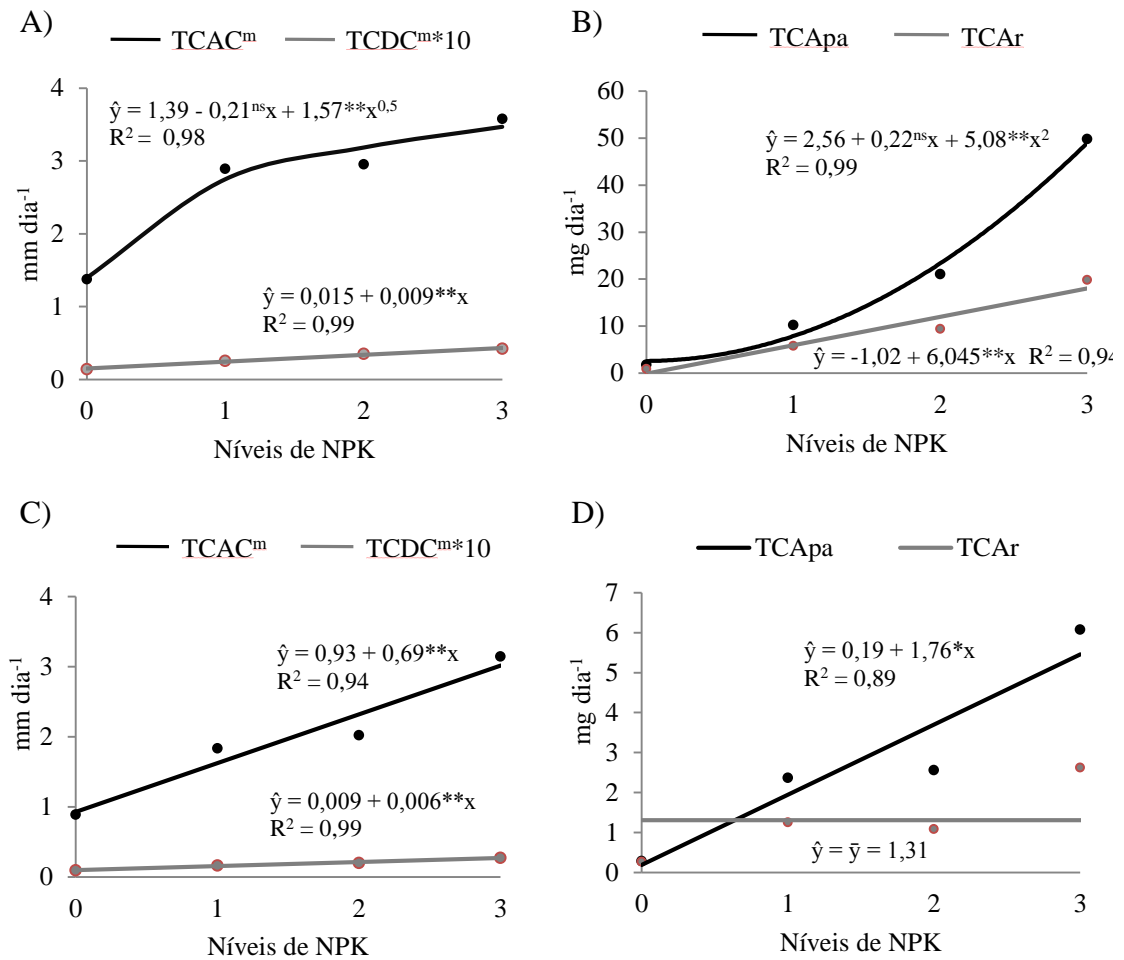


Figura 2. **A)** Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e **B)** produção de biomassa seca da parte aérea da raiz do maricá sem estresse hídrico; **C)** Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e **D)** taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCA_{pa}) e da raiz (TCA_r) do maricá com estresse hídrico, em função dos níveis crescentes de NPK. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Nas plantas de maricá dos tratamentos com estresse hídrico, apenas as TCAC² e TCDC² demonstraram respostas à adubação. Porém, quando calculadas as TCAC^m e TCDC^m, observa-se um aumento linear em função da adubação (Figura 2C).

Com o estresse hídrico, aplicação de níveis crescentes de NPK proporcionou uma resposta linear positiva na TCA_{pa} do maricá (Figura 2D). Por outro lado, não houve resposta da TCA_r à adubação, evidenciando o estresse hídrico como fator preponderante aos níveis de NPK quanto à responsividade da TCA_r (Figura 2D).

O aumento dos níveis de NPK proporcionou um aumento linear da TCAC^m do mulungu não submetido ao estresse hídrico, que não foi acompanhado pela variável TCDC^m, a qual apresentou valores próximos para os níveis 1, 2 e 3 (Figura 3A).

A partir do nível 1, observou-se que, com o aumento dos níveis de NPK há redução da proporção parte aérea/raiz, embora ambas variáveis tenham respondido positivamente aos níveis aplicados. Os dados de TCAR ajustaram-se ao modelo raiz quadrático que mostra maior inclinação entres os níveis 1 e 3, enquanto os de TCAPA ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 3B), semelhante à TCDC^m.

O estresse hídrico mostrou-se limitante ao crescimento e à sobrevivência das mudas de mulungu. Durante os primeiros níveis de estresse hídrico (-125 kPa e -250 kPa) a TCAC e a TCDC não responderam à aplicação de níveis crescentes de NPK. As plantas não sobreviveram ao último nível de estresse hídrico (-1000 kPa), impossibilitando a determinação das TCAC⁴ e TCDC⁴, assim como a determinação das TCAC^m, TCDC^m, TCAPA e TCAR.

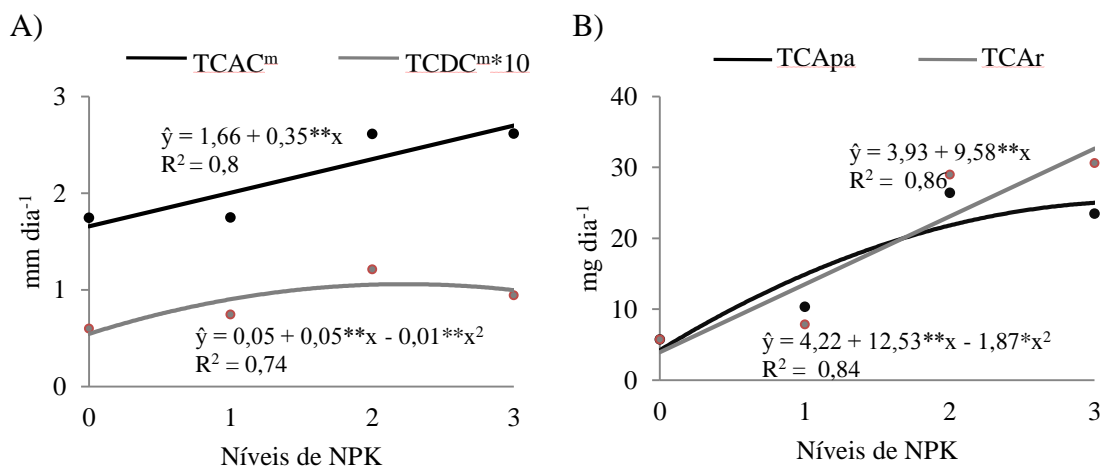


Figura 3. **A)** Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e **B)** taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCAPA) e da raiz (TCAR) do mulungu sem estresse hídrico, em função dos níveis crescentes de NPK. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Teor de Nutrientes

A presença do estresse hídrico promoveu variações nos teores de nutrientes avaliados no maricá, principalmente nos macronutrientes. Nesta espécie, apenas o S apresentou teores semelhantes para os tratamentos com e sem estresse hídrico, enquanto os demais macronutrientes apresentaram diferenças significativas (Tabela 4). As plantas de maricá submetidas ao estresse apresentaram maiores teores de N e K na parte aérea e maiores teores de N e Ca nas raízes (Tabela 4), pois a menor produção de biomassa promoveu efeito de concentração destes nutrientes.

Tabela 4. Teor de nutrientes na parte aérea e na raiz do maricá, referentes dos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH) referentes à média dos níveis de NPK

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	0,73b	0,26a	0,43b	2,31a	0,27a	0,23a
CV (%)	(16,6)	(40,0)	(23,2)	(27,6)	(23,9)	(73,2)
Com EH	2,10a	0,15b	0,80a	1,41b	0,19b	0,21a
CV (%)	(44,3)	(76,8)	(55,0)	(60,9)	(56,9)	(61,9)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,0031a	0,0009a	0,11a	0,17a		
CV (%)	(58,8)	(96,1)	(111,4)	(98,3)		
Com EH	0,0015b	0,0001b	0,32a	0,04b		
CV (%)	(202,6)	(104,4)	(237,0)	(73,7)		
Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	1,23b	0,26a	0,57a	0,53b	0,33a	0,33a
CV (%)	(13,7)	(15,5)	(22,7)	(44,1)	(18,2)	(11,4)
Com EH	1,97a	0,17b	0,27b	1,95a	0,20b	0,45a
CV (%)	(27,5)	(82,0)	(147,1)	(142,3)	(126,8)	(135,9)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,0043a	0,0023a	5,77a	0,41a		
CV (%)	(18,9)	(35,5)	(34,9)	(19,6)		
Com EH	0,0044a	0,0010b	8,06a	0,36a		
CV (%)	(123,6)	(82,5)	(129,1)	(130,2)		

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

De maneira geral, Fe e Mn foram os micronutrientes que mais foram absorvidos pelas plantas de pelo maricá. O alto teor de Fe disponível no substrato refletiu em uma alta concentração de Fe nas raízes, chegando a ultrapassar N e Ca, macronutrientes de maiores teores (Tabelas 4).

A adubação não promoveu mudanças nos teores dos nutrientes N, P e K das raízes do maricá, enquanto, na parte aérea, apenas o teor de P foi sensível à aplicação dos níveis de NPK, apresentando queda entre os níveis 0 e 1. Nos tratamentos com estresse hídrico, os teores de N, P e K da parte aérea apresentaram respostas significativas à adubação, diminuindo entre os níveis 0 e 1 e crescendo entre os níveis 1 e 3. Nas raízes, o aumento dos níveis de adubação promoveu queda no teor de K, enquanto o teor de N foi menor nos níveis 1 e 2.

Nas plantas da espécie mulungu não submetidas ao estresse hídrico, os níveis de NPK aplicados promoveu aumento linear apenas nos teores de P da parte aérea e de N das raízes.

Conteúdo de Nutrientes

Considerando apenas os tratamentos sem estresse hídrico, o maricá demonstrou maior acúmulo de Ca na parte aérea (Tabela 6). O estresse hídrico aplicado resultou na diminuição do acúmulo de nutrientes na biomassa do maricá, visto que as plantas destes tratamentos apresentaram menor produção de biomassa seca. Apenas o acúmulo de Ca e S nas raízes e Fe e Mn na parte aérea não foi afetado pelo estresse hídrico (Tabela 6).

Tabela 6. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e na raiz do maricá dos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH) referentes à média dos níveis de NPK

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	48,76a	14,78a	27,25a	143,48a	17,15a	9,57a
CV (%)	(93,7)	(89,5)	(91,6)	(85,6)	(85,4)	(80,3)
Com EH	17,28b	2,01b	8,75b	11,91b	2,10b	1,71b
CV (%)	(108,7)	(130,3)	(117,4)	(92,2)	(103,3)	(90,1)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,15a	0,04a	5,36a	7,65a		
CV (%)	(93,0)	(124,7)	(108,6)	(298,2)		
Com EH	0,01b	0,00b	2,49a	2,29a		
CV (%)	(102,8)	(106,2)	(248,9)	(121,6)		
Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	36,38a	7,60a	18,03a	11,10a	9,20a	9,30a
CV (%)	(79,7)	(79,2)	(84,2)	(52,2)	(66,4)	(78,4)
Com EH	8,39b	0,80b	0,86b	6,17a	0,71b	1,62a
CV (%)	(102,0)	(96,6)	(96,7)	(83,1)	(89,7)	(87,2)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,15a	0,04a	5,36a	7,65a		
CV (%)	(93,0)	(124,7)	(108,6)	(298,2)		
Com EH	0,01b	0,00b	2,49a	2,29a		
CV (%)	(102,8)	(106,2)	(248,9)	(121,6)		

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

Os maiores níveis de adubação promoveram maiores acúmulos de N, P e K na biomassa da parte aérea e das raízes das plantas de maricá não submetidas ao estresse hídrico (Figura 4A,B). Por outro lado, a aplicação do estresse hídrico comprometeu o acúmulo de P e K nas raízes, os quais não responderam à adubação (Figura 4D). Neste tratamento, o acúmulo de N, P e K na parte aérea e de N nas raízes mostraram crescer em função do aumento dos níveis de NPK (Figura 4C,D).

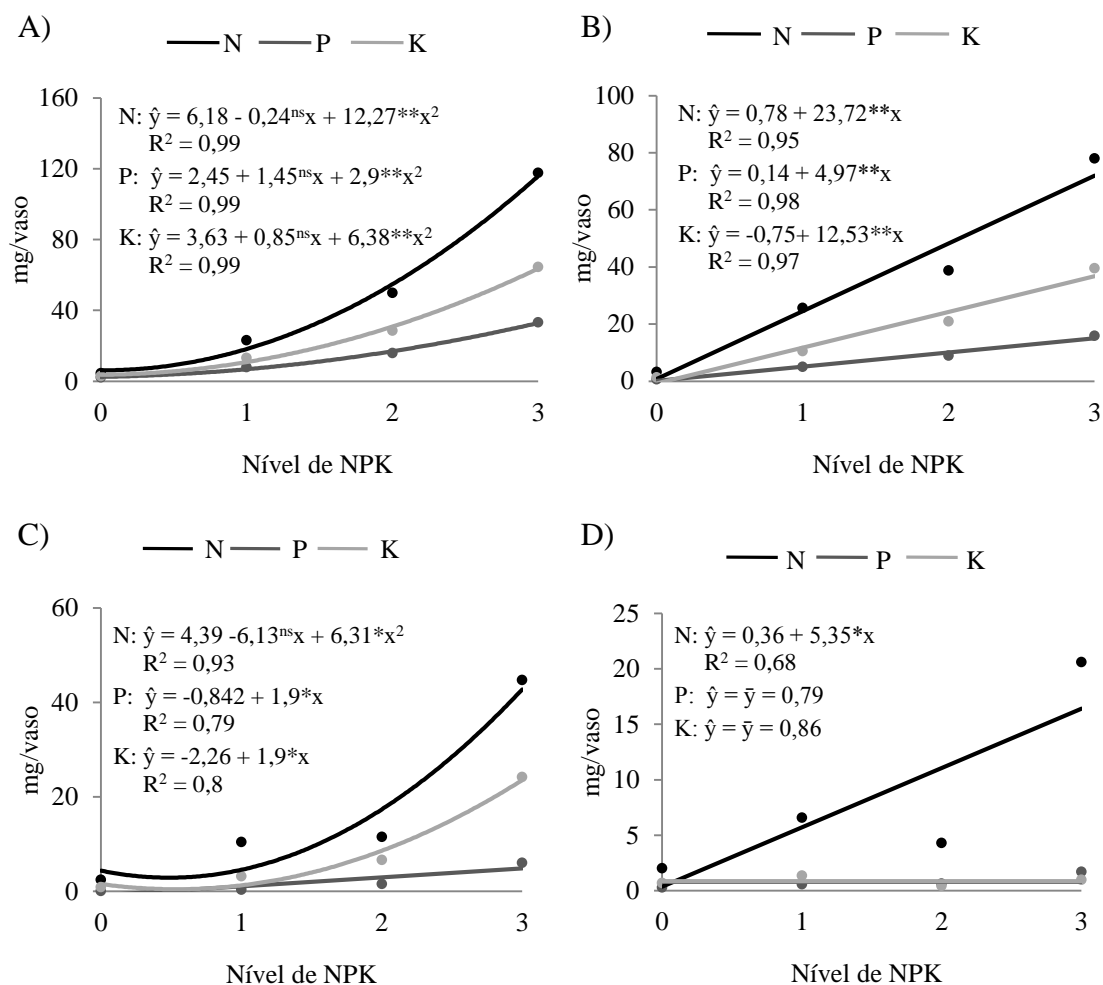


Figura 4. A) Conteúdo de N, P e K da parte aérea e da B) raiz do maricá, referente ao tratamento sem estresse hídrico e C) conteúdo de N, P e K da parte aérea e da D) raiz do maricá, referente ao tratamento com estresse hídrico, em função dos níveis crescentes de NPK. *, ** Significante a 5 e 1 %, respectivamente.

Nas plantas de mulungu não submetidas ao estresse hídrico, o acúmulo dos nutrientes aumentou de acordo com o aumento dos níveis de NPK, principalmente entre os níveis 1 e 3 (Figura 5A,B).

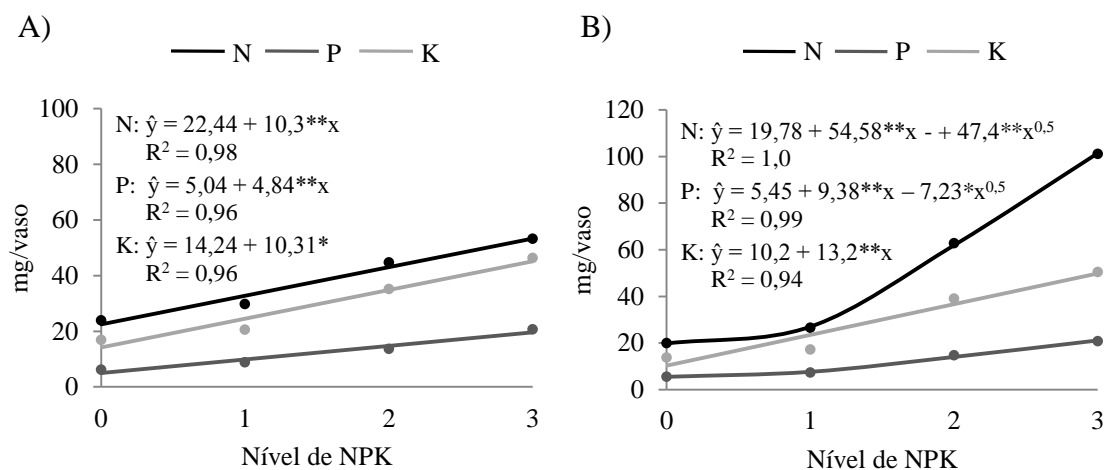


Figura 5. A) Conteúdo de N, P e K da parte aérea e da **B)** raiz do mulungu, referente ao tratamento sem estresse hídrico, em função dos níveis crescentes de NPK. *, ** Significante a 5 e 1 %, respectivamente.

Discussão

Crescimento das plantas

A ciclagem de nutrientes exerce um importante papel no processo de revegetação de áreas degradadas, pois disponibiliza para a superfície do substrato os nutrientes que, após a adubação, possam ser lixiviados, se acumulando em camadas mais profundas (Nair et al., 1999; Barbosa & Faria, 2006). Esta disponibilização ocorre por meio da formação de serrapilheira, principalmente de espécies arbóreas (König, 2002; Reis et al., 2006). Por isso a formação de serrapilheira é um fator relevante para a sucessão vegetal, tornando disponíveis para as espécies mais jovens e de menor porte os nutrientes que se encontravam em uma profundidade inalcançável (Campello, 1998; Barbosa & Faria, 2006).

