



WILLIAN'S STACANELLI PEDROSO

**EFEITO DA OMISSÃO DE NUTRIENTES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS CULTIVADAS EM REJEITO DE MINERAÇÃO**

**LAVRAS – MG
2021**

WILLIAN'S STACANELLI PEDROSO

**EFEITO DA OMISSÃO DE NUTRIENTES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS CULTIVADAS EM REJEITO DE MINERAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Dr. Kalill José Viana da Páscoa
Orientador

Dra. Thiza Falqueto Altoé
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

WILLIAN'S STACANELLI PEDROSO

**EFEITO DA OMISSÃO DE NUTRIENTES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS CULTIVADAS EM REJEITO DE MINERAÇÃO**

***EFFECT OF NUTRIENTS OMISSION ON THE FOREST SPECIES DEVELOPMENT
CULTIVATED IN MINING TAILINGS***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de novembro de 2021.

Thiza Falqueto Altoé
Rodolfo Soares de Almeida

DCF/UFLA
DCF/UFLA

Dr. Kalill José Viana da Páscoa
Orientador

Dra. Thiza Falqueto Altoé
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Rosangela e José Maria, por terem me apoiado em todo processo. Quero agradecer também a Thiza e ao Kalill por todas as oportunidades, ensinamentos, etc. Quero agradecer aos meus AMIGOS que torceram por mim, mesmo de longe.

Ao Lemaf, por todo apoio estrutural e científico.

Aos órgãos de fomento, em especial à FAPEMIG pela concessão da bolsa de iniciação científica e financiamento do projeto de pesquisa APQ 01733-16 vinculados ao trabalho aqui apresentado.

À Universidade Federal de Lavras por toda sua estrutura disponível e pela oportunidade de aprendizado.

E no mais, a todos aqueles presentes em meu dia a dia, que foram responsáveis diretamente ou indiretamente para a conclusão deste.

Obrigado!

RESUMO

O acidente ambiental ocorrido na barragem de Fundão em Mariana-MG resultou na degradação de grandes áreas de mata ciliar após o deslizamento do rejeito ao longo das margens do rio Gualaxo do Norte, Carmo e rio Doce, numa extensão de aproximadamente 77 km, contudo, a maior parte da onda de rejeito ficou retida no barramento do reservatório da usina hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga) o que minimizou os danos. Além do rejeito, outros materiais provenientes do arraste foram depositados, culminando na formação de um Tecnosolo instável, com profundidade e características químicas e físicas variáveis. A situação se tornou um grande desafio para a ciência da restauração de áreas degradadas. Devido às características do tecnossolo, a viabilidade do desenvolvimento de espécies no local precisa ser avaliada, já que o mesmo pode não apresentar condições para o desenvolvimento vegetal, devido a sua deficiência de fertilidade, além de problemas de ordem física que levariam a uma baixa probabilidade para a germinação de sementes e desenvolvimento radicular das plantas, associada à dificuldade de infiltração de água e baixo nível de matéria orgânica necessária para a vida microbiana. O presente estudo teve como objetivo analisar o crescimento e a sobrevivência em condições de casa de vegetação de mudas de três espécies florestais nativas (*Guazuma umifolia*, *Anadenanthera colubrina* e *Eremanthus erythropappus*) plantadas em um substrato formado por 50% solo e 50% rejeito em um teste de omissão de nutrientes. Os resultados indicam que a ausência de magnésio e de cálcio foram as que mais impactaram negativamente o desenvolvimento de *Anadenanthera colubrina* e *Guazuma umifolia* respectivamente. Para *Eremanthus erythropappus* a alta mortalidade impediu a conclusão sobre os efeitos da omissão dos nutrientes. Assim, a aplicação do teste de omissão de nutrientes permitiu a identificação dos fatores limitantes ao desenvolvimento das espécies florestais sobre o rejeito, indicando quais soluções podem ser aplicadas em relação aos problemas nutricionais.

Palavras-chave: Nutrição de plantas, Desastre ambiental, *Guazuma umifolia*, *Anadenanthera colubrina*, *Eremanthus erythropappus*.