Dentre outros fatores, a taxa de formação de serrapilheira está ligada à taxa de crescimento das plantas (Barbosa & Faria, 2006), portanto, uma espécie de rápido crescimento e de grande produção de biomassa pode tornar mais fácil o processo de sucessão vegetal. O rápido crescimento da espécie também implica na formação mais rápida da cobertura vegetal, diminuindo a variação da temperatura do substrato, evitando processos erosivos e retendo maior quantidade de água (Nogueira et al., 2012), diminuindo a amplitude do estresse hídrico.

Comparando os resultados obtidos neste trabalho, pode-se observar que o maricá mostrou ser mais eficiente do que o mulungu, quando em ambientes sujeitos a estresse hídrico, mesmo em pequenas intensidades.

A susceptibilidade do mulungu ao estresse hídrico foi evidenciada no primeiro nível, o potencial mátrico do substrato foi mantido em -125 kPa. Esta condição de umidade interferiu gravemente no crescimento desta espécie, que teve uma redução drástica nas TCAC² e TCDC². No terceiro nível as plantas mostraram sinais de declínio, tendo quase estancado a TCAC³ e mostrando um estreitamento do diâmetro do colo (TCDC³).

Portanto, o uso do mulungu para a revegetação da área em estudo seria viável apenas em pontos onde a potencial mátrico do substrato igual ou superior a -125 kPa durante todo o ano, o que dificilmente acontece neste tipo de ambiente.

Para o maricá, o período entre 30 e 60 dias foi primordial para o resultado final obtido, visto que, neste espaço de tempo foram obtidas as maiores taxas de crescimento do caule (TCAC² e TCDC²). Dentre os quatro meses, este foi o único momento em que o estresse hídrico promoveu redução da taxa de crescimento da altura do caule (TCAC²), o que certamente interferiu na produção de biomassa seca desta espécie.

Os valores das TCApa e TCAR observados para ambas as espécies dos tratamentos sem estresse hídrico se enquadram dentre os valores das taxas de crescimento de leguminosas arbóreas nativas disponíveis na literatura, que variam entre 5,69 a 60,4 mg dia⁻¹, para TCApa, e 3,84 a 34,1 mg dia⁻¹, para TCAR (Gonçalves et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011). As TCAC e TCDC observados para o maricá e o mulungu também apresentaram valores não discrepantes aos encontrados na literatura, que variam entre 0,46 e 3,36 mm dia⁻¹, pra TCAC; e 0,012 a 0,082 mm dia⁻¹ para TCDC (Knapik et al., 2005; Gonçalves et al., 2010; Holanda et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011).

Este enquadramento dos valores das taxas de crescimento do maricá e do mulungu com os apresentados em outros trabalhos mostra que essas espécies conseguiram se desenvolver no substrato da bacia de rejeito aproximadamente do mesmo modo que se desenvolveriam em solo.

A dose correspondente ao nível 3 de NPK promoveu, de maneira geral, maiores taxas de crescimento nas duas espécies quando não há restrições hídricas e para o

maricá em situações de estresse hídrico, mostrando que a aplicação desta dose em campo certamente resultará numa cobertura vegetal mais rápida, acelerando o processo de recuperação.

Teor de nutrientes

De maneira geral, o maricá obteve teores mais elevados de nutrientes na parte aérea e nas raízes, principalmente de N, Ca e K. Altos teores destes nutrientes também foram encontrados por Barbosa & Faria (2006) em estudo sobre a composição química da serrapilheira formada pelo maricá em fragmento da Mata Atlântica.

O tratamento com estresse hídrico promoveu aumento do teor de N e Fe em proporção à concentração total de nutrientes na parte aérea das plantas de maricá. O mesmo aumento proporcional aconteceu com o teor de S nas raízes, enquanto o teor de K diminuiu.

No entanto, para ambos os tratamentos, os teores de macronutrientes apresentados pelo maricá encontram-se próximos aos encontrados por Gonçalves et al. (2013), estudando o teor de macronutrientes na parte aérea e nas raízes de *Mimimosa caesalpiniaefolia* em diferentes níveis de adubação.

A diferença observada dos teores de P, na parte aérea do maricá não submetido ao estresse hídrico, entre os níveis 0 e 1 deve-se, provavelmente, ao efeito de diluição devido ao grande desenvolvimento do caule.

O efeito de diluição também é visível nos tratamentos com estresse hídrico, visto que as plantas tiveram maior produção de biomassa seca em função dos níveis crescentes de NPK aplicados, assim como o maior desenvolvimento do caule nos níveis 1, 2 e 3, porém em menor proporção quando comparado ao desenvolvimento das plantas não submetidas ao estresse hídrico. Neste tratamento, o efeito de diluição pôde ser visto nos teores de N, P e K da parte aérea do maricá, os quais apresentaram comportamento semelhante ao de P do tratamento sem estresse hídrico.

O mulungu apresentou maior teor de nutrientes do que o maricá quando em situações de constante disponibilidade de água. Além disto, o teor da maior parte dos nutrientes do mulungu não sofreu alterações com a aplicação de diferentes níveis de NPK.

Conteúdo de nutrientes

O conteúdo de nutrientes na biomassa vegetal é, dentre outros fatores, importante para a promoção de uma ciclagem de nutrientes eficiente, além de diminuir a perda destes por lixiviação (Herrera et al. 1978). O teor de nutrientes aliado às taxas de crescimento influencia na quantidade de nutrientes estocados na parte aérea e nas raízes das plantas. O maior acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas torna-se interessante para a recuperação de áreas degradadas, pois aumenta a disponibilização de nutrientes na superfície do solo ou substrato, via decomposição de serrapilheira, principalmente. (Barbosa & Faria, 2006).

O maior teor médio de nutrientes conjugado com o maior TCApa proporcionou ao maricá maior capacidade de acúmulo de macronutrientes em sua parte aérea, tornando esta espécie mais promissora na facilitação da sucessão vegetal em ambientes com períodos de seca.

O tratamento com estresse hídrico diminuiu a quantidade de nutrientes acumulados nas plantas de maricá. Esta diminuição pode ser justificada pelas menores taxas de crescimento apresentadas pelas plantas deste tratamento e pela diminuição do transporte de nutrientes, via solução, até as raízes, seja este por difusão (PO_4^{3-} e H_2PO_4^-) ou fluxo de massa (NH_4^+ , NO_3^- e K^+)

Embora os teores de NPK tenham apresentado comportamentos variados, ao se calcular o conteúdo destes nutrientes observou-se que há um aumento do acúmulo em resposta à adubação.

Assim como as taxas de crescimento, as doses referentes ao nível 3 promoveram maior acúmulo de nutrientes em ambas as espécies, inclusive para o maricá em situações de estresse hídrico.

Conclusões

A adubação com 300; 400 e 300 mg dm^{-3} de N, P e K, respectivamente, proporcionou maior taxa de crescimento das plantas em situações de ausência e presença de estresse hídrico.

O estresse hídrico interferiu negativamente no crescimento das plantas, marcadamente para a espécie mulungu, causando também redução do acúmulo de nutrientes na biomassa vegetal nas plantas de maricá.

A espécie maricá apresentou maiores taxas de crescimento e acúmulo de nutrientes quando o substrato permaneceu com potencial mátrico igual a -50 kPa durante os 60 primeiros dias após o plantio.

A utilização do mulungu é restringida a situações em que não ocorra déficit hídrico que reduza o potencial métrico do substrato a valores inferiores a -125 kPa.

A sobrevivência ao estresse hídrico, o maior crescimento do caule, a maior produção de biomassa na parte aérea e o maior potencial de acumular nutrientes na parte aérea torna o maricá mais indicado para revegetação de depósitos de rejeito do beneficiamento de minério de ferro do que o mulungu.

Literatura citada

- BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*. v.57, n.3, p.461-476. 2006.
- BEZERRA, F. B.; ANDRADE, A. G.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A.; PONTES, J. K. A. S.; ABREU, J. R. S. P. Alterações das propriedades físico-hídricas do solo pelo uso do lodo de esgoto na recuperação de área degradada do entorno do aeroporto internacional do Rio de Janeiro. Comunicado técnico. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2004. 4p.
- BONA, A. P. Estudos fitoquímico, alelopático, tóxico e mutagênico de *Erythrina mulungu* mart. Ex benth. utilizando bioensaios. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado Biologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- CAMPELLO, E. F. C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, Mg, Folha de Viçosa, 1998. p 183-196.
- CARVALHO, P. E. R. Maricá – *Mimosa bimucronata*. Circular Técnica 94. Colombo: Embrapa/CNPF, 2004.
- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*. Oxford, v.31, p.139–149, 2011.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N.F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.955-990, 2007
- DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, V.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. *Engenharia Rural*. Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.
- ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz. Trilhas da ESALQ: plantas medicinais – mulungu. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/trilhas/medicina/am10.htm>, acesso em junho de 2014.

- FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande. Anais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003. p.1-24.
- GATTAL, G. S.; PEREIRA, S. V.; COSTA, C. M.; LIMA, C. E. P.; MAIA, L. C. Microbial activity, arbuscular mycorrhizal fungi and inoculation of woody plants in lead contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*. v.42, n.3, p.859-867, São Paulo, 2011.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento das mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. *Sci. For.*, Piracicaba, v.38, n.88, p.599-609, 2010.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. sob diferentes doses de N, P, K, Ca e Mg. *Ci. Fl.*, v. 23, n. 2. 2013.
- HERRERA, R.; JORDAN, D. F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. 1978. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciência* 3: 223-232.
- HOLANDA, F. S. R.; GOMES, L. G. N.; ROCHA, I. P.; SANTOS, T. T.; ARAUJO FILHO, R. N.; VIEIRA, T. R. S.; MESQUITA, J. B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. *Ci. Fl.*, v. 20, n. 1, jan.-mar., 2010.
- HUNT, R. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. London: UnwinHyman, 1990. 112p.
- KÖNIG, E. J. Avaliação da sazonalidade da produção de serrapilheira numa floresta estacional decidual do município de Santa Maria-RS. *Revista Árvore*, v.26, n.4, p.429-435, 2002.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods*. 2ª edição. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 1986. p. 635-662.
- KNAPIK, J. G.; ALMEIDA, L. S.; FERRARI, M. P.; OLIVEIRA, E. B.; NOGUEIRA, A. C. Crescimento inicial de *Mimosa scabrella* Benth., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Allophylus edulis* (St. Hil.) Radl. Sob diferentes regimes de adubação. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.51, p.33-44. 2005.
- MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* v.255, p.1516-1524, 2008.
- NAIR, P. K. R.; BURESH, R. J.; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M. (Ed.). *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, CRC press, 1999. P 1-32.
- NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M. de; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.8, n.14, p.2121- 2131, 2012.

- OLDEMAN, L.R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D.J.; SZABOCLS, I. (Ed.) Soil resilience and sustainable land use. Wallingford: Cab International, p.99-118, 1994.
- OLIVEIRA, M. S. G.; AQUINO, A. B.; SILVA, D. L.; AQUINO, P. G. V.; SANTOS, M. S.; PROFÍRIO, A. P. R.; SANT'ANA, A. E. G.; SANTOS, B. V. O.; MOREIRA, M. A. M.; ARAÚJO JÚNIOR, J. X. A. Antinociceptive and anti-inflammatory activity of hydroalcoholic extracts and fractions from *Erythrina mulungu*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. v.22, n.1, p.157-171, 2012.
- PEREIRA, A. M. S.; SOUZA, V. T. A.; COPPEDE, J. S.; FRANÇA, S. C.; BERTONI, B. W.; SOUZA, A. V. V. Seed Germination and Production of *Erythrina mulungu* and *Erythrina velutina* Plantlets. *American Journal of Plant Sciences*. v.5, p.535-540, 2014.
- QUARESMA, L. F. Perfil da mineração de ferro. Relatório técnico In: BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. 2009.
- REIS, G. L.; LANA, A. M.; MAURÍCIO, R. M.; NETO, T. Q.; SOUZA, L. F.; MOUREIRA, G. F.; MACHADO, R. M. Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema de sivepastoril no bioma cerrado. Reunião anual SB de Zootecnia 43^a, 2006, João Pessoa. Anais. João Pessoa –PB: SB de Zootecnia, 2006. CD-ROM.
- SABONARO, D. Z.; GALBIATTI, J. A. Seedling growth of *Schizolobium parahyba* on different substrates and irrigation levels. *Rodriguésia*. v.62, n.3, p.467-475. 2011.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56 p.
- TOPP, G. C. & ZEBCHUCK, W. The determination of soil water desorption curves for soil cores. *Canadian Journal Soil Science*.v.59, p.19-26, 1979.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

Capítulo 2

Crescimento de mudas de cássia rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) e de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake) cultivadas em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro submetidas a níveis de adubação e irrigação.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e o acúmulo de N, P e K por plantas de cássia rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake) cultivadas por 120 dias em vasos contendo amostras de substrato proveniente da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro e adubadas com diferentes níveis de NPK, sendo estes: 0 (controle); 75; 150 e 300 mg dm⁻³ de N e K, e 0 (controle); 100; 200 e 400 mg dm⁻³ de P. Nos tratamentos sem estresse hídrico (EH) o potencial mátrico (ϕ_m) do substrato foi mantido em -50 kPa, enquanto nos tratamentos com EH o ϕ_m foi reduzido gradualmente em intervalos de 30 dias, ficando: -50; -125; -250 e -1000 kPa para os meses um, dois, três e quatro, respectivamente. O crescimento das espécies foi avaliado por meio das taxas de crescimento da altura de caule (TCAC) e do diâmetro de caule (TCDC), avaliados em intervalos de 30, e das taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e das raízes (TCAr) após 120 dias do semeio, assim como o acúmulo de N, P e K na biomassa das plantas. O estresse hídrico interferiu negativamente nas variáveis avaliadas para ambas as espécies, promovendo redução das TCAC e TCDC no guapuruvu a partir do primeiro nível do EH (-125 kPa) e da cássia rosa a partir do segundo nível (-250 kPa). No entanto, dentre as duas espécies, o guapuruvu apresentou maiores TCAC, TCDC, TCApa, TCAr e maior acúmulo de P e K na sua biomassa seca, independentemente da disponibilidade hídrica. Na ausência do estresse hídrico, foram obtidas maiores TCAC, TCDC, TCApa, TCAr e acúmulo de nutrientes com a aplicação de 300; 400; 300 mg dm⁻³ de N; P e K, respectivamente, em ambas as espécies. De maneira geral, as plantas submetidas ao estresse hídrico não responderam à adubação.

Abstract

This study aimed to evaluate the growth and accumulation of N, P and K by plants of cassia rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) and guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake) grown for 120 days in pots with substrate from tailing dam beneficiation of iron ore and fertilized with different levels of NPK, namely: 0 (control); 75; 150 and 300 mg dm³ of N and K, and 0 (control); 100; 200 and 400 mg dm³ of P. In treatments without water stress (EH) the matric potential (ϕ_m) of the substrate was kept at -50 kPa, while the treatment with the EH the ϕ_m was gradually reduced in 30-day intervals, getting: -50; -125; -250 And -1000 kPa for months one, two, three and four, respectively. The growth of the species was assessed by growth rates of stem height (TCAC) and stem diameter (TCDC), evaluated at intervals of 30, and the absolute growth rates of shoots (TCApa) and roots (TCAr) after 120 days of seeding, as well as the accumulation of N, P and K in plant biomass. EH interfered negatively in the variables studied for both species, and promoting the reduction of

guapuruvu's TCAC and TCDC from the first level of the EH (-125 kPa) and cassia rosa's from the second level (-250 kPa). However, among the two species, the guapuruvu showed higher TCAC, TCDC, TC_{Apa}, TC_{Ar} and greater accumulation of P and K in its dry biomass, regardless of water availability. In the absence of EH, higher CAGR, TCDC, TC_{Apa}, HRCT and nutrient accumulation were obtained by applying 300 ; 400; 300 mg dm⁻³ N; P and K, respectively, in both species. In general, plants subjected to drought stress did not respond to fertilization.

Introdução

No Brasil, o ferro é o principal produto mineral exportado, gerando uma renda de 28,91 bilhões de dólares no ano de 2010 (IBRAM, 2011). Em 2001, houve uma produção de 372 milhões de toneladas, dando ao Brasil o título de segundo produtor mundial de ferro, ficando atrás apenas da Austrália (IBRAM, 2012). A grande demanda mundial do mineral, assim como a quantidade e a qualidade das reservas brasileiras, torna a mineração de ferro alvo dos maiores investimentos da indústria minerária, estimando-se uma produção de 1,56 bilhões de toneladas para os anos de 2015 e 2016 (IBRAM, 2012). Contudo, estima-se que apenas 30 % do minério lavrado sejam aproveitados no processo de beneficiamento, gerando uma grande quantidade de rejeito que, por sua vez, é depositada em bacias próprias ao acúmulo deste material sem valor econômico (Quaresma, 2009).

As características químicas do substrato presente nas bacias de rejeito não são favoráveis ao bom crescimento vegetal, apresentando geralmente, baixos teores de matéria orgânica e de macronutrientes e baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (Dias et al., 2007). Além disto, os ambientes formados nas bacias de rejeito estão sujeitos a encharcamentos e secas severas ao longo do ano, exigindo que as espécies vegetais apresentem plasticidade quanto à necessidade de disponibilidade hídrica.

Além da adaptabilidade a grandes variações do conteúdo de água disponível, as espécies utilizadas na revegetação das bacias de rejeito precisam apresentar um rápido crescimento, a fim de acelerar a formação de cobertura vegetal. Este é um processo importante na recuperação de áreas degradadas, visto que promove maior proteção ao substrato, diminuindo a erosão hídrica, a variação da temperatura e, conseqüentemente, a taxa de evaporação (Nogueira et al., 2012).

Rápida produção de biomassa é também uma característica desejável para as espécies a serem utilizadas na revegetação, visto que contribuiria para o incremento de matéria orgânica ao substrato, o que é importante para o aumento da CTC, e para

a melhoria da estrutura do substrato, equilibrando a retenção da água e a aeração (Six et al., 2002).

É importante salientar que o uso de espécies nativas é importante no processo de revegetação, uma vez que possibilita uma maior integração da área em recuperação com as áreas de vegetação remanescente, além de minimizar a inclusão de espécies exóticas no sistema. Neste sentido, um dos maiores problemas para a revegetação de bacias de rejeito é a seleção de espécies nativas com rápido crescimento e adaptabilidade a uma ampla faixa de disponibilidade hídrica.

Vários estudos mostram que algumas espécies leguminosas arbóreas nativas apresentam as características de crescimento desejadas, apresentando bons resultados na recuperação de áreas degradadas (Araújo Filho, 2007; Dias et al., 2010; Assis et al., 2011; Chaer et al., 2011). Porém pouco se sabe do comportamento destas quando cultivadas nos substratos das bacias de rejeito, sendo necessários estudos que visem avaliar o desenvolvimento destas espécies neste tipo de ambiente, assim um correto manejo nutricional.

Espécies adaptadas a amplas faixas de temperatura, altitude, taxa de precipitação e distribuição da chuva durante o ano apresentam maiores chances de êxito para adaptação em áreas em que não se tem vasto conhecimento sobre o seu potencial para suporte de uma vegetação de grande porte, como bacias de rejeito. A cássia rosa e guapuruvu são espécies que se enquadram nestes pré-requisitos, sendo, portanto, interessante a avaliação do crescimento destas espécies neste tipo de ambiente.

A cássia rosa é uma espécie de leguminosa pioneira e secundária inicial que apresenta crescimento moderado e formação de copa larga. Esta espécie tem uma ampla distribuição geográfica, ocorrendo em diversos países da América do Sul e Central, como México, Costa Rica, Honduras, Panamá, Porto Rico, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname, Venezuela e Brasil, com variação altitudinal de 10 a 1200 m. No Brasil, ocorre naturalmente nos biomas da Mata Atlântica e Pantanal, com temperatura variando entre 21°C e 28°C e precipitação média anual de 1100 a 3000 mm, distribuída uniforme ou desuniformemente, resistindo a períodos secos de 4 meses de duração (Carvalho, 2006).

O guapuruvu é uma espécie de leguminosa pioneira a secundária inicial de clímax que apresenta crescimento do tipo monopodial. No Brasil, ocorre

naturalmente no bioma da Mata Atlântica, com variação altitudinal de 10 a 900 m, temperatura média anual entre 18°C a 24°C e precipitação anual média entre 1100 e 2400 mm, distribuída uniforme ou desuniformemente durante o ano (Carvalho, 2005).

Para as duas espécies, a associação simbiótica com microorganismos fixadores de N é restrita a fungos micorrísicos arbusculares, não se associando a bactérias do gênero *Rhizobium* (Carvalho, 2005; Carvalho, 2006).

Visto as dificuldades para a revegetação de bacias de rejeito de mineração de ferro, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica adubadas com diferentes níveis de NPK, em situações de presença e ausência de déficit hídrico.

Material e Métodos

O experimento foi montado em casa de vegetação, utilizando amostras (0-20 cm) de rejeito de beneficiamento de minério de ferro depositado na barragem de rejeitos Forquilha III na Unidade Fábrica da empresa VALE S.A., município de Ouro Preto, MG.

O material foi seco ao ar, homogeneizado, destorroado e passado em peneira com abertura de malha de 4,0 mm. Após a homogeneização, foram retiradas três amostras para a caracterização química (Tabela 1), que foram destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 2,0 mm.

Tabela 1. Caracterização química do substrato da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	
	— mg dm ⁻³ —		—————cmol _c dm ⁻³ —————								— % —	
7,3	8,3	19,2	0,79	0,02	0	0,3	0,85	0,85	1,13	76,0	0,0	
MO	P-rem	S	Zn	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb		
dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹					—————mg dm ⁻³ —————						
0,16	49,4	17,8	1,51	52,8	68,7	0,99	0,8	1,0	0,1	0,1		

pH em água - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Matéria Orgânica (MO) = Carbono Orgânico x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente; Teores totais de Cr - Ni - Cd - Pb - Digestão ácida - Ácidos nítrico e fluorídrico.

A partir de amostras não deformadas coletadas com auxílio de anéis de 5 cm de altura e de amostras deformadas coletadas de 0 a 5 cm de profundidade determinou-se a curva característica de retenção de água (figura 1) por meio da determinação da umidade volumétrica (θ) em equilíbrio com os potenciais: -0,004; -0,006; -0,008 e -0,01 MPa, aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuck, 1979), e -0,05; -0,1; -0,2; -0,5; -1,0 e -1,5 MPa, aplicados em placas porosas dispostas em câmaras de pressão (Klute, 1986).

A curva foi ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980) e os parâmetros de ajuste foram obtidos por meio do software SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

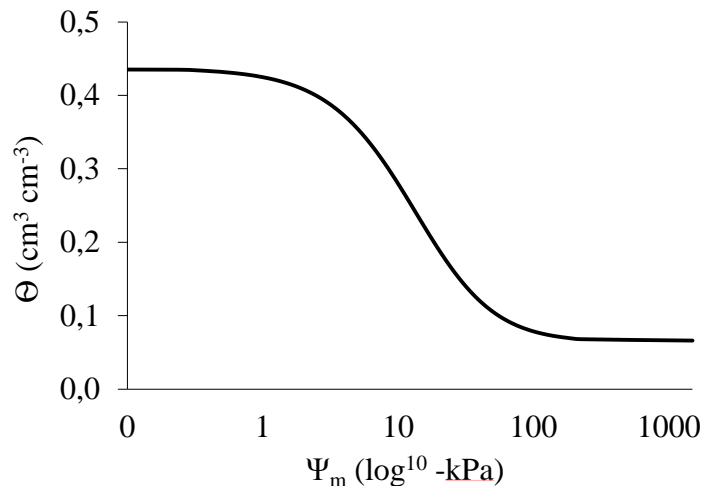


Figura 1: Curva característica de retenção de água do rejeito de beneficiamento de minério de ferro.

Procedimento experimental

O experimento foi montado segundo o esquema fatorial 2 x 4 x 2 (2 espécies, 4 níveis de adubação, com e sem estresse hídrico), em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 16 tratamentos. As unidades experimentais compreenderam vasos plásticos de 3 dm³, contendo 2,0 kg de rejeito seco e três plantas.

As espécies de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas foram a cássia rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) e o guapuruvu (*Schizolobium parahyba* S. F. Blake). As sementes de guapuruvu foram compradas da empresa

Arbocenter® e sofreram quebra de dormência por imersão durante dez minutos em água fervente e permanência nesta água, após o aquecimento, por 72 horas (Bianchetti & Ramos, 1981). As sementes de cássia rosa foram adquiridas do Laboratório de Análise de Sementes Florestais, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, e sua escarificação deu-se por imersão em ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos (Capelanes, 1991).

Após a quebra de dormência, as sementes foram plantadas diretamente no rejeito, utilizando-se 6 sementes por vaso. Em cada vaso, foram mantidas três plântulas que apresentaram emergência mais rápida, enquanto as demais foram desbastadas logo após a emergirem.

Foram aplicados quatro níveis crescentes de N, P e K, sendo 0; 75; 150 e 300 mg dm⁻³ para N e K e 0; 100; 200 e 400 mg dm⁻³ para P. As doses de Ca, Mg, S e micronutrientes foram iguais para todos os tratamentos, sendo 120,9; 30,23; 2,2; 1,33; 4,0; 0,81 e 0,15 mg dm⁻³ para Ca, Mg, S, Zn, B e Mo, respectivamente. Não foram aplicados os micronutrientes Fe e Mn.

Os nutrientes foram aplicados de formas distintas. P, Ca, Mg e S foram aplicados em fundação, sendo Ca e Mg aplicados 15 dias antes do plantio e P e S, um dia antes do plantio. N, K e micronutrientes foram aplicados em cobertura, sendo os micronutrientes aplicados os 15 dias após o plantio e N e K aplicados aos 30, 60 e 90 dias após o plantio.

Nos tratamentos que não tiveram estresse hídrico, o potencial mátrico do substrato foi mantida a valores próximos a -50 kPa. Nos tratamentos em que as plantas foram submetidas ao estresse hídrico, o potencial mátrico do substrato foi mantido em aproximadamente -50 kPa nos primeiros 30 dias após o semeio, -125 kPa entre 30 e 60 dias, -250 kPa entre 60 e 90 dias e -1000 kPa entre 90 e 120 dias. A irrigação foi feita por meio de pesagem dos vasos e reposição da lâmina de água deionizada necessária para a obtenção do potencial mátrico desejado, de acordo com a curva característica de retenção de água (figura 1)

Avaliações

Foram avaliadas as taxas de crescimento da altura do caule (TCAC) e do diâmetro caulinar (TCDC), como descrito nas equações 1 e 1 (Hunt,1990).

$$TCAC = \frac{(A_2 - A_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Onde: TCAC: Taxa de crescimento absoluto da altura do caule (mm dia⁻¹); (A₂ - A₁): Diferença da altura do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁): Tempo decorrido entre duas observações (dias).

$$TCDC = \frac{(D_2 - D_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Onde: TCDC = Taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule (mm dia⁻¹); (A₂ - A₁) = Diferença do diâmetro do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁) = Tempo decorrido entre duas observações (dias).

As TCAC e TCDC foram avaliadas em intervalos de 30 dias, gerando as TCAC¹, TCAC², TCAC³ e TCAC⁴, assim como as TCDC¹, TCDC², TCDC³ e TCDC⁴ para os meses 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Após os 120 dias do experimento, foram calculadas ainda as TCAC e TCDC para o período total do experimento (TCAC^m e TCDC^m).

Após 120 dias do semeio as plantas foram cortadas rente ao rejeito e determinadas a produção de biomassa seca da parte aérea (TCA_{pa}) e (TCA_r) raiz (equação 3), de acordo com Hunt (1990).

$$TCA = \frac{(BS_2 - BS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Onde: TCA: Taxa de crescimento absoluto (mg dia⁻¹); (BS₂ - BS₁): Diferença da biomassa seca de duas observações (mg) e (t₂ - t₁): Tempo decorrido entre duas observações (dias).

Após o corte das plantas foram determinados os teores dos macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas. A concentração de N total foi obtida a partir da digestão sulfúrica do material vegetal seco, pelo método Kjeldhal, e

as concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe e Mn foram obtidos por meio da digestão nitro-perclórica, ambos de acordo com Sarruge & Haag (1974). Com os teores, foram estimados os conteúdos totais dos elementos químicos na parte aérea e nas raízes das plantas por meio da multiplicação com a biomassa seca.

Os dados observados (variáveis dependentes) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e seus efeitos, isolados e em interação, foram avaliados por meio do teste F com 5 % de significância. Em caso de significância estatística do valor de F para as interações fez-se o desdobramento, avaliando o efeito dos níveis de adubação dentro dos tratamentos com e sem estresse hídrico dentro de cada espécie. A avaliação do estresse hídrico e das espécies utilizadas para a obtenção das maiores taxas de crescimento e maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea e nas raízes foi realizada pelo teste de Tukey a 5 % de significância. A avaliação do nível de fertilizante foi realizada por meio de análise de regressão, sendo testados os modelos linear, raiz quadrada e quadrático. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar[®].

Resultados

Crescimento das plantas

O estresse hídrico afetou o crescimento das plantas de ambas as espécies, promovendo menores TCAC^m, TCDC^m (Tabela 2) e taxas de crescimento absoluto das partes aéreas e das raízes (Tabela 3).

Contudo, as espécies demonstraram ser diferentes quanto à intensidade do estresse hídrico que são capazes de resistir sem que haja diminuição nas taxas de crescimento. Para a cássia rosa, apenas o último nível do estresse hídrico afetou o crescimento do caule em altura, enquanto o alargamento do caule sofreu interferência a partir do terceiro nível. Neste nível, o caule da cássia rosa apresentou crescimento radial mínimo, enquanto no quarto nível houve um estreitamento, sugerindo sintomas de murcha (Tabela 2).

Tabela 2. Taxas médias de crescimento do caule em altura e em diâmetro da cássia rosa e do guapuruvu referente aos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH)

Maricá					
Tratamento	TCAC ¹	TCAC ²	TCAC ³	TCAC ⁴	TCAC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	3,91a	1,85a	0,69a	2,36a	2,20a
CV (%)	(24,5)	(36,3)	(74,0)	(91,6)	(29,9)
Com EH	3,79a	1,38a	0,47a	0,41b	1,51b
CV (%)	(18,9)	(26,0)	(74,6)	(70,3)	(10,9)
	TCDC ¹	TCDC ²	TCDC ³	TCDC ⁴	TCDC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	0,094a	0,024a	0,010a	0,028a	0,039a
CV (%)	(13,2)	(34,5)	(90,5)	(67,1)	(16,3)
Com EH	0,090a	0,016a	0,001b	-0,002b	0,026b
CV (%)	(8,6)	(45,5)	(2456,5)	(-557,4)	(15,4)
Mulungu					
Tratamento	TCAC ¹	TCAC ²	TCAC ³	TCAC ⁴	TCAC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	4,22a	3,92a	1,60a	0,76a	2,63a
CV (%)	(18,1)	(38,3)	(28,4)	(42,9)	(14,1)
Com EH	4,60a	3,18b	1,08b	0,17b	2,26b
CV (%)	(16,0)	(37,0)	(59,3)	(170,4)	(19,1)
	TCDC ¹	TCDC ²	TCDC ³	TCDC ⁴	TCDC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	0,156a	0,070a	0,037a	0,027a	0,072a
CV (%)	(9,9)	(30,0)	(44,1)	(78,2)	(9,4)
Com EH	0,149a	0,053b	0,005b	0,004b	0,053b
CV (%)	(9,3)	(48,5)	(166,3)	(226,9)	(16,7)

^{1, 2, 3 e 4} indicam valores referentes aos 1º, 2º, 3º e 4º meses, respectivamente; ^m corresponde à média. Valores seguidos por letras iguais, na coluna, em cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O crescimento do caule do guapuruvu foi afetado a partir do segundo nível de estresse hídrico, mostrando que esta é uma espécie sensível a restrições hídricas, no entanto, nenhum nível de estresse hídrico promoveu TCDC negativa (Tabela 2).

A presença do estresse hídrico comprometeu a produção de biomassa de ambas as espécies, no entanto, o guapuruvu apresentou maiores TCAPa e TCAR independentemente da disponibilidade hídrica (Tabela 3).

Tabela 3. Taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TC_{Apa}) e das raízes (TC_{Ar}) da cássia rosa e do guapuruvu dos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH), referente à média dos níveis de NPK

Espécie	TC _{Apa}		TC _{Ar}	
	Sem EH	Com EH	Sem EH	Com EH
	mm dia ⁻¹			
Cássia Rosa	25,55a	4,09b	10,25a	2,02b
CV (%)	(63,5)	(28,9)	(37,4)	(49,1)
Guapuruvu	43,13a	9,33b	24,3a	7,07b
CV (%)	(41,3)	(49,6)	(28,0)	(67,2)

Valores seguidos por letras iguais, na linha, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O aumento das doses de NPK promoveu maior crescimento e maior produção de biomassa pelas plantas de cássia rosa apenas nos tratamentos sem estresse hídrico (Figura 2A,B). Para esta espécie, o efeito do estresse hídrico foi mais expressivo que o efeito da adubação, promovendo, para todas as doses de NPK, uma TC_{Ar}^m próxima à apresentada pelas plantas sem adubação com NPK e sem estresse hídrico (Figura 2C). Para a TC_D^m, TC_{Apa} e TC_{Ar}, o estresse hídrico teve efeito ainda mais severo, promovendo, para todas as doses de NPK, valores inferiores aos apresentados pelas plantas sem adubação com NPK e sem estresse hídrico (Figura 2C,D).

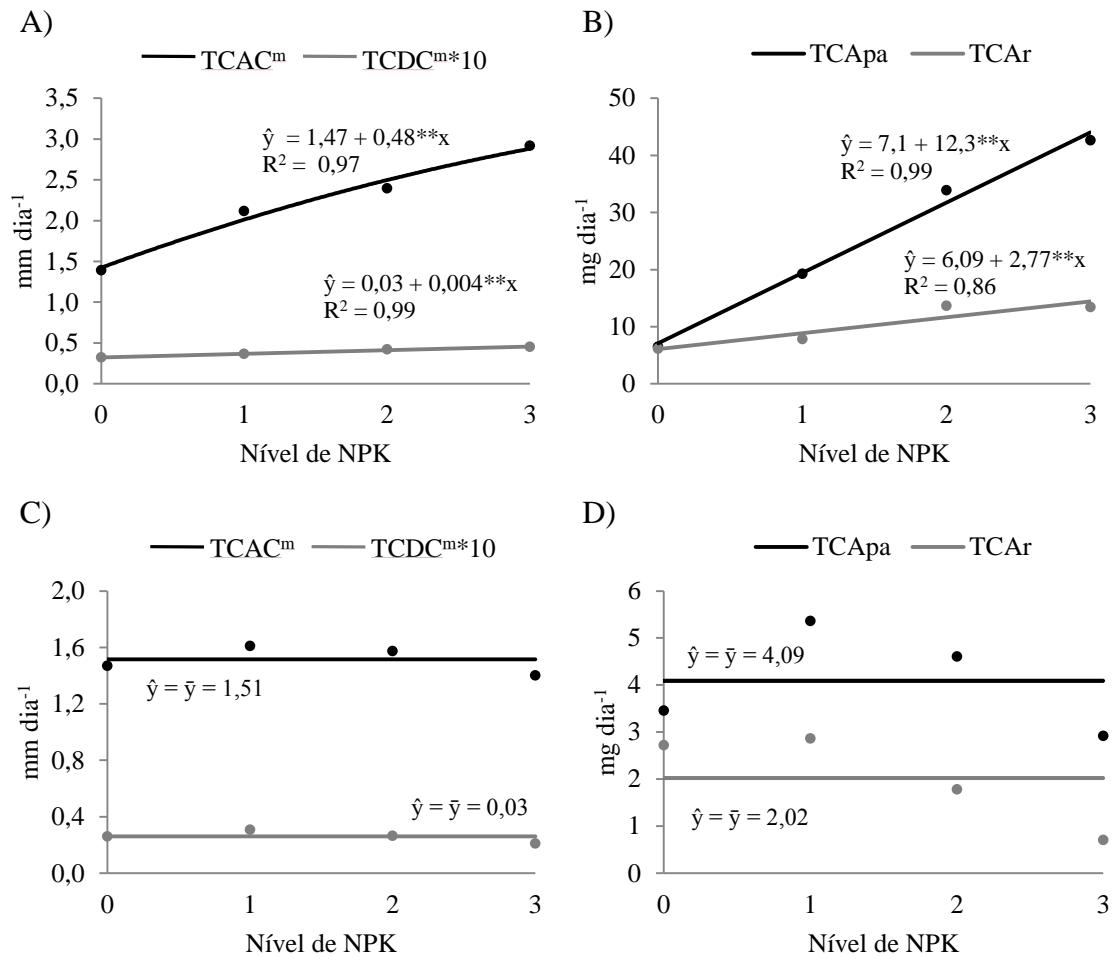


Figura 2. A) Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e B) taxa de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e da raiz (TCAr) da cássia rosa sem estresse hídrico; C) Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e D) taxa de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e da raiz (TCAr) da cássia rosa com estresse hídrico, em função das doses crescentes de NPK. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Da mesma forma do ocorrido com a cássia rosa, o aumento das doses de NPK promoveu maior crescimento e maior produção de biomassa no guapuruvu apenas nos tratamentos sem estresse hídrico (Figura 3A,B). Neste caso, o guapuruvu mostrou-se menos sensível à adubação do que a Cácia Rosa, quanto a TCAC^m (Figura 3A). Observou-se ainda uma queda na TCApa e na TCAr do guapuruvu entre as níveis 0 e 1 de NPK, porém, a produção aumenta entre as doses 1 e 3 (Figura 3B).