ABSTRACT

The environmental accident that occurred at the Fundão dam in Mariana-MG resulted in the degradation of large areas of riparian forest after the tailings slide along the banks of the Gualaxo do Norte, Carmo and Doce rivers, in an extension of approximately 77 km, however, most of the tailings wave was retained in the dam of the reservoir of the Risoleta Neves hydroelectric plant (Candonga), which minimized the damage. In addition to the tailings, other materials from the drag were deposited, culminating in the formation of an unstable Technosoil, with variable depth and chemical and physical characteristics. The situation has become a major challenge for the science of restoring degraded areas. Due to the characteristics of the technosoil, the feasibility of developing species at the site needs to be evaluated, as it may not present conditions for plant development, due to its fertility deficiency, in addition to physical problems that would lead to a low probability for seed germination and plant root development, associated with the difficulty of water infiltration and low level of organic matter necessary for microbial life. This study aimed to analyze the growth and survival under greenhouse conditions of seedlings of three native forest species (*Guazuma umifolia*, *Anadenanthera colubrina* and *Eremanthus erythropappus*) planted in a substrate formed by 50% soil and 50% tailings in a nutrient omission test. The results indicate that the absence of magnesium and calcium were the ones that most negatively impacted the development of *Anadenanthera colubrina* and *Guazuma umifolia*, respectively. For *Eremanthus erythropappus*, the high mortality prevented the conclusion about the effects of omission of nutrients. Thus, the application of the nutrient omission test allowed the identification of limiting factors to the development of forest species on the tailings, indicating which solutions can be applied in relation to nutritional problems.

Keywords: Plant nutrition, environmental disasters, *Guazuma umifolia*, *Anadenanthera colubrina*, *Eremanthus erythropappus*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL	7
1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 A Bacia do Rio Doce.....	9
2.2 O desastre da barragem de Fundão.....	10
2.3 Características do rejeito de mineração de ferro	12
2.4 Estabelecimento da vegetação sobre o rejeito.....	13
2.5 Nutrição e o desenvolvimento de mudas	14
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
CAPÍTULO II – ARTIGO	19
RESUMO	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 Área de estudo	22
2.2 Experimento em casa de vegetação.....	23
2.3 Variáveis analisadas	26
2.4 Análise estatística	27
3 RESULTADOS	27
3.1 Análise dos resultados de <i>Anadenanthera colubrina</i>	27
3.2 Análise dos resultados de <i>Guazuma umifolia</i>	32
3.3 Análise da mortalidade para <i>Eremanthus erythropapus</i>	36
4 DISCUSSÃO	38
4.1 Fertilidade do solo da região	38
4.2 Função dos nutrientes no desenvolvimento das espécies	39
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem de Fundão, uma mina de ferro no subdistrito de Bento Rodrigues em Mariana-MG, sudeste do Brasil, teve como consequência a liberação de mais de 30 milhões de metros cúbicos de rejeito do processo de beneficiamento do minério ao longo do rio Doce (FUNDAÇÃO RENOVA, 2019), uma das mais importantes bacias hidrográficas da América do Sul. O desastre resultou em 19 mortes, o desalojamento de inúmeras famílias, além de graves danos ambientais e socioeconômicos a toda a bacia.

Parte deste rejeito acabou se depositado nas margens dos cursos d'água dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e rio Doce, numa extensão de aproximadamente 77 km, enquanto a maior parte da onda de rejeito ficou retida no barramento do reservatório da usina hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga), limitando a partir daí os danos a vegetação ciliar. Contudo, a fração diluída ainda percorreu 680 km de corpos hídricos até desaguar no Oceano Atlântico, causando uma enorme mortalidade da biota, comprometendo a pesca, agropecuária, turismo e o abastecimento de água das comunidades ribeirinhas, sendo considerado o maior desastre ambiental do Brasil (MEIRA et al. 2016).

Em relação aos impactos sobre a vegetação, segundo estimativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais –IBAMA, o transbordamento do rejeito para fora da calha do rio devastou, aproximadamente, 374,81 ha de cobertura florestal ciliar (MINAS GERAIS, 2016), depositando nas margens todo material arrastado. Tal fato levou a formação de um “tecnossolo” instável, com profundidade e atributos químicos variáveis, cujo manejo é considerado um desafio para a recuperação dessas áreas degradadas (NOGUEIRA, 2019).

Inicialmente se temia pela existência de metais pesados e outras substâncias tóxicas no rejeito (MIRANDA E MARQUES, 2016), o que acabou não se confirmando, posteriormente, com análises químicas detalhadas do material realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (EMBRAPA, 2015). Segundo esse estudo, o tecnossolo formado não apresentaria condições para o desenvolvimento vegetal, devido a sua deficiência de fertilidade, além de problemas de ordem física que levariam a uma baixa probabilidade para a germinação de sementes e desenvolvimento radicular das plantas, associada à dificuldade de infiltração de água e baixo nível de matéria orgânica necessários para a vida microbiana.