Para esta espécie, o efeito do estresse hídrico também foi mais expressivo que o efeito da adubação, promovendo, para todas as doses, TCAC^m, TCDC^m, TCAPA e TCAR menores do que as apresentadas pelas plantas sem adubação com NPK e sem estresse hídrico (Figura 3C,D).

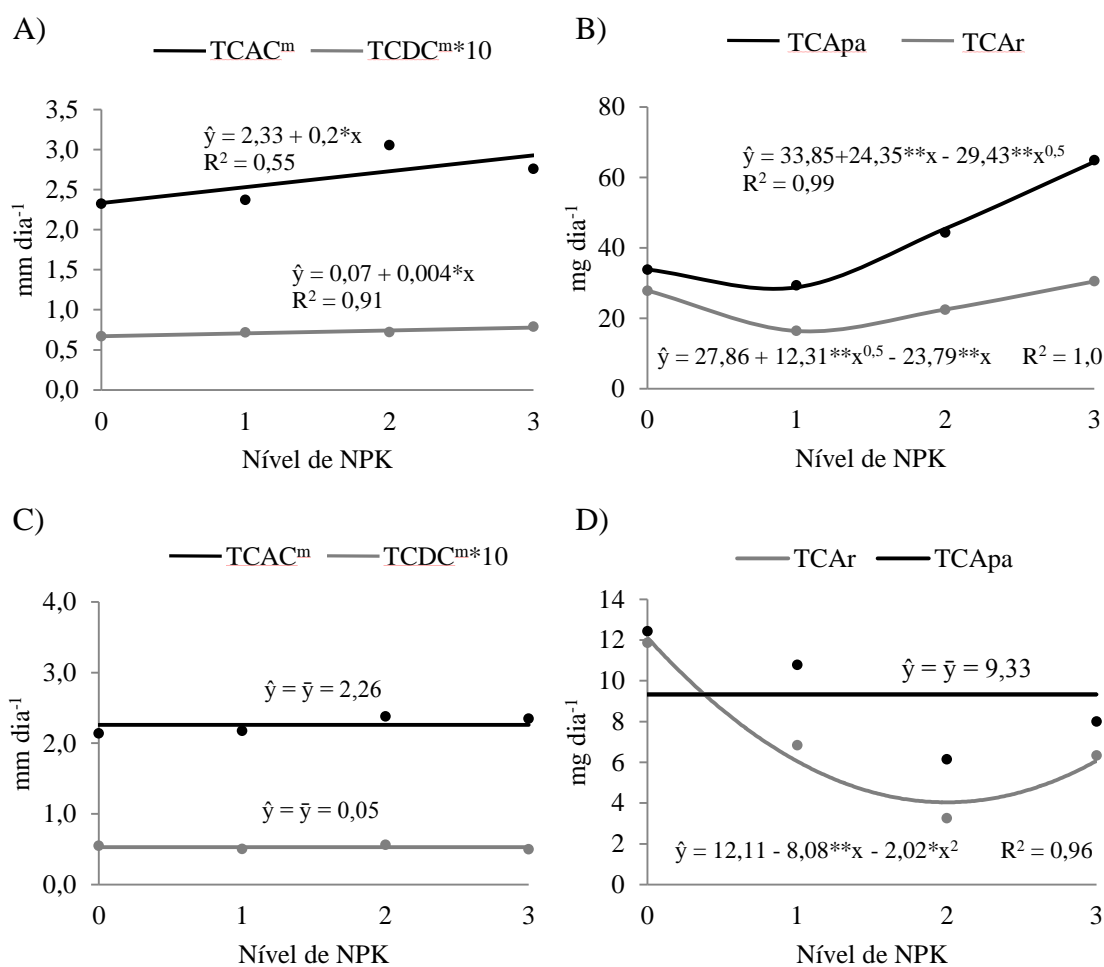


Figura 3. A) Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e B) produção de biomassa seca da parte aérea (TCAPA) da raiz (TCAR) do guapuruvu sem estresse hídrico; C) Taxas médias de crescimento do caule em altura (TCAC^m), e em diâmetro (TCDC^m) e D) produção de biomassa seca da parte aérea (TCAPA) da raiz (TCAR) do guapuruvu com estresse hídrico, em função das doses crescentes de NPK. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Teor de Nutrientes

O estresse hídrico promoveu maiores alterações nos teores de macronutrientes da cássia rosa em relação ao guapuruvu. Na parte aérea desta espécie, observa-se maior teor de N quando as plantas são submetidas ao estresse hídrico, mostrando um efeito de concentração devido à menor produção de biomassa. Em situações de estresse hídrico, observaram-se maiores teores de K na parte aérea e de Ca nas raízes, ocorrendo o contrário quando não há restrições hídricas (Tabela 4).

Dentre os micronutrientes, apenas o teor de Mn da parte aérea da cássia rosa foi superior na ausência do estresse hídrico (Tabela 4).

Tabela 4. Teores médios de nutrientes na parte aérea e na raiz do cássia rosa, referentes aos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH)

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	1,62b	0,11a	0,59b	1,43a	0,16a	0,14b
CV (%)	(57,4)	(50,3)	(17,1)	(14,1)	(39,8)	(17,7)
Com EH	2,37a	0,16a	0,73a	1,03b	0,15a	0,22a
CV (%)	(55,7)	(81,5)	(21,8)	(22,7)	(55,1)	(33,5)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,0011a	0,0002a	0,13a	0,07a		
CV (%)	(61,4)	(80,9)	(57,8)	(114,3)		
Com EH	0,0011a	0,0002a	0,14a	0,03b		
CV (%)	(46,4)	(69,9)	(45,3)	(69,4)		
Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	1,13b	0,10a	0,51a	0,56b	0,10a	0,17a
CV (%)	(35,8)	(44,0)	(25,8)	(29,7)	(39,3)	(20,8)
Com EH	1,47a	0,11a	0,11b	0,96a	0,08a	0,19a
CV (%)	(18,7)	(39,3)	(50,3)	(7,6)	(49,6)	(24,5)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,0016a	0,0006a	2,44a	0,14a		
CV (%)	(50,6)	(52,8)	(33,1)	(46,7)		
Com EH	0,0015a	0,0006a	2,81a	0,12a		
CV (%)	(26,4)	(41,1)	(18,3)	(20,6)		

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade.

O efeito de concentração também ocorreu na parte aérea do guapuruvu, onde os teores de N, P e K foram maiores nas plantas submetidas ao déficit hídrico (Tabela 5).

Nota-se que na parte aérea, independentemente da disponibilidade hídrica, os teores de N são mais altos na cássia rosa, enquanto o guapuruvu apresenta maiores concentrações de P e K (Tabela 4,5).

Tabela 5. Teores médios de nutrientes na parte aérea e na raiz do guapuruvu, referentes aos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH)

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	dag kg ⁻¹					
Sem EH	0,93b	0,17b	0,65b	0,88a	0,16b	0,24b
CV (%)	(24,0)	(66,0)	(28,2)	(21,7)	(34,6)	(22,0)
Com EH	1,28a	0,36a	1,11a	0,82a	0,22a	0,35a
CV (%)	(25,3)	(102,9)	(30,6)	(25,0)	(52,1)	(39,4)
	Zn	Cu	Fe	Mn		
	dag kg ⁻¹					
Sem EH	0,0010a	0,0003b	0,11b	0,06a		
CV (%)	(34,9)	(56,8)	(33,0)	(85,6)		
Com EH	0,0013a	0,0007a	0,28a	0,04b		
CV (%)	(110,2)	(74,8)	(119,3)	(82,1)		
Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	dag kg ⁻¹					
Sem EH	1,08a	0,17a	0,67a	0,60b	0,28a	0,35a
CV (%)	(20,2)	(67,3)	(17,0)	(22,2)	(35,1)	(18,0)
Com EH	1,50a	0,14b	0,25b	1,11a	0,17b	0,32a
CV (%)	(15,9)	(41,0)	(41,1)	(20,0)	(35,2)	(25,3)
	Zn	Cu	Fe	Mn		
	dag kg ⁻¹					
Sem EH	0,0026a	0,0018a	3,49a	0,22a		
CV (%)	(20,8)	(30,2)	(16,6)	(24,6)		
Com EH	0,0030a	0,0021a	4,02a	0,20a		
CV (%)	(30,7)	(56,7)	(27,6)	(35,2)		

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade.

A aplicação de níveis crescentes de NPK influenciou no teor de nutrientes da cássia rosa. Na parte aérea das plantas não submetidas ao estresse hídrico houve aumento dos teores de N e K em função do aumento das doses de NPK. Comportamento semelhante foi observado nas plantas sujeitas ao estresse, onde os teores de N, P e K aumentaram em função da adubação.

Nas raízes da cássia rosa, o aumento das doses de NPK promoveu aumento dos teores de N e P de plantas dos tratamentos com e sem estresse hídrico. Porém, a adubação proporcionou efeito no teor de K apenas na ausência do estresse hídrico, onde o teor deste nutriente aumentou em função do aumento das doses.

No guapuruvu, as doses crescentes de NPK promoveram aumento nos teores de P na parte aérea e nas raízes das plantas dos tratamentos com e sem estresse hídrico. O teor de K também respondeu à adubação em todos os tratamentos, porém diminuiu em função do aumento das doses de NPK nas raízes das plantas submetidas ao estresse hídrico. Nota-se também que há um aumento do teor de N entre as níveis 1 e 3 de NPK nas raízes das plantas não submetidas ao estresse hídrico.

Em situação de déficit hídrico, a aplicação de doses crescentes de NPK promoveu aumento no teor de N, P e K da parte aérea, diferente do ocorrido nas raízes, onde o teor de N não respondeu à adubação.

Conteúdo de Nutrientes

O estresse hídrico interferiu no acúmulo de nutrientes em ambas as espécies. Para a cássia rosa, apenas o estoque de Cu na biomassa radicular não foi afetado pelo estresse, enquanto os acúmulos dos demais nutrientes, na parte aérea e nas raízes, foram reduzidos (Tabela 6).

Para o guapuruvu, o estresse hídrico promoveu menores estoques de todos os nutrientes, tanto na parte aérea quanto nas raízes (Tabela 7).

Independentemente da disponibilidade hídrica, os nutrientes mais acumulados foram N, Ca e K em ambas as espécies. No entanto, o guapuruvu apresentou maiores conteúdos da maior parte dos nutrientes, sendo superado pela cássia rosa apenas no acúmulo de N e Ca na parte aérea (Tabelas 6,7).

Tabela 6. Estoque médio de nutrientes na parte aérea e na raiz da cássia rosa, referentes aos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH)

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	127,42a	8,83a	42,11a	99,84a	12,23a	9,79a
CV (%)	(92,6)	(85,2)	(61,2)	(60,1)	(72,2)	(55,7)
Com EH	26,38b	1,60b	8,83b	13,12b	1,89b	2,52b
CV (%)	(55,1)	(54,9)	(48,7)	(55,1)	(70,1)	(48,1)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,076a	0,011a	8,53a	8,31a		
CV (%)	(85,1)	(66,0)	(90,5)	(76,6)		
Com EH	0,012b	0,002b	1,88b	2,13b		
CV (%)	(45,3)	(58,9)	(69,1)	(86,0)		
Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	32,81a	3,00a	14,51a	16,03a	2,85a	4,68a
CV (%)	(47,1)	(59,1)	(36,1)	(37,0)	(52,4)	(29,5)
Com EH	8,60b	0,58b	0,55b	5,93b	0,39b	1,06b
CV (%)	(55,0)	(46,3)	(51,7)	(57,3)	(59,6)	(46,6)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	4,68a	0,041a	0,015a	66,31a	6,28a	
CV (%)	(29,5)	(44,5)	(33,4)	(37,9)	(32,3)	
Com EH	1,06b	0,010b	0,003a	18,00b	1,06b	
CV (%)	(46,6)	(57,0)	(60,4)	(57,0)	(63,4)	

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade.

Tabela 7. Estoque médio de nutrientes na parte aérea e na raiz do guapuruvu, referentes aos tratamentos com e sem estresse hídrico (EH)

Parte Aérea						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	83,47a	16,39a	58,45a	75,37b	14,81a	20,61a
CV (%)	(38,7)	(83,7)	(39,1)	(28,9)	(45,1)	(30,7)
Com EH	22,60b	4,82b	18,78b	15,50b	3,66b	5,86b
CV (%)	(57,8)	(89,6)	(53,9)	(69,7)	(76,5)	(52,4)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	20,61a	0,085a	0,023a	9,21a	13,20a	
CV (%)	(30,7)	(40,9)	(56,0)	(33,5)	(53,2)	
Com EH	5,86b	0,018b	0,011b	3,90b	5,22b	
CV (%)	(52,4)	(53,4)	(57,8)	(61,7)	(89,1)	

Raiz						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
dag kg ⁻¹						
Sem EH	53,73a	8,76a	32,98a	29,56a	14,04a	17,29a
CV (%)	(28,1)	(75,8)	(20,0)	(25,7)	(39,3)	(20,9)
Com EH	21,22b	1,81b	4,34b	15,06b	2,26b	4,81b
CV (%)	(67,8)	(68,7)	(106,9)	(68,6)	(82,4)	(92,7)
dag kg ⁻¹						
	Zn	Cu	Fe	Mn		
Sem EH	0,129a	0,092a	176,93a	16,52a	6,28a	
CV (%)	(30,8)	(47,7)	(37,9)	(28,9)	(32,3)	
Com EH	0,040b	0,024b	52,16b	3,87b	1,06b	
CV (%)	(73,6)	(85,5)	(70,3)	(70,0)	(63,4)	

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na parte aérea ou na raiz, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade.

Na ausência do estresse hídrico, o aumento da adubação promoveu maiores conteúdos de N, P e K na parte aérea da cássia rosa (Figura 4A,B), por outro lado, o efeito do estresse hídrico foi mais expressivo que o efeito da adubação, não havendo, neste tratamento, respostas à adubação (Figura 4C,D).

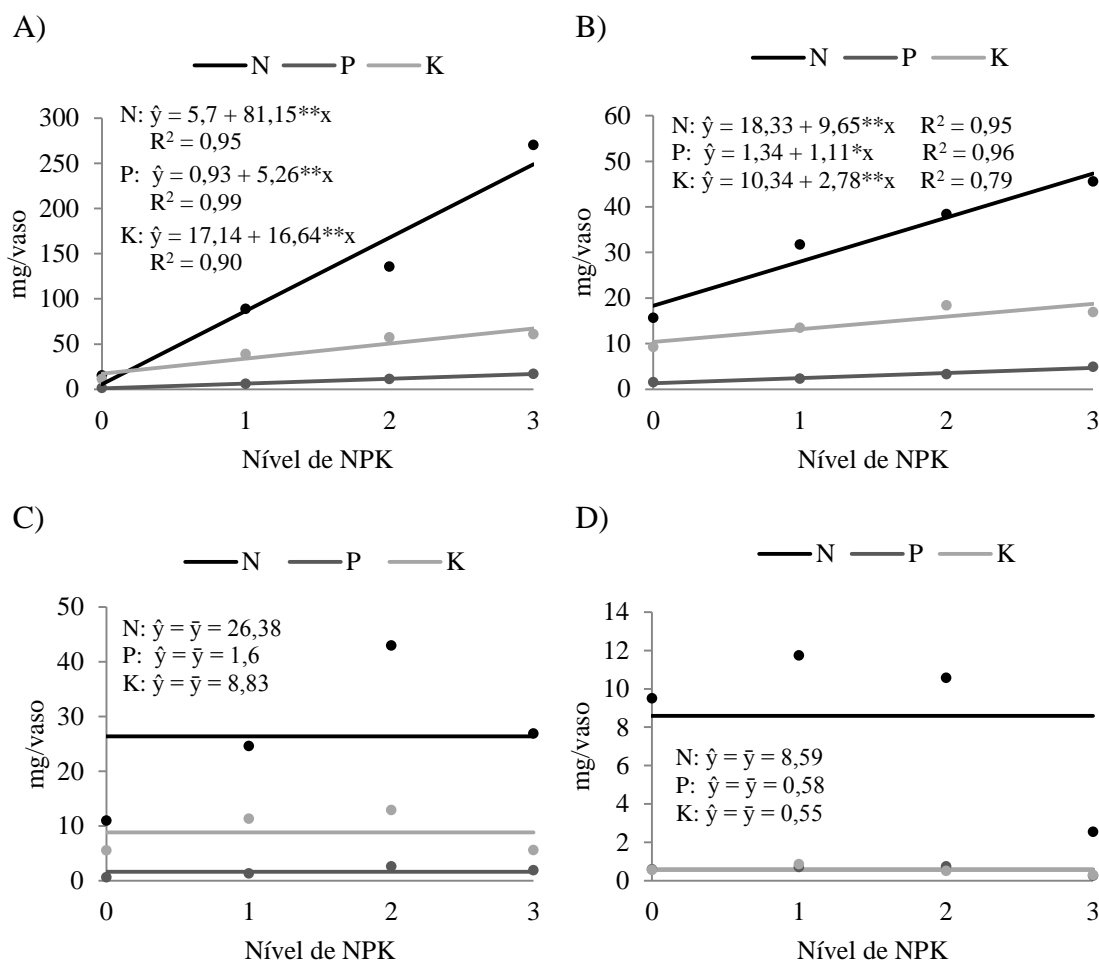


Figura 4. A) Conteúdo de N, P e K da parte aérea e da B) raiz da cássia rosa, referente ao tratamento sem estresse hídrico; C) conteúdo de N, P e K da parte aérea e da D) raiz da cássia rosa, referente ao tratamento com estresse hídrico, em função das doses crescentes de NPK. *, ** Significante a 5 e 1 %, respectivamente.

Na ausência do estresse hídrico, observou-se aumento do conteúdo de K na parte aérea, de N nas raízes e de P em toda a planta (Figura 5A,B).

Em situações de déficit hídrico, a adubação não promoveu mudanças nos conteúdos de N, P e K da parte aérea do guapuruvu (Figura 5C). Nas raízes das plantas deste tratamento, a interação do estresse com o aumento das doses de NPK promoveu menor acúmulo de N, K (Figura 5D) Assim como observado para a TCAR (Figura 3D).

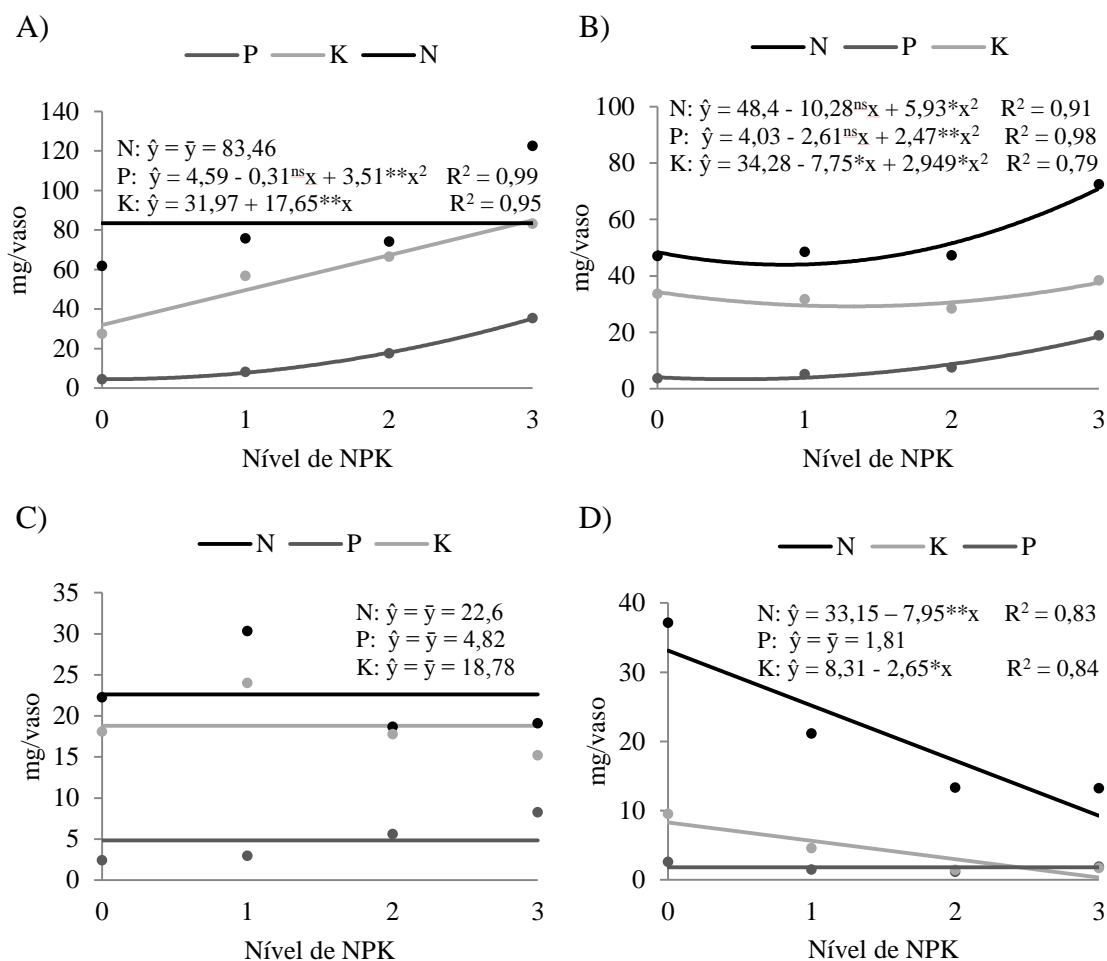


Figura 5. A) Conteúdo de N, P e K da parte aérea e da B) raiz da guapuruvu, referente ao tratamento sem estresse hídrico e C) conteúdo de N, P e K da parte aérea e da D) raiz da guapuruvu, referente ao tratamento com estresse hídrico, em função das doses crescentes de NPK. *, ** Significante a 5 e 1 %, respectivamente.

Discussão

Crescimento das plantas

Embora o guapuruvu tenha apresentado maiores valores de TCAC^m, TCDC^m e TCAPa a arquitetura da copa desta espécie não garante uma rápida formação de cobertura vegetal, visto que tem como característica o crescimento monopodial com fuste reto e ramificações apenas no ápice, que pode chegar a 15 m de altura (Carvalho, 2005).

De forma distinta, a cássia rosa não tem dominância apical definida, apresentando crescimento em forma de multitrancos ou tronco curto e ramificado,

formando uma copa larga (Carvalho, 2006). Este tipo de crescimento é mais interessante no início da recuperação de uma área degradada, visto que há maior cobertura do solo ou, no caso, substrato.

A rápida formação da cobertura vegetal reduz a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva e a variação térmica da superfície do substrato, diminuindo a taxa da evaporação, contribuindo assim com a facilitação da sucessão vegetal (Chaer et al., 2011; Nogueira et al., 2012).

No entanto, os benefícios da formação de uma cobertura vegetal são reduzidos quando há situações de déficit hídrico, visto que a baixa disponibilidade de água promoveu menores taxas de crescimento e de produção de biomassa de ambas as espécies. O crescimento apresentado pela cássia rosa em potenciais mátricos do substrato iguais ou maiores que -250 kPa indica que esta espécie é mais tolerante a situações de déficit hídrico, o que é importante para a sua sobrevivência quando em condições de campo.

No entanto, apesar de o guapuruvu ter seu crescimento reduzido quando o substrato apresenta potencial mátrico igual ou inferior a -125 kPa, a característica de rápido crescimento inicial propícia desta espécie (Coelho et al., 2006) possibilitou maiores TCAC, quando comparadas às da cássia rosa, até o segundo nível de estresse hídrico (-250 kPa).

As duas espécies apresentaram-se pouco tolerantes ao último nível do estresse hídrico, indicando que não sobreviveriam por um longo período se submetidas a um potencial mátrico igual ou inferior a -1000 kPa. Esta situação é ainda mais crítica para a cássia rosa, visto que após um período de 30 dias as plantas apresentaram sintomas de murcha, como o estreitamento do diâmetro do caule.

As taxas de crescimento do caule e de produção de biomassa apresentados por ambas as espécies quando na ausência de estresse hídrico se enquadram nos valores apresentados por leguminosas arbóreas nativas em diversos estudos. Nestes, as taxas de crescimento do caule variam entre 0,46 e 3,36 mm dia⁻¹, para a TCAC, e 0,012 a 0,082 mm dia⁻¹ para TCDC (Knapik et al., 2005; Gonçalves et al., 2010; Holanda et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011). Para a produção de biomassa, os valores observados para leguminosas arbóreas nativas variam entre 5,69 a 60,4 mg dia⁻¹, para TCAPa, e 3,84 a 34,1 mg dia⁻¹, para TCAR (Gonçalves et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011).

Para ambas as espécies estudadas, apenas o último nível de estresse hídrico (-1000 kPa) promoveu TCAC inferior aos encontrados na literatura, enquanto a TCDC se mostrou inferior a partir do segundo nível (-250 kPa).

A pós 120 dias, o estresse hídrico gradual implicou no crescimento das plantas de ambas as espécies, diminuindo a disponibilidade dos nutrientes às plantas e, conseqüentemente, a resposta à adubação. Neste tratamento, houve maior crescimento radicular do guapuruvu quando submetido ao nível 0 de NPK. Este maior crescimento provavelmente está relacionado a uma estratégia de sobrevivência da espécie, procurando aumentar a interceptação de nutrientes com o aumento das rizosfera.

Por outro lado, em situações de constante disponibilidade de água as plantas apresentaram maiores taxas de crescimento, quando comparadas às cultivadas com restrição hídrica, até mesmo sem aporte de nutrientes. Neste caso, melhores resultados foram observados com a aplicação das doses de NPK referentes ao nível 3.

Teor e conteúdo de nutrientes

Teores mais altos de nutrientes conjugados a maiores taxas de produção de biomassa proporcionaram ao guapuruvu maior capacidade de acúmulo de nutrientes na parte aérea e nas raízes. Este maior acúmulo na biomassa vegetal é um fator importante na preservação dos nutrientes, diminuindo a perda destes por lixiviação ou adsorção específica (Barbosa & Faria, 2006).

Ambas as espécies estudadas apresentaram maiores acúmulo de N e K. Altos teores de N e K também foram encontrados por Barbosa & Faria (2006) em estudo sobre a composição química da serrapilheira formada pela *Mimosa bimucronata* em fragmento da Mata Atlântica.

Dentre os macronutrientes, o estoque de N e K na biomassa vegetal é essencial para a manutenção da fertilidade do substrato presente na bacia de rejeito, visto que estes podem ser perdidos por lixiviação em épocas de maior percolação de água no perfil do substrato (Ermani et al., 2007; Cantarella, 2007).

O acúmulo de nutrientes apresentado pelas duas espécies estudadas indica que, para um mesmo volume de serrapilheira, o guapuruvu forneceria ao substrato

maiores quantidades de P e K, enquanto maior aporte de N seria fornecido pela cássia rosa.

Para o guapuruvu, a responsividade da produção de biomassa à adubação mostrou ter grande influência no acúmulo de nutrientes. O acúmulo de N, P e K das plantas submetidas ao estresse hídrico responderam à adubação de forma semelhante à produção de biomassa, não havendo resposta para a parte aérea e decaindo com o aumento das doses de NPK nas raízes.

Assim como no guapuruvu, o acúmulo de nutrientes na cássia rosa dos tratamentos com e sem estresse hídrico sofreu forte interferência da produção de biomassa. Embora tenham sido observadas respostas dos teores de N, P e K à adubação, no tratamento com estresse hídrico, não houve variação no acúmulo destes nutrientes, de forma semelhante ao comportamento apresentado pela taxa de produção de biomassa.

Portanto, assim como na produção de biomassa, melhores resultados quanto ao acúmulo de nutrientes em ambas as espécies foram obtidos com a aplicação das doses de NPK referentes ao nível 3, quando não há restrições hídricas. Na presença do estresse hídrico a adubação não surtiu efeito, exceto para as raízes do guapuruvu onde o maior acúmulo de N e K foi apresentado pelas plantas sem adubação, resultado do maior crescimento radicular abordado anteriormente.

Conclusões

Maiores TCAC^m, TCDC^m, TCApa e TCAR em ambas as espécies foram obtidos com a aplicação de 300; 400 e 300 mg dm⁻³ de N, P e K.

Em situações de déficit hídrico, a adubação não surtiu efeito, exceto para as raízes do guapuruvu, diminuindo a produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes.

A cássia rosa mostrou maior tolerância ao estresse hídrico, apresentando maiores TCAC e TCDC no primeiro nível de estresse hídrico (-125 kPa), enquanto o guapuruvu apresentou queda nas taxas de crescimento do caule para o mesmo nível de estresse hídrico.

Embora mais sensível ao estresse hídrico, o rápido crescimento inicial do guapuruvu fez com que esta espécie apresentasse maiores TCAC^m, TCDC^m, TCApa e TCAR, independentemente da disponibilidade hídrica.

Literatura citada

- ARAÚJO FILHO, J. A. de. Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. Revista Brasileira de Agroecologia, v.2, n.2, p.1592-1595, 2007.
- ASSIS, I. R.; DIAS, L. E.; ABRAHÃO, W. A. P.; RIBEIRO JUNIOR, E. S.; MELLO J. W. V. Cover layers to the growth of trees and shrubs over a sulfide spoil from gold mining. Revista Árvore. Viçosa, v.35, n.4, p.941-947, 2011.
- BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. Rodriguésia. v.57, n.3, p.461-476. 2006.
- BIANCHETTI, A.; RAMOS, A. Quebra de dormência de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake). Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, n. 3, p. 69-76, 1981.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p.375-470, 2007.
- CARVALHO, P. E. R. Guapuruvu. Circular Técnica 104. Colombo: Embrapa/CNPQ, 2005.
- CARVALHO, P. E. R. Cássia-Rósea. Circular Técnica 117. Colombo: Embrapa/CNPQ, 2006.
- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. Tree Physiology. Oxford, v.31, p.139-149, 2011.
- CAPELANES, T. M. C. Tecnologia de sementes florestais na Companhia Energética de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS, 2., 1989, Atibaia. Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1991. p. 49-57.
- COELHO, R. R. P.; SILVA, M. T. C.; BRUNO, R. L. A.; SANTANA, J. A. S. Influência dos substratos na formação de mudas de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake). Revista Ciência Agronômica. v.37, n.2, p.149-152, 2006.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p.955-990, 2007.
- DIAS, L. E.; MELO, R. F.; MELLO, J. W. V.; OLIVEIRA, J. A.; DANIELS, W. L. Growth of seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), wand riverhemp (*Sesbania virgata* (Cav.) Pers.), and lead tree (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) in an arsenic-contaminated soil. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v.34, p.975-983, 2010.
- DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, V.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. Engenharia Rural. Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.
- ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p.551-594, 2007.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento das mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. Sci. For., Piracicaba, v.38, n.88, p.599-609, 2010.

- HOLANDA, F. S. R.; GOMES, L. G. N.; ROCHA, I. P.; SANTOS, T. T.; ARAUJO FILHO, R. N.; VIEIRA, T. R. S.; MESQUITA, J. B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. *Ci. Fl.*, v. 20, n. 1, jan.-mar., 2010.
- HUNT, R. *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners*. London: UnwinHyman, 1990. 112p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira*. 6. ed. Belo Horizonte: [s. n.], 2011. 291p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira*. 7. ed. Belo Horizonte: [s. n.], 2012. 67p.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods*. 2ª edição. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 1986. p. 635-662.
- KNAPIK, J. G.; ALMEIDA, L. S.; FERRARI, M. P.; OLIVEIRA, E. B.; NOGUEIRA, A. C. Crescimento inicial de *Mimosa scabrella* Benth., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Allophylus edulis* (St. Hil.) Radl. Sob diferentes regimes de adubação. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.51, p.33-44. 2005.
- NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M. de; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.8, n.14, 2012. 2121p.
- QUARESMA, L. F. Perfil da mineração de ferro. Relatório técnico In: BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. *Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral*. 2009.
- SABONARO, D. Z.; GALBIATTI, J. A. Seedling growth of *Schizolobiumparahyba* on different substrates and irrigation levels. *Rodriguésia*. v.62, n.3, p.467-475. 2011.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56 p.
- SIX, J.; CONANT, R .T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*. v.241, p.155–176, 2002.
- TOPP, G. C. & ZEBCHUCK, W. The determination of soil water desorption curves for soil cores. *Canadian Journal Soil Science*.v.59, p.19-26, 1979.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Societyof America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

Capítulo 3

Crescimento de mudas de maricá (*Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze) e de fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) cultivados em amostras de rejeito de beneficiamento de minério de ferro submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento das leguminosas arbóreas maricá (*Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze) e fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) cultivadas em vasos com substrato proveniente de bacia de rejeito de minério de ferro e adubadas com 0 (controle); 20; 40 e 80 t ha⁻¹ de lodo de estação de tratamento de esgoto (lodo de ETE). O crescimento das espécies foi avaliado por meio das taxas de crescimento da altura do caule (TCAC) e do diâmetro do caule (TCDC), avaliados em intervalos de 30 dias durante 120 dias, e das taxas de crescimento absoluto da parte aérea (TCApa) e das raízes (TCAr) após 120 dias do semeio. Foi ainda avaliado o incremento de carbono orgânico total (COT) e substâncias húmicas no substrato nas camadas de 0 a 2,5 cm e de 2,5 a 5 cm de profundidade e alterações na CTC e nos atributos físicos do substrato, como densidade, porosidade e retenção de água. O fedegoso apresentou maiores TCDC, TCApa e TCAr, enquanto o maricá foi superior na TCAC. As duas espécies incrementaram ao substrato teores semelhantes de carbono orgânico total nas duas profundidades. O cultivo do fedegoso promoveu ainda aumento da porosidade total e da microporosidade. A adubação com 80 t ha⁻¹ lodo de ETE mostrou-se ainda insuficiente, no entanto promoveu melhores resultados, comparados aos das demais doses testadas. Apenas o incremento de COT nas camadas de 2,5 a 5 cm de profundidade não apresentou resposta à adubação.

Abstract

This study aimed to evaluate the growth of leguminous tree maricá (*Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze) and fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) grown in pots with substrate from the tailings basin of iron ore and fertilized with 0 (control); 20; 40 and 80 t ha⁻¹ of sludge from sewage treatment plants. The growth of the species was assessed by growth rates of stem height (TCAC) and stem diameter (TCDC), evaluated at 30-day intervals for 120 days, and absolute growth rate of shoot (TCApa) and roots (TCAr) 120 days after sowing. It was also reported an increase of total organic carbon (COT) and humic substances on the substrate in layers 0 and 2,5 and 2,5 cm to 5 cm in depth and changes in the CTC and the physical attributes of the substrate, such as density, porosity and water retention. The fedegoso showed higher TCDC, TCApa and TCAr, while maricá was higher in the TCAC. The two species have increased to the substrate similar levels of total organic carbon in two depths. The cultivation of coffee senna also promoted increased total porosity and microporosity. The fertilization with 80 t ha⁻¹ of sludge proved to be still insufficient, however promoting better results, compared to the other doses tested. Only the increase of COT in layers from 2.5 to 5 cm depth did not respond to fertilization.

Introdução

Devido ao destaque do Brasil entre os maiores produtores de minério de ferro do mundo, a exploração deste minério tem um importante papel na economia do país, sendo relevante para o aumento do índice de desenvolvimento humano (IDH) e do produto interno bruto (PIB) (Quaresma, 2009).

Contrapondo o importante papel econômico, a mineração de ferro a céu aberto ocasiona alterações drásticas nas áreas mineradas, formando ambientes de difícil recuperação, incluindo-se as bacias para acúmulo de rejeitos oriundos do beneficiamento do minério. Os substratos contidos nestas áreas apresentam características físicas e químicas que não favorecem o desenvolvimento pleno de espécies vegetais (Dias, 2007), tornando necessários a seleção de espécies mais adaptadas e o uso de técnicas que possibilitem melhor desenvolvimento destas neste tipo de ambiente.

O uso de espécies arbóreas para a recuperação de bacias de rejeito é importante devido à característica destas espécies em promover o aporte de carbono ao substrato via produção de serrapilheira, favorecendo o desenvolvimento da fauna do substrato e promovendo uma ciclagem de nutrientes. A adição de carbono orgânico ao substrato também é importante para a melhoria das características físicas deste, como a melhora da sua estruturação, aumento da porosidade e da retenção de água (Bezerra et al., 2004; Macedo et al., 2008).

Dentre as famílias botânicas de espécies arbóreas, a utilização de leguminosas é promissora, uma vez que grande número de espécies desta família apresenta rápido crescimento e boa adaptabilidade a diversos tipos de ambientes (Franco et al., 2003; Chaer et al., 2011; Nogueira, 2012).

Visando diminuir a utilização de espécies exóticas busca-se uma recuperação restringida ao uso de espécies nativas, porém o uso destas espécies na recuperação de bacias de rejeito é limitado devido aos ainda escassos estudos sobre o comportamento destas quando cultivadas neste ambiente específico.

O maricá é uma espécie de leguminosa pioneira muito agressiva, que pode chegar a até 15 m de altura, apresentando troncos ramificados ou multitruncos. Tem uma ampla distribuição geográfica, ocorrendo em diversos países da América do Sul, como Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil, apresentando ainda boa adaptação nos países em que foi introduzida, como em Cingapura, China, Jamaica, Venezuela e na

região da África Tropical. No Brasil, ocorre naturalmente na Mata Atlântica, na Restinga e até na Caatinga, suportando uma variação de temperatura média anual de 11°C a 28°C. Esta espécie também está adaptada a uma ampla variação altitudinal, ocorrendo em lugares que variam de 2 a 1500 m de altitude (Carvalho, 2004).

O fedegoso é uma leguminosa arbórea pioneira de grande agressividade, que ocorre naturalmente no Brasil em formações secundárias de regiões de altitude. Esta espécie, que apresenta rápido crescimento, é indicada na recuperação de áreas degradadas devido, principalmente, a sua grande adaptabilidade a diversos tipos de solos (Lorenzi, 1992).