Em relação a fertilidade do solo, a mesma foi altamente comprometida, com valores extremamente baixos para os principais nutrientes como potássio, magnésio e cálcio. O pH,

que mede a acidez do solo, também foi alterado e devido aos altos teores de silte e areia fina, com baixa presença de argila o aumento da compactação do solo seria inevitável.

Dessa forma, os estudos realizados até o momento confirmaram os profundos danos ambientais causados pelo desastre, cujo desafio científico atual em relação a recuperação das áreas degradadas, é buscar tecnologias que permitam reestabelecer as características mínimas necessárias ao solo das margens dos rios, para que ali seja possível o desenvolvimento das matas ciliares, e que as mesmas possam retomar sua função ecológica, ao longo dos anos.

Desde então, uma intensa atividade de reflorestamento, com diversas espécies nativas vem sendo realizada na área atingida, porém existe pouco conhecimento sobre os efeitos que as limitações de fertilidade podem produzir sobre o desenvolvimento dessas plantas. Assim, o objetivo desse trabalho é avaliar em casa de vegetação o efeito da omissão de diversos macro e micronutrientes, sobre o desenvolvimento de espécies florestais, utilizando como substrato para o desenvolvimento dessas mudas uma mistura de solo da região afetada (50%) e rejeito de mineração (50%), buscando identificar possíveis nutrientes chave, criticamente limitantes ao desenvolvimento vegetal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Bacia do Rio Doce

A bacia hidrográfica do rio Doce está situada na região Sudeste do Brasil e se estende pelo estado de Minas Gerais e Espírito Santo, caracterizando uma bacia de domínio federal. Possui aproximadamente 86.715 Km² de extensão, sendo que 86% está situada no estado de Minas Gerais (CBH RIO DOCE, 2018). O rio Doce recebe esse nome a partir da junção dos rios Piranga e do Carmo, entre as cidades de Ponte Nova, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, em Minas Gerais. O curso principal d'água da bacia percorre 875 km desde a nascente que se localiza na Serra da Mantiqueira, no município de Ressaquinha, Minas Gerais até a sua foz no Oceano Atlântico, situado no município de Linhares, Espírito Santo (CUPOLILLO, 2008). Devida a sua vasta extensão e a variação dos tipos de vegetação, a classificação de Koppen da bacia é, predominantemente, Cwa e Cwb, classificada na sua maioria como tropical. A bacia do Rio doce possui grande variação de altitude entre 300 e 2.600 metros, caracterizando o relevo como ondulado, montanhoso e acidentado, o que favorece o acúmulo de água nas porções mais baixas da bacia. A precipitação anual varia de

900 mm a 1.500 mm, com temperaturas médias anuais que variam de 18°C a 24°C (COELHO, 2009). Segundo Coelho (2009), há o predomínio de duas classes de solos na bacia, o Latossolo Vermelho –Amarelo distrófico e o Argissolo Vermelho – Amarelo

. A bacia do rio Doce também se destaca pela ampla biodiversidade da flora, estando 98% de sua área inserida no bioma Mata Atlântica, um dos mais ameaçados e importantes do mundo, e os 2% restantes em área de cerrado. Inseridos na região da bacia estão 228 municípios com uma população de 3,6 milhões de habitantes, aproximadamente (DE CASTRO SENA, 2020).

As atividades econômicas ao longo da bacia são muito diversificadas, com culturas agrícolas anuais e perenes, e também a pecuária. Além disso, possui uma grande relevância na geração de energia, possuindo 10 usinas hidroelétricas em operação e sendo o maior complexo siderúrgico da América Latina (DE ALMEIDA, 2020). A exploração de minério na bacia teve início no final do século XVII o foco na mineração de ouro e outras pedras preciosas. A mineração de ferro começou no início do século XX (DA SILVA, 1995) e se localiza principalmente na região do Vale do Aço, sendo responsável por considerável geração de emprego e renda para a população da bacia.