A utilização de espécies de rápido crescimento, como o maricá e o fedegoso, é fundamental para a rápida formação de uma cobertura vegetal, ajudando a proteger o substrato quanto a processos erosivos e altas variações de temperatura. Alguns estudos indicam que este processo pode ser acelerado por meio de aporte de resíduos orgânicos sobre superfícies expostas pela mineração (Bezerra et al., 2006; Adani et al., 2007; Corrêa et al., 2010) e o lodo de estação de tratamento de esgoto (lodo de ETE) já tem sido utilizado como condicionador físico e fertilizante em situações semelhantes (Brofas et al., 2000).

Além dos benefícios da utilização de lodo de ETE como fertilizante e condicionante físico do substrato, seu uso no reflorestamento é uma alternativa ambientalmente correta, visto que há a possibilidade de ocorrência de danos à saúde humana com a sua utilização como fertilizante na agricultura.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento de mudas das espécies de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica cultivadas em rejeito de beneficiamento de minério de ferro e adubadas com doses de lodo de tratamento de esgoto, assim como avaliar o incremento de carbono orgânico ao substrato e o efeito dos tratamentos na melhoria das características físicas do substrato.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando amostras (0-20 cm) de rejeito de beneficiamento de minério de ferro depositado na barragem de

rejeitos Forquilha III na Unidade Fábrica da empresa VALE S.A., município de Ouro Preto, MG.

Caracterização química e física do rejeito de beneficiamento de minério de ferro

O material coletado foi seco ao ar, homogeneizado, destorroado e passado em peneira com abertura de malha de 4,0 mm. Após a homogeneização, foram retiradas três amostras para a caracterização química (Tabela 1), que foram destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 2,0 mm.

Tabela 1. Caracterização química do substrato da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	— mg dm ⁻³ —		— cmol _c dm ⁻³ —						— % —		
7,3	8,3	19,2	0,79	0,02	0	0,3	0,85	0,85	1,13	76,0	0,0

MO	P-rem	S	Zn	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹					mg dm ⁻³				
0,16	49,4	17,8	1,51	52,8	68,7	0,99	0,8	1,0	0,1	0,1

pH em água - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Matéria Orgânica (MO) = Carbono Orgânico x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente; Teores totais de Cr - Ni - Cd - Pb - Digestão ácida - Ácidos nítrico e fluorídrico.

Foi também determinado o teor de carbono orgânico pelo método de oxidação via úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988) e das substâncias húmicas (fração humina (FH), ácido húmico (FAH) e ácido fúlvico (FAF) do COT) de acordo com Mendonça & Matos (2005) (Tabela 2).

Tabela 2. Fracionamento do carbono orgânico total do substrato proveniente da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

Humina	Ácido Húmico	Ácido Fúlvico	COT
dag kg ⁻¹			
0,051	0,016	0,004	0,076
(67,1 %)	(21,05 %)	(5,26 %)	

A caracterização física (Tabela 3) consistiu na determinação da densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011); análise granulométrica (EMBRAPA, 1997, adaptado por Ruiz, 2005), equivalente de umidade (Fernandes & Sykes, 1968) e densidade do solo (EMBRAPA, 2011).

Tabela 3. Caracterização física do substrato proveniente da bacia de rejeito de beneficiamento de minério de ferro

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Pma	Pmi
27	33	35	5	3,89	1,90	0,44	0,09	0,35

Dp = densidade de partículas; Ds = densidade do substrato; Pt = porosidade total; Pma = macroporosidade; Pmi = microporosidade.

A partir de amostras não deformadas coletadas com auxílio de anéis de 5 cm de altura e de amostras deformadas coletadas de 0 a 5 cm de profundidade determinou-se a curva característica de retenção de água (figura 1) por meio da determinação da umidade volumétrica (θ) em equilíbrio com os potenciais: -0,004; -0,006; -0,008 e -0,01 MPa, aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuck, 1979), e -0,05; -0,1; -0,2; -0,5; -1,0 e -1,5 MPa, aplicados em placas porosas dispostas em câmeras de pressão (Klute, 1986).

A curva foi ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980) e os parâmetros de ajuste foram obtidos por meio do software SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

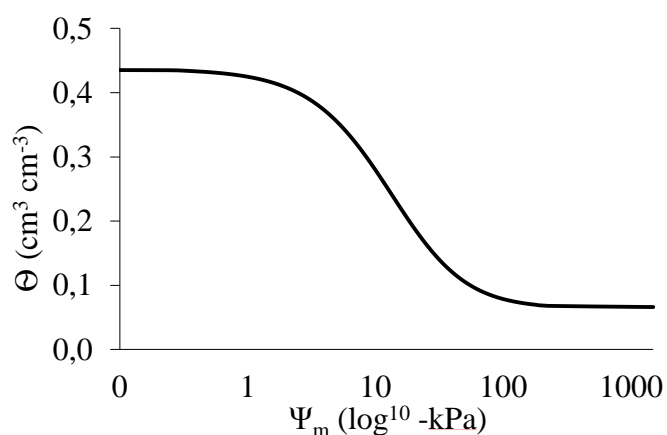


Figura 1: Curva característica de retenção de água do rejeito de beneficiamento de minério de ferro.

Procedimento experimental

O experimento foi montado segundo esquema fatorial 2 x 4 (duas leguminosas e quatro doses de lodo de estação de tratamento de esgoto), em um delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais compreenderam vasos plásticos de 3 dm³, contendo 2,0 kg de rejeito seco e três plantas.

Adubação

A adubação orgânica consistiu no uso de lodo de ETE proveniente da estação de tratamento da Unidade Fábrica da VALE. O lodo de ETE foi seco ao ar ($U = 0,13 \text{ g g}^{-1}$), destorroado e caracterizado quimicamente, por meio da determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, Fe e Mn (Tabela 4), além do teor de carbono orgânico total (COT) e das substâncias húmicas (fração humina (FH), ácido húmico (FAH) e ácido fúlvico (FAF) do COT) (Tabela 5), de acordo com a metodologia especificada na resolução nº 375 do CONAMA (BRASIL, 2006).

Tabela 4. Teores totais dos nutrientes e metais pesados do lodo de ETE

N	P	K	Ca	Mg	S	Zn
dag kg ⁻¹						
2,42	0,12	0,01	0,13	0,03	0,14	0,02
Cu	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	Ni
dag kg ⁻¹						
0,009	1,02	0,003	0,001	0,0	0,001	0,001

Tabela 5. Fracionamento do COT e relação C/N do lodo de ETE

Humina	Ácido Húmico	Ácido Fúlvico	COT	C/N
dag kg ⁻¹				
19,78	0,58	0,19	24,64	10,17
(80,27 %)	(2,35 %)	(0,77 %)		

COT = carbono orgânico total; C/N = relação carbono : nitrogênio

O lodo de ETE foi incorporado no substrato de cada unidade experimental cinco dias antes do plantio, em quatro níveis: 0 (controle); 20; 40 e 80 t ha⁻¹.

Plantio

As espécies de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas foram o maricá (*Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze) e o fedegoso (*Senna macranthera* (Collard) Irwin et. Barn) cujas sementes foram compradas da empresa Arbocenter[®]. Apenas as sementes do fedegoso receberam tratamento de quebra de dormência, permanecendo imersas em ácido sulfúrico por 20 minutos (Pozitano & Rocha, 2011). Para ambas as espécies, o semeio foi realizado diretamente no rejeito, utilizando-se seis sementes por vaso. Em cada vaso, foram mantidas três plântulas que apresentaram emergência mais rápida, enquanto as demais foram desbastadas logo após emergirem. Durante o período experimental o substrato contido nos vasos permaneceu com a umidade referente ao potencial métrico de -50 kPa, determinada por meio da curva de retenção de água (Figura 1).

Avaliações

Foram avaliadas as taxas de crescimento da altura do caule (TCAC) e do diâmetro caulinar (TCDC), como descrito nas equações 1 e 1 (Hunt,1990).

$$TCAC = \frac{(A_2 - A_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Onde: TCAC: Taxa de crescimento absoluto da altura do caule (mm dia⁻¹);
(A₂ - A₁): Diferença da altura do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁):
Tempo decorrido entre duas observações (dias).

$$TCDC = \frac{(D_2 - D_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Onde: TCDC = Taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule (mm dia⁻¹);
(A₂ - A₁) = Diferença do diâmetro do caule entre duas observações (mm) e (t₂ - t₁)
= Tempo decorrido entre duas observações (dias).

As TCAC e TCDC foram avaliadas em intervalos de 30 dias, gerando as TCAC¹, TCAC², TCAC³ e TCAC⁴, assim como as TCDC¹, TCDC², TCDC³ e TCDC⁴ para os meses 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Após os 120 dias do experimento, foram calculadas ainda as TCAC e TCDC para o período total do experimento (TCAC^m e TCDC^m).

Após 120 dias do semeio as plantas foram cortadas rente ao rejeito e determinadas a produção de biomassa seca da parte aérea (TCA_{pa}) e (TCA_r) raiz (equação 3), de acordo com Hunt (1990).

$$TCA = \frac{(BS_2 - BS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Onde: TCA: Taxa de crescimento absoluto (mg dia⁻¹); (BS₂ - BS₁): Diferença da biomassa seca de duas observações (mg) e (t₂ - t₁): Tempo decorrido entre duas observações (dias).

A partir de amostras não deformadas coletadas em cada vaso com auxílio de anéis de 5 cm de altura e diâmetro e de amostras deformadas compostas de cada tratamento, ao término do período experimental, determinou-se as curvas características de retenção de água por meio da determinação da umidade volumétrica (θ) em equilíbrio com os potenciais: -0,004; -0,006; -0,008 e -0,01 MPa, aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuck, 1979), e -0,05; -0,1; -0,2; -0,5; -1,0 e -1,5 MPa, aplicados em placas porosas dispostas em câmeras de pressão (Klute, 1986).

As curvas foram ajustadas pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980) e os parâmetros de ajuste foram obtidos por meio do software SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

Por meio das amostras não deformadas coletadas em cada vaso, foram determinadas as porosidades totais, macro e microporosidades do substrato de cada tratamento (EMBRAPA, 2011).

A partir de amostras deformadas coletadas em cada vaso, nas profundidades de 0 a 2,5 cm e de 2,5 a 5 cm, foram determinados os teores de teores de COT (Yeomans & Bremner, 1988), FH, FAH e FAF (Mendonça & Matos, 2005). O

incremento de COT ao substrato promovido por cada tratamento foi calculada de acordo com a equação 4.

$$ICOT = COT - (COT^S + COT^L) \quad (4)$$

Onde: ICOT = incremento de carbono orgânico total ao substrato após 120 dias (dag kg^{-1}); COT = carbono orgânico total do substrato após 120 dias (dag kg^{-1}); COT^S = carbono orgânico total do substrato sem tratamento (dag kg^{-1}) e COT^L = carbono orgânico total do lodo de ETE referente à dose aplicada (dag kg^{-1}).

Os dados observados (variáveis dependentes) foram submetidos à análise de variância e seus efeitos, isolados e em interação, foram avaliados por meio do teste F com 5 % de significância. Em caso de significância estatística do valor de F para as interações fez-se o desdobramento, avaliando o efeito dos níveis de adubação dentro de cada espécie. A avaliação das espécies foi realizada pelo teste de Tukey a 5 % de significância. A avaliação da dose de composto foi realizada por meio de análise de regressão, sendo testados os modelos linear, raiz quadrada e quadrático. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar[®].

Resultados

Crescimento das plantas

As duas espécies apresentaram produção de biomassa semelhante, tanto da parte aérea quanto das raízes (Tabela 6). No entanto diferiram quanto à forma de crescimento da parte aérea, onde o maricá teve maior crescimento apical médio e o fedegoso apresentou maior crescimento radial médio do caule (Tabela 7).

Tabela 6. Taxas médias de crescimento absoluto da parte aérea (TC_{Apa}) e das raízes (TC_{Ar}) do maricá e do fedegoso

Espécie	TC _{Apa}	TC _{Ar}
	mg dia ⁻¹	
Maricá	3,5a	1,9a
CV (%)	(70,9)	(77,9)
Fedegoso	4,2a	2,4a
CV (%)	(63,8)	(57,7)

Valores seguidos por letras iguais, na linha, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

Observando as TCAC em cada mês, nota-se que o maricá apresentou maior crescimento inicial, superando o fedegoso nos três primeiros meses. Por outro lado, o fedegoso apresentou maiores TCDC no primeiro e no quarto mês do experimento (Tabela 6).

Tabela 7. Taxas de crescimento do caule em altura e em diâmetro das duas espécies, referentes a cada mês

Tratamento	TCAC ¹	TCAC ²	TCAC ³	TCAC ⁴	TCAC ^m
	mm dia ⁻¹				
Maricá	2,09a	2,42a	1,29a	0,66a	1,61a
CV (%)	(19,2)	(48,4)	(73,1)	(70,0)	(26,6)
Fedegoso	1,36b	0,52b	0,29b	0,52a	0,67b
CV (%)	(11,1)	(62,2)	(50,8)	(36,5)	(22,3)
	TCDC ¹	TCDC ²	TCDC ³	TCDC ⁴	TCDC ^m
	mm dia ⁻¹				
Sem EH	0,028b	0,018a	0,013a	0,007b	0,016b
CV (%)	(12,3)	(49,8)	(88,7)	(59,9)	(25,2)
Com EH	0,052a	0,020a	0,011a	0,011a	0,023a
CV (%)	(9,1)	(49,5)	(34,8)	(84,4)	(22,3)

Valores seguidos por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

A aplicação de doses crescentes de lodo de ETE promoveu maior crescimento do caule, em diâmetro e altura, assim como maior produção de biomassa em ambas as espécies, no entanto, as respostas à adubação foram de formas distintas. Todas as taxas de crescimento do maricá apresentaram comportamento quadrático (Figura 2A,B), enquanto para o fedegoso as taxas de crescimento aumentaram de maneira linear em função da adubação (Figura 2B,C).

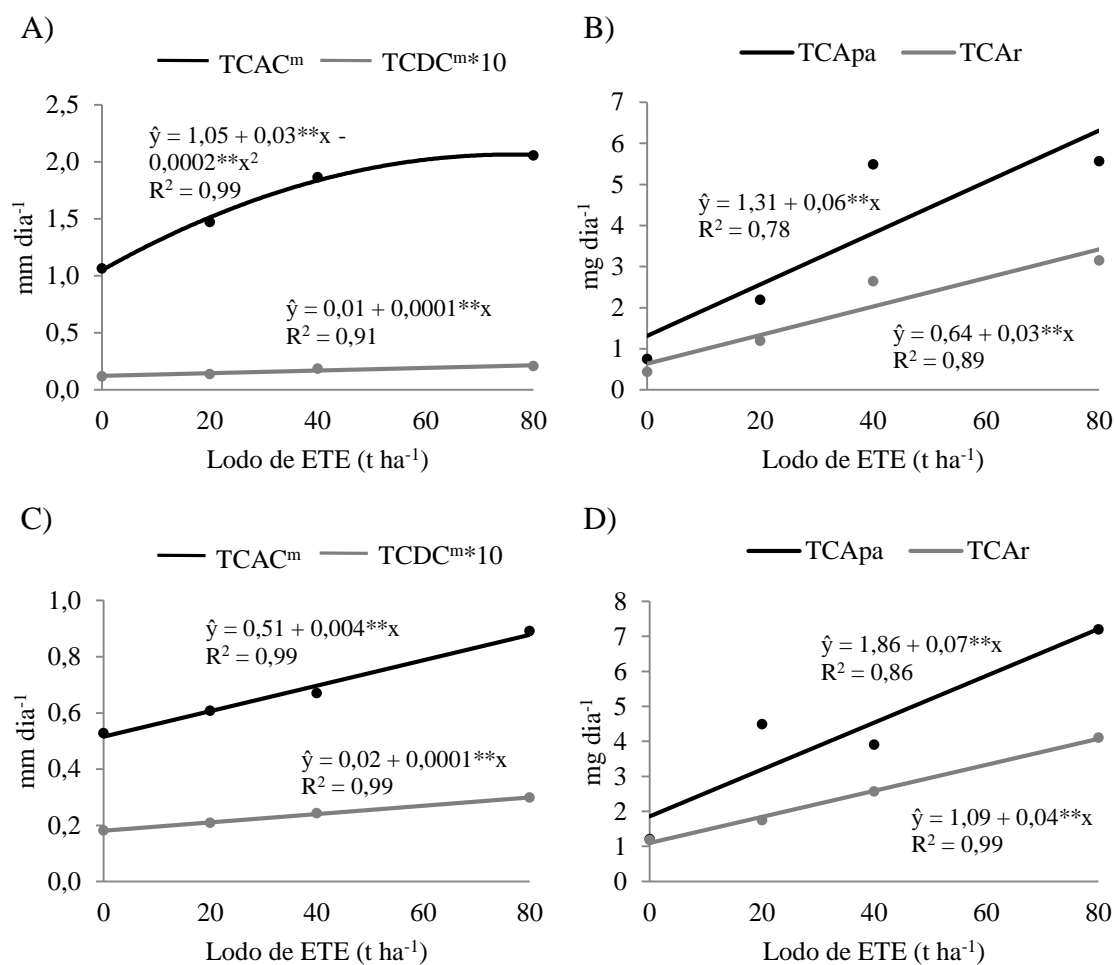


Figura 2. A) taxas de crescimento do caule em altura (TCAC^m) e em diâmetro (TCDC^m) e de B) produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes do maricá; C) taxas de crescimento do caule em altura (TCAC^m) e em diâmetro (TCDC^m) e de D) produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes do fedegoso. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Carbono orgânico e substâncias húmicas

Após os 120 dias de cultivo, os substratos provenientes do cultivo das duas espécies apresentaram teores de COT semelhantes, tanto na camada superficial (0–2,5 cm), quanto na camada subsuperficial (2,5–5 cm) (Tabela 8). Porém, foram detectadas diferenças entre as frações das substâncias húmicas, exceto na FAF da camada de 2,5-5 cm. Na camada superior, o substrato proveniente do cultivo do

maricá apresentou maior FAF e menores FH e FAH, enquanto na camada inferior foram observados maior FAH e menor FH (Tabela 8).

Tabela 8. Fracionamento do COT da camada superior (0-2,5 cm) e da camada inferior (2,5-5 cm) dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso

0 – 2,5 cm								
Espécie	FH (dag kg ⁻¹)	CV (%)	FAH (dag kg ⁻¹)	CV (%)	FAF (dag kg ⁻¹)	CV (%)	COT (dag kg ⁻¹)	CV (%)
Maricá	0,33b (75 %)	64,7	0,014b (3,18 %)	71,9	0,027a (6,14 %)	24,9	0,44a	70,0
Fedegoso	0,38a (76 %)	59,3	0,022a (4,4 %)	63,1	0,017b (3,4 %)	46,1	0,50a	76,5
2,5 – 5 cm								
Espécie	FH (dag kg ⁻¹)	CV (%)	FAH (dag kg ⁻¹)	CV (%)	FAF (dag kg ⁻¹)	CV (%)	COT (dag kg ⁻¹)	CV (%)
Maricá	0,11b (68,75 %)	18,7	0,009a (5,62 %)	47,8	0,023a (14,37 %)	37,3	0,16a	51,8
Fedegoso	0,14a (63,78 %)	19,5	0,013b (6,84 %)	31,9	0,010a (5,26 %)	57,0	0,19a	40,8

FH = fração humina; FAH = fração ácido húmico; FAF = fração ácido fúlvico. Valores seguidos por letras iguais, na coluna, na mesma camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

A aplicação de doses crescentes de lodo de ETE promoveu aumento do teor de COT, da FH e da FAH na camada superior do substrato proveniente do cultivo do maricá (Figura 3A,B,C). Na camada inferior, apenas a FH foi responsiva às doses aplicadas, apresentando maior teor de humina no substrato com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de lodo de ETE (Figura 3B). Por outro lado, aos teores de COT, FH e FAH da camada inferior, assim como a FAF das duas camadas, não variaram em função da adubação (Figura 3A,C,D).

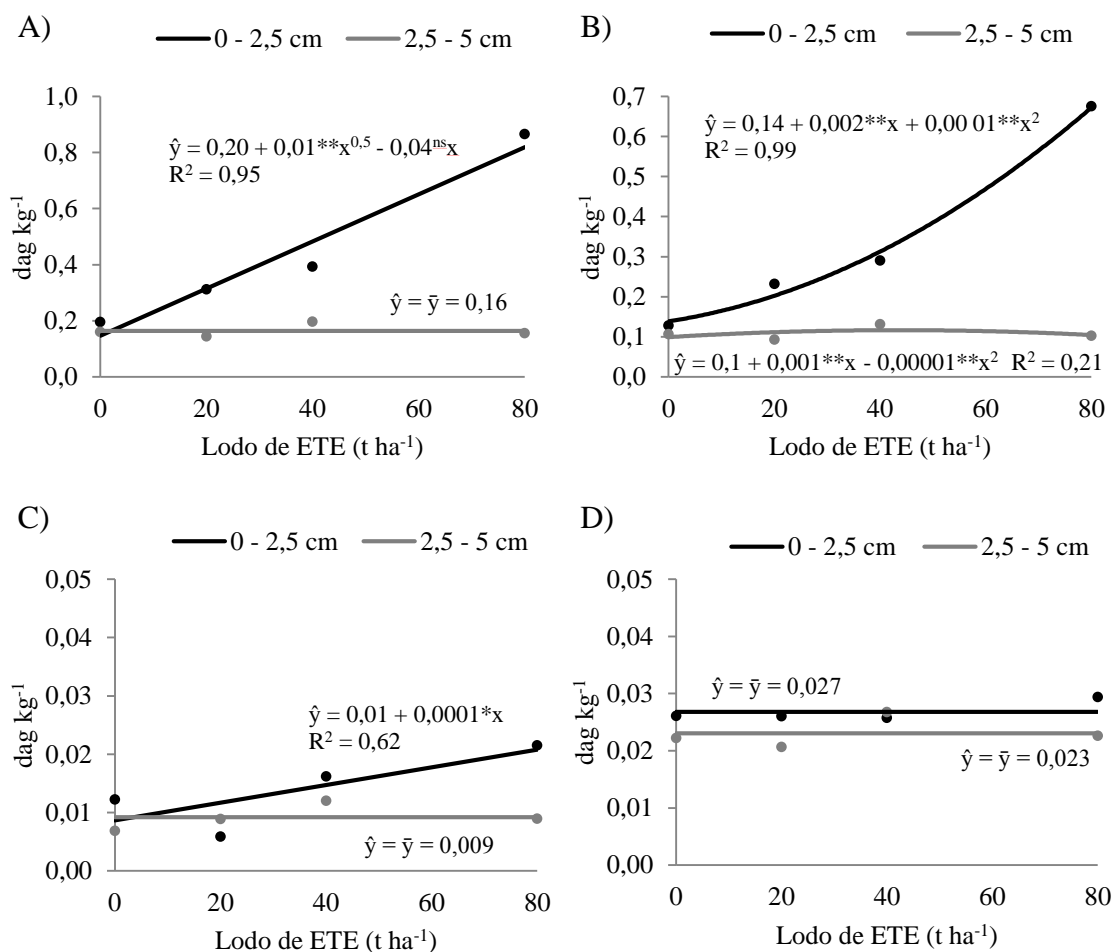


Figura 3. Efeito da adubação com lodo de ETE nos teores de **A)** carbono orgânico total (COT), **B)** humina, **C)** ácido húmico e **D)** ácido fúlvico do substrato proveniente do cultivo do maricá nas camadas de 0 - 2,5 e 2,5 – 5 cm de profundidade. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

No substrato proveniente do cultivo do fedegoso, a aplicação de doses crescentes de lodo de ETE promoveu variações nos teores de COT, humina e ácido húmico semelhantes às ocorridas no substrato proveniente do cultivo do maricá (Figura 4A,B,C). Dentre estes, apenas a FH da camada inferior apresentou comportamento diferente do ocorrido no substrato dos vasos de maricá, neste caso, o teor de humina continuou aumentando até a dose de 80 t ha⁻¹ (Figura 4B). Com o cultivo do fedegoso, a FAH na camada superior do substrato aumentou em função do aumento das doses (Figura 4D), diferindo do comportamento apresentado quando o maricá foi a espécie cultivada (Figura 3D).

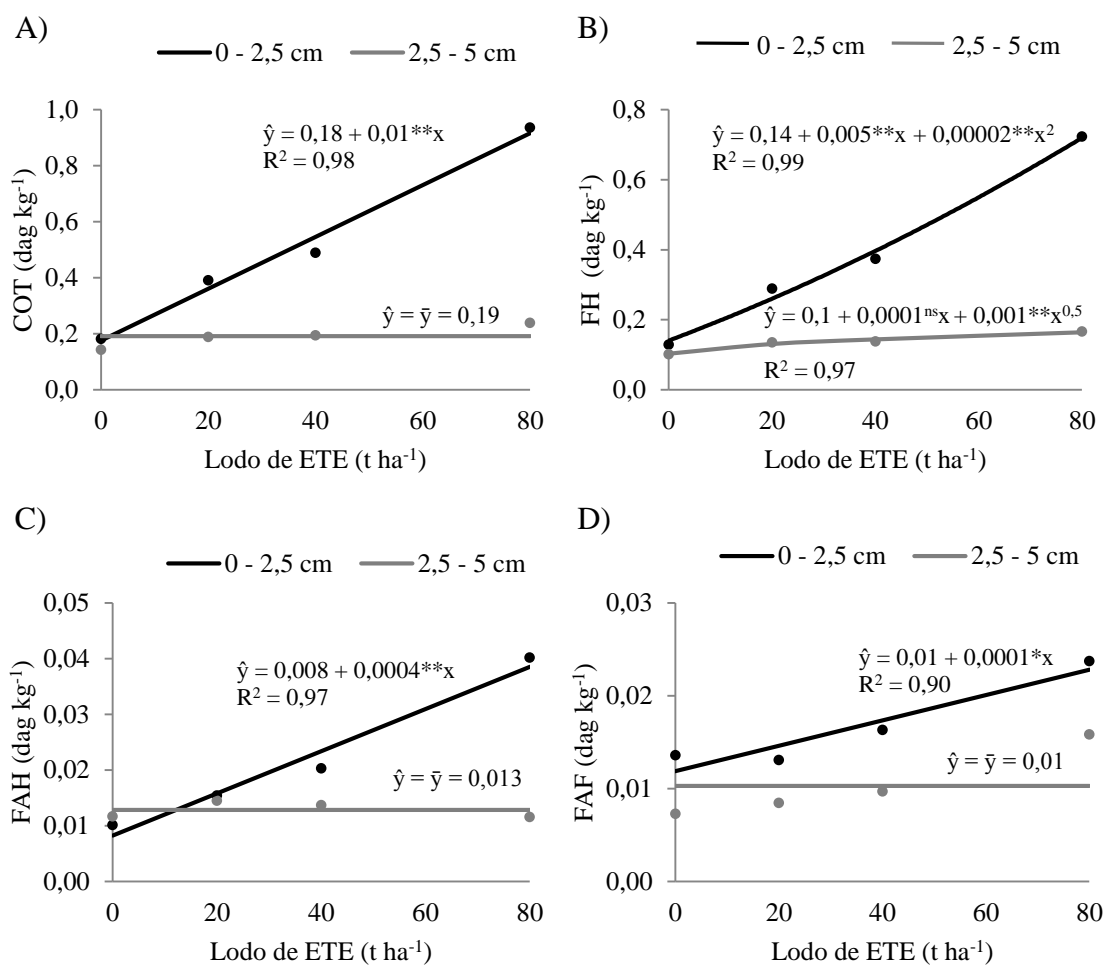


Figura 4. Efeito da adubação com lodo de ETE nos teores de **A)** carbono orgânico total (COT), **B)** humina (FH), **C)** ácido húmico (FAH) e **D)** ácido fúlvico (FAF) do substrato proveniente do cultivo do fedegoso nas camadas de 0 - 2,5 e 2,5 - 5 cm de profundidade. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Ao se excluir o carbono contido no substrato, assim como o acrescentado com a adubação orgânica, foi observado o incremento de COT promovido pelo cultivo das duas espécies de leguminosas arbóreas. Contudo, não foram verificadas diferenças do incremento de COT entre as duas espécies, seja na camada superior ou inferior (Tabela 9).

Tabela 9. Incremento de COT na camada superior (0-2,5 cm) e na camada inferior (2,5-5 cm) dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso

Profundidade (cm)	Maricá	Fedegoso
0-2,5	0,36a	0,42a
CV (%)	(83,4)	(90,4)
2,5-5	0,09a	0,11a
CV (%)	(91,3)	(63,3)

Valores seguidos por letras iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

Considerando os teores observados para as duas profundidades (Tabela 9) e a densidade do substrato sendo $1,9 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 3), o cultivo do maricá adubado com lodo de ETE proporcionou o incremento de $0,42 \text{ dag dm}^{-3}$ de COT, enquanto o cultivo do fedegoso promoveu o incremento de $0,48 \text{ dag dm}^{-3}$ no período de 120 dias.

Notou-se ainda, que o incremento de COT da camada superior aumenta em função do aumento das doses de lodo de ETE, comportamento não apresentado pelo COT da camada inferior (Figura 5A,B).

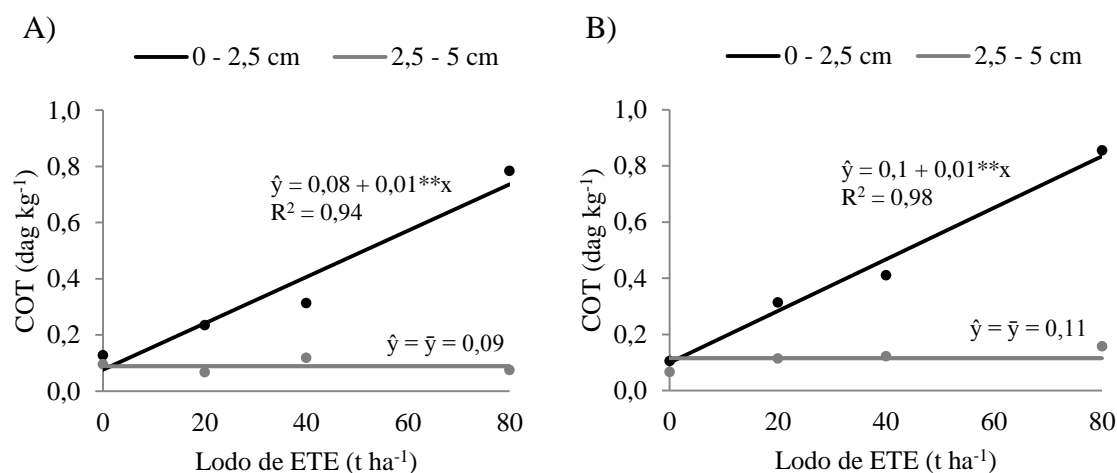


Figura 5. Efeito da adubação com lodo de ETE no incremento de carbono orgânico total (COT) nos substratos provenientes do cultivo do **A)** maricá e do **B)** fedegoso. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Propriedades físicas e CTC do substrato

O cultivo de espécies leguminosas arbóreas adubadas com lodo de ETE promoveu pequena alteração na microporosidade e na porosidade total substrato (Tabela 10). No entanto, a significância encontrada para o efeito de espécie está certamente relacionada aos baixos coeficientes de variação (CV%) apresentados por essas variáveis (Tabela 10), não representando diferenças numéricas que possam ser consideradas na prática.

Tabela 10. Atributos físicos dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso após 120 dias, referente à média dos tratamentos com lodo de ETE

Espécie	Ds	Pt	Pma	Pmi
	g cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³	
Maricá	1,86a	0,47b	0,18a	0,29b
CV (%)	(9,4)	(12,8)	(27,8)	(6,1)
Fedegoso	1,82a	0,49a	0,19a	0,30a
CV (%)	(11,2)	(11,4)	(21,2)	(6,6)

Ds = densidade do substrato; Pt = porosidade total; Pma = macroporosidade; Pmi = microporosidade. Valores seguidos por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

A aplicação de diferentes doses de lodo de ETE promoveu o aumento da porosidade total, macro e microporosidade do substrato. Maiores alterações podem ser vistas na porosidade total e na macroporosidade dos substratos dos tratamentos com o maricá e com o fedegoso, as quais aumentaram com o aumento das doses de lodo (Figura 6A,B). Consequentemente houve a diminuição das densidades dos substratos em função do aumento das doses, chegando a 1,64 g cm⁻³, para o proveniente do cultivo do maricá, e 1,54 g cm⁻³, para o proveniente do cultivo do fedegoso, quando adubados com 80 t ha⁻¹ de lodo de ETE (Figura 6C).

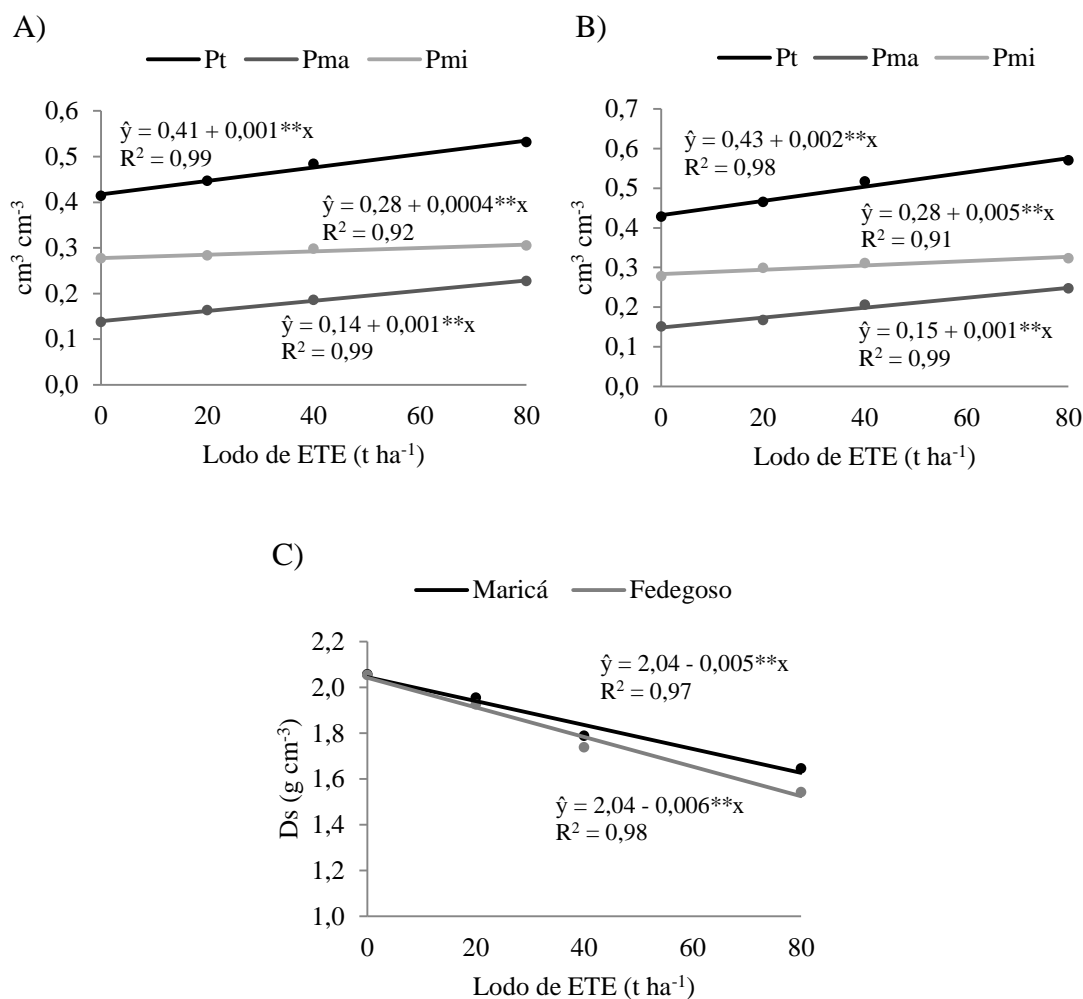


Figura 6. Efeito da adubação com lodo de ETE na porosidade total (Pt), macroporosidade (Pma), microporosidade (Pmi) dos substratos provenientes do cultivo do **A)** maricá e do **B)** fedegoso; Efeito da adubação com lodo de ETE na e na **C)** densidade dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

A adubação orgânica também promoveu aumento da CTC efetiva do substrato, sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos com a aplicação da dose referente a 80 t ha⁻¹, para ambas as espécies (Figura 7).

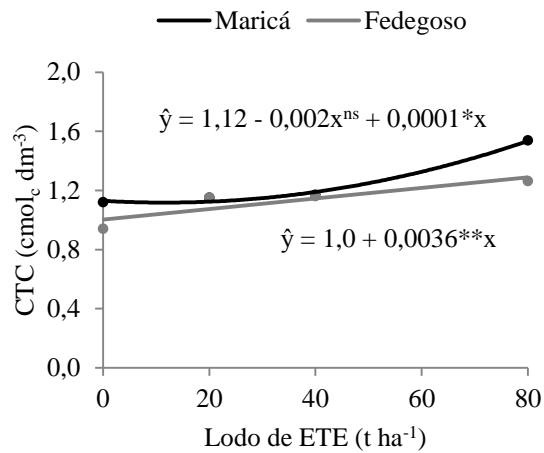


Figura 7. Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso, em função da adubação com lodo de ETE. *, ** Significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

A capacidade de retenção de água do substrato variou com a dose de lodo de ETE aplicada. No substrato proveniente tanto do cultivo do maricá, quanto do cultivo do fedegoso, a adubação orgânica mostrou-se eficiente no aumento da retenção de água até um potencial mátrico de aproximadamente -50 kPa. Neste caso, o uso do lodo de ETE, independente da dose, possibilitou maior retenção de água do que a observada no tratamento sem adubação. Diferenças entre as doses aplicadas são claras apenas em potenciais maiores que -10 kPa, onde o aumento da dose implica na maior retenção de água do substrato. Para as doses de 60 e 80 t ha⁻¹, esta diferença só é evidente em potenciais acima de -6 Kpa (Figura 8A,B).

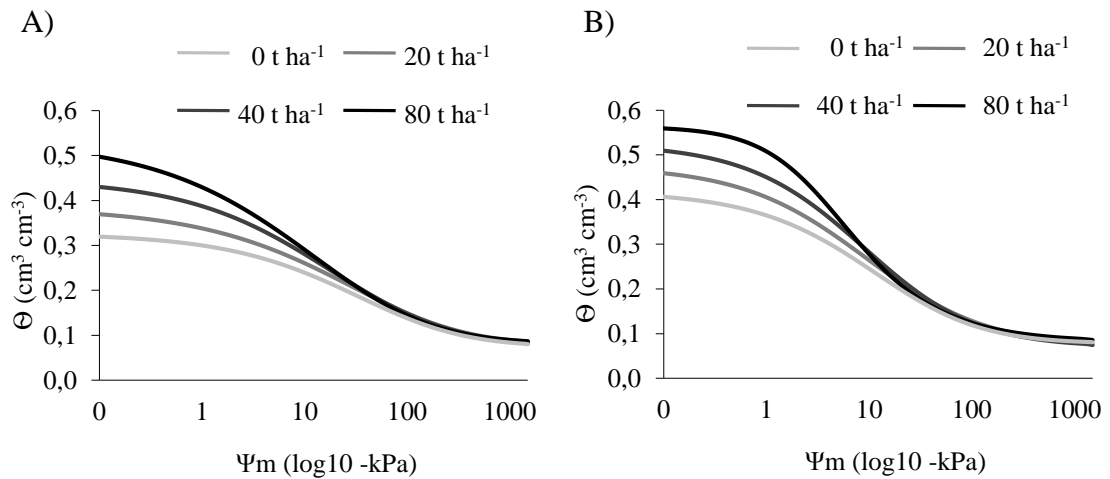


Figura 8. Curvas características de retenção da água nos substratos provenientes do cultivo do **A)** maricá e do **B)** fedegoso tratados com diferentes doses de lodo de ETE.

Discussão

Crescimento das plantas

Com crescimento apical menor, as plantas de fedegoso distribuíram a biomassa da parte aérea em brotos laterais, proporcionando formação mais rápida de cobertura vegetal sobre o rejeito. Esta é uma característica favorável à utilização desta espécie, tendo em vista que a proteção do substrato por uma cobertura vegetal traria benefícios ao processo de facilitação da sucessão vegetal.

Processos como a diminuição da variação da temperatura do substrato, da taxa de evaporação e do escoamento superficial são algumas vantagens da formação de uma cobertura vegetal, o que ajuda a manter a umidade do substrato e diminui as perdas por erosão (Nogueira et al., 2012). A diminuição dos processos erosivos é de suma importância para a recuperação da bacia de rejeito, visto que o substrato nela presente tem altos teores de silte e areia fina, o que aumenta consideravelmente a sua erodibilidade.

A similaridade das taxas de produção de biomassa radicular apresentada pelas espécies sugere que ambas explorariam o substrato com a mesma magnitude, sendo similarmente eficientes quanto ao acúmulo de nutrientes encontrados em camadas mais profundas. Porém deve ser levado em conta o comportamento das raízes, visto que um crescimento radicular mais superficial acumularia em sua biomassa uma

menor quantidade de nutrientes encontrados em maiores profundidades, promovendo uma ciclagem de nutrientes menos eficiente. No entanto o cultivo destas espécies em vasos não permitiu comparar os tipos de crescimento das raízes, limitando os parâmetros de escolha da espécie mais apropriada para a utilização em campo.

A aplicação do lodo de ETE influenciou todas as variáveis de crescimento avaliadas, sendo 80 t ha⁻¹ de lodo a dose que proporcionou melhores resultados, para ambas as espécies, abrindo a possibilidade de serem testadas doses superiores.

Bezerra et al. (2006), estudando o crescimento de espécies arbóreas adubadas com lodo de esgoto, durante 210 dias, não observou diferenças nas TCAC de *Mimosa bimucronata*, adubada com 2,85; 5,70; 11,40 e 22,80 t ha⁻¹ de lodo. No entanto, o valor médio da TCAC observado pelos autores foi de 2,98 mm dia⁻¹, sendo superior à TCAC média observada para o maricá (1,61 mm dia⁻¹) neste trabalho.

De forma geral, as taxas de crescimento observada em ambas as espécies, foram inferiores às taxas de crescimento de espécies leguminosas nativas da Mata Atlântica, comumente encontradas na literatura. Para estas espécies, os valores de TC_{Apa} e TC_{Ar} variam entre 5,69 a 60,4 mg dia⁻¹ e 3,84 a 34,1 mg dia⁻¹, respectivamente (Gonçalves et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011). Ainda sobre espécies leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica, a TCAC e a TCDC variam entre 0,46 a 3,36 mm dia⁻¹ e 0,012 a 0,082 mm dia⁻¹, respectivamente (Knapik et al., 2005; Gonçalves et al., 2010; Holanda et al., 2010; Sabonaro & Galbiatti, 2011).

Carbono orgânico total e substâncias húmicas

De maneira geral, os teores de COT dos substratos provenientes do cultivo do maricá e do fedegoso foram baixos, principalmente na camada inferior (2,5-5 cm). No entanto, a maior proporção da FH torna o COT mais estável, visto que é menos susceptível a perdas por lixiviação (Ribeiro & Mendonça, 2007). Maiores valores da FH foram encontrados nos substratos provenientes do cultivo do fedegoso, tanto na camada superior quanto na camada inferior. Estes resultados mostram que o fedegoso tende a proteger a matéria orgânica do solo de forma mais eficiente que o maricá.

O aumento do COT e das substâncias húmicas em função do aumento das doses de lodo de ETE é mais evidente na camada superior, o que pode ser explicado

pela contribuição da senescência de das folhas no teor de matéria orgânica em superfície.

Flint et al. (1984) e Sims & Oliver (1990) estudando o crescimento de *Senna obtusifolia*, espécie leguminosa arbórea de porte médio, observaram que a partir de 56 dias após a emergência das plantas ocorre aumento da queda das folhas inferiores. Os autores atribuíram este fato à diminuição da passagem de luz provocada pelo fechamento da copa devido à grande área foliar da espécie. Este comportamento explica o maior teor de COT no substrato proveniente do cultivo do fedegoso, embora não haja diferença significativa do teor encontrado no substrato onde o maricá foi cultivado.

Embora se movimente mais facilmente no perfil do substrato, carregado pela água, não houve aumento do ácido fúlvico na camada inferior dos substratos. Isto pode ser explicado pelos baixos valores da FAF, não sendo capaz de contribuir com o aumento desta substância nas camadas inferiores dos substratos de quaisquer tratamentos num curto espaço de tempo.

O cultivo de ambas as espécies promoveu incrementos de COT de forma similar, quanto ao teor médio de COT adicionado ao substrato e quanto ao comportamento apresentado em função das doses crescentes de lodo de ETE. Portanto, a utilização do fedegoso pode ser mais vantajosa devido à maior porcentagem da FH apresentada no fracionamento do COT do substrato.

Os valores de COT acumulados nos tratamentos com o maricá ($0,42 \text{ dag dm}^{-3}$) e com o fedegoso ($0,48 \text{ dag dm}^{-3}$), mostram-se superiores aos valores de acúmulo de COT incrementados ao solo por meio de cultivos de espécies leguminosas disponíveis na literatura. Diversos estudos de campo mostram que o cultivo de leguminosa, como mucuna cinza, feijão de porco, soja preta e caupi, promovem incremento de COT entre $0,02$ e $0,07 \text{ dag dm}^{-3} \text{ ano}^{-1}$ (Bayer et al., 2000; Amado et al., 2001; Bayer et al., 2003).

Bezerra et al. (2006), estudando a recuperação de uma área degradada por meio do cultivo de *Mimosa bimucronata* e *Mimosa caesalpiinifolia* adubadas com doses de lodo de esgoto, obteve um incremento de COT de $34,74 \text{ t ha}^{-1}$ num intervalo de 180 dias, em uma profundidade de 20 cm, por meio da aplicação de $22,8 \text{ t ha}^{-1}$ de lodo de esgoto, o que corresponde a um incremento de $1,7 \text{ dag dm}^{-3}$ de carbono orgânico. Vale ressaltar que neste trabalho, a dose citada foi aplicada de forma

concentrada em covas de 0,09 m³ num espaçamento de 2 x 2 m, o que pode superestimar o resultado obtido.

Propriedades físicas do substrato

Após 120 dias de cultivo, foram observadas diferenças nas propriedades físicas do solo devido ao cultivo das espécies de leguminosas arbóreas. O cultivo do fedegoso promoveu maiores microporosidade e porosidade total em relação ao cultivo do maricá. No entanto, o efeito de espécies encontrado em curto espaço não representa, na prática, uma grande alteração na porosidade do substrato, embora os baixos CVs tenham possibilitado que os tratamentos diferissem estatisticamente entre si (Tabela 10).

De maneira geral, os valores de porosidade apresentados pelo substrato se aproximam da proporção considerada ideal, segundo (Kiehl, 1979). O autor indica, como ideal, uma porosidade total de 0,5 cm³ cm⁻³, sendo 1/3 deste valor representados pelos macroporos, ou seja, uma macroporosidade de 0,17 cm³ cm⁻³.

A aplicação de doses crescentes de lodo de ETE promoveu maiores diferenças na macroporosidade, mostrando que o período experimental foi suficiente para melhorar a estruturação do substrato.

Estudando a influência do cultivo de *Mimosa bimucronata* e *Mimosa caesalpiinifolia*, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto, nas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo, Bezerra et al. (2004) observaram que o aumento das doses de lodo de esgoto melhorou os atributos físicos do solo. Neste estudo, foi observada uma tendência à diminuição da densidade do solo e aumento da macroporosidade na camada de 0-5 cm, por meio da aplicação de 22 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

O efeito do lodo de esgoto no aumento da porosidade e na diminuição da densidade do solo na camada de 0-5 cm foi constatado por diversos autores, No entanto, as doses de lodo de esgoto necessárias para promover estas modificações variam entre 50 e 120 t ha⁻¹ (Jorge et al. (1991); Wisniewski (1996); Melo & Marques (2000); Melo et al. (2004); Campos & Alves (2008).

No presente estudo, o uso de diferentes doses de lodo de ETE melhorou a capacidade de retenção de água em valores mais elevados de potenciais mátricos, devido à maior formação de macroporos. Houve aumento na retenção de água entre -

10 e -50 kPa, mostrando melhorar a estrutura do substrato. Além de promover maior acúmulo de água, maiores doses de lodo de ETE elevaram a umidade de saturação, o que indica melhoria na aeração do substrato quando a umidade se encontra próximo à capacidade de campo.

Em situações com potencial mátrico menor que -50 kPa, houve diferenças pequenas entre os tratamentos com doses crescentes de lodo de ETE. Este comportamento pode ser explicado pela pequena variação da CTC com o aumento da adubação, que não foi suficiente para aumentar a interação entre a água e as partículas do solo e, conseqüentemente, a retenção de água em baixos potenciais mátricos.

Bezerra et al. (2004) observaram que o uso do lodo de esgoto diminui a capacidade de retenção de água em potenciais mátricos mais baixos, aumentando, desta forma, a relação entre macro e microporos. Os autores consideram este rearranjo de poros um evento benéfico, pois aumenta a velocidade de infiltração da água no solo, diminuindo o risco de erosão hídrica superficial e encharcamentos.

O cultivo de espécies diferentes também influenciou na retenção de água do substrato. Os formatos das curvas características de retenção de água apresentadas pelo substrato proveniente do cultivo do maricá, independentemente de dose de lodo de ETE aplicada, apresenta uma perda de água mais lenta quando comparado às curvas do substrato onde o fedegoso foi cultivado. O substrato do cultivo do fedegoso maior diferença de umidade entre a capacidade de campo (-10 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500 kPa), aumentando assim, o conteúdo de água disponível às plantas.

Conclusões

Embora o incremento de COT tenha sido semelhante para ambas as espécies, o substrato proveniente do cultivo do fedegoso apresentou maior teor de humina, substância húmica menos solúvel, mais importante para a conservação da matéria orgânica do substrato.

A aplicação de lodo de esgoto melhorou os atributos físicos do substrato, aumentando a aeração e a retenção de água em potenciais matriciais próximos à capacidade de campo.

A CTC efetiva do substrato aumentou em função do aumento da dose de lodo de ETE, no entanto a diferença entre as doses foi pequena.

A adubação com a dose de 80 t ha⁻¹ proporcionou, ao substrato, maior acúmulo de COT e substâncias húmicas, maior porosidade e menor densidade, maiores valores de CTC efetiva e maior conteúdo de água disponível. Para as espécies leguminosas, a mesma dose promoveu maiores TCAC^m, TCDC^m, TCAPa e TCAR. No entanto, o ajuste linear da análise de regressão da maior parte das variáveis indica que melhores resultados podem ser obtidos com doses maiores que 80 t ha⁻¹.

Literatura citada

- ADANI, F.; GENEVINI, P.; RICCA, R.; TAMBONE, F.; MONTONERI, E. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application. *Waste Management*.v.27, p.319-324, 2007.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria na qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.25, p.189-197, 2001.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. F. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *SoilTill Res*. v.15, p.101-109. 2000.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivias para cobertura do solo. *Ciência Rural*. Santa Maria, v.33, n.3, p.469-475, 2003.
- BEZERRA, F. B.; ANDRADE, A. G.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A.; PONTES, J. K. A. S.; ABREU, J. R. S. P. Alterações das propriedades físico-hídricas do solo pelo uso do lodo de esgoto na recuperação de área degradada do entorno do aeroporto internacional do Rio de Janeiro. Comunicado técnico. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2004. 4p.
- BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.41, n.3, p.469-476, 2006.
- BRASIL, CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder executivo, Brasília, 29 ago. 2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>, acesso: 27 mar. 2013.
- BROFAS, G.; MICHOPoulos, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *Journal of Environment Quality*. v.29, p.811-816, 2000.
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.32, p.1389-1397, 2008.
- CARVALHO, P. E. R. Maricá – *Mimosa bimucronata*. Circular Técnica 94. Colombo: Embrapa/CNPF, 2004.

- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*. Oxford, v.31, p.139–149, 2011.
- CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M. M.; SANTOS, P. F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.14 p.538-544, 2010.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.955-990, 2007.
- DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, V.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. *Engenharia Rural*. Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2ª edição. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212p, 1997.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2ª edição revista. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 230p, 2011.
- FLINT, E. P., PATTERSON, D. T., MORTENSEN, D. A., RIECHERS, G. H., BEYERS, J. L. Temperature effects on growth and leaf production in three weed species. *Weed Sci.*, v.32, n.115, p.655-653, 1984.
- FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: *SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*, 2003, Campo Grande. Anais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003. p.1-24.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento das mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. *Sci. For.*, Piracicaba, v.38, n.88, p.599-609, 2010.
- HOLANDA, F. S. R.; GOMES, L. G. N.; ROCHA, I. P.; SANTOS, T. T.; ARAUJO FILHO, R. N.; VIEIRA, T. R. S.; MESQUITA, J. B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. *Ci. Fl.*, v. 20, n. 1, jan.-mar., 2010
- HUNT, R. *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners*. London: Unwin Hyman, 1990. 112p.
- JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.15, p.237-240, 1991.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: Relação solo-água-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods*. 2ª edição. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 1986. p. 635-662.

- KNAPIK, J. G.; ALMEIDA, L. S.; FERRARI, M. P.; OLIVEIRA, E. B.; NOGUEIRA, A. C. Crescimento inicial de *Mimosa scabrella* Benth., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Allophylus edulis* (St. Hil.) Radl. Sob diferentes regimes de adubação. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.51, p.33-44. 2005.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 352p.
- MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* v.255, p.1516-1524, 2008.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 2000. p. 109-141.
- MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F. & MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesq. Agropec. Bras.* v.39, p.67-72, 2004.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos e análises*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M. de; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.8, n.14, 2012.
- POZITANO, M.; ROCHA, S. C. S. Caracterização física e germinação de sementes de *Senna macranthera*. *Revista Brasileira de Sementes*. v. 33, n. 4, p. 777-784, 2011.
- QUARESMA, L. F. Perfil da mineração de ferro. Relatório técnico In: BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. 2009.
- RIBEIRO I.; MENDONÇA, E. S.; *Matéria orgânica nos solos*. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.275-374, 2007.
- RUIZ, H. A. Incremento na exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.29, p.297-300, 2005.
- SABONARO, D. Z.; GALBIATTI, J. A. Seedling growth of *Schizolobium parahyba* on different substrates and irrigation levels. *Rodriguésia*. v.62, n.3, p.467-475. 2011.
- SIMS, B. D.; OLIVER, L. R. Mutual influences of seedling johnsongrass (*Sorghum halepense*), sicklepod (*Senna obtusifolia*), and soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.*, v.3, p.138-147, 1990.
- TOPP, G. C. & ZEBCHUCK, W. The determination of soil water desorption curves for soil cores. *Canadian Journal Soil Science*.v.59, p.19-26, 1979.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

- WISNIEWSKI, C.; MOTTA NETO, J. A.; PEREIRA A. M.; RADOMSKI, M. I.; SESSEGOLO, G. C. Uso do lodo de esgoto da ETE-Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. Sanare, Curitiba. v.5, n.5, p. 76-85, jan/abr. 1996.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M.A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis.v.19, p.1467-1476, 1988.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de leguminosas arbóreas nativas da Mata Atlântica se mostrou uma boa alternativa para a revegetação de bacias de rejeito de beneficiamento de minério de ferro. As plantas apresentaram crescimento do caule e produção de biomassa satisfatórios quando adubadas adequadamente e quando não há déficit hídrico que reduza o potencial mátrico do substrato para -1000 kPa, exceto para o mulungu, onde o potencial mátrico deve ficar acima de -125 kPa.

Dentre as espécies avaliadas, apenas o Mulungu mostrou-se intolerante a um déficit hídrico que mantenha potencial mátrico do substrato igual ou inferior -250 kPa, sendo esta, portanto, a espécie que requer maiores cuidados para sua utilização em campo.

De maneira geral, a adubação mineral promoveu crescimento mais acelerado das espécies, enquanto a adubação com lodo de tratamento de esgoto (lodo de ETE) promoveu melhorias nas características físicas do substrato e no teor de COT da camada de 0 a 2,5 cm de profundidade. Assim, resultados ainda melhores poderiam ser obtidos por meio da utilização da adubação mineral e orgânica em conjunto.

O crescimento acelerado promovido pela adubação mineral pode ser explicado pela rápida disponibilização dos nutrientes, o que não ocorre com lodo ETE que depende ainda da solubilização do material orgânico, podendo neste processo imobilizar N.

Os resultados observados no maricá é um exemplo da diferença entre a adubação mineral e orgânica. A adubação mineral promoveu para esta espécie maiores taxas de crescimento do caule e de produção de biomassa seca do que a adubação orgânica, embora tenham sido aplicadas maiores quantidades de N via o lodo ETE.