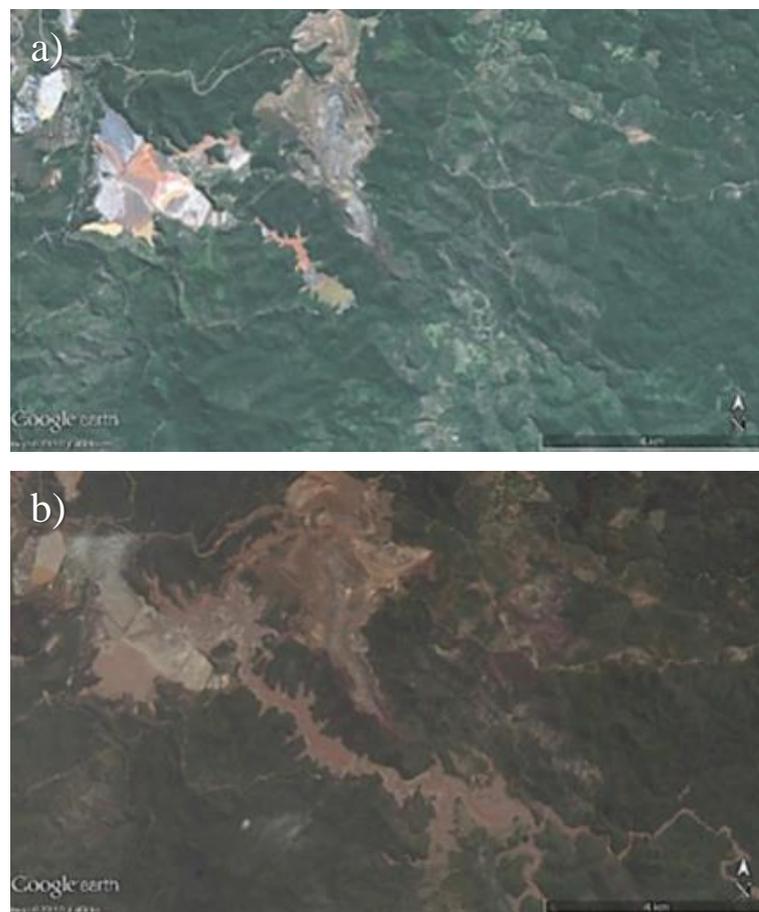
Em 2015, a extração mineral e a manufatura (com participação expressiva da metalurgia) foram responsáveis entre 12% e 27,7% do produto interno bruto dos 102 municípios que compõem a mesorregião do Vale do Rio Doce (NOGUEIRA, 2019). A bacia apresenta uma histórica supressão da cobertura vegetal, inicialmente como fonte de madeiras nobres e, mais tarde, para a produção do carvão vegetal para a fundição, o que fez com que boa parte da vegetação fosse perdida, permanecendo apenas os remanescentes florestais localizados nas áreas de maior declive. A cultura do eucalipto para a produção de celulose, papel e carvão também substituíram boa parte das florestas nativas. Dessa forma, a estrutura de uso e ocupação do solo da bacia é historicamente marcada por impactos antrópicos das mais diversas naturezas.

2.2 O desastre da barragem de Fundão

No dia 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeito de Fundão, liberando um volume aproximado de 32 milhões de metros cúbicos de rejeitos e água, que representava aproximadamente 55% de um total de 55 milhões de metros cúbicos contidos na barragem. Em 2016 esse volume de rejeito liberado foi revisado para 43,8 milhões de metros cúbicos (BOTELHO E MELO, 2020). No decorrer do desastre, o rejeito

fluiu através do curso do córrego Santarém, afetando também o rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce. Além de rejeito e água na lama havia também, solo, vegetação, fragmentos de rocha, madeira, entulho e demais resíduos que foram arrastados ao longo do caminho, formando uma mistura, de rejeitos, que posteriormente foram depositadas ao longo das planícies de inundação, das margens e calhas dos cursos d'água e seus afluentes (Figura 1), apresentando profundidade variável, que vão de poucos centímetros a cerca de dois metros ou mais (BOTELHO E MELO, 2020).

Figura 1 – Complexo das barragens de Fundão (a) antes do acidente e (b) após o acidente.



Fonte: (IZIDIO, 2018)

Até encontrar o mar o rejeito percorreu 663 Km e afetou cerca de 1.469 hectares de vegetação, comprometendo várias formas de vida e matas ciliares próximas ao curso d'água, além de atingir áreas de proteção permanente (APPs) e unidades de conservação (UC) - como o Parque Estadual do Rio Doce; o Parque Estadual Sete Salões; a Floresta Nacional Goytacazes; e o Corredor da Biodiversidade Sete Salões-Aymoré (WANDERLEY, 2016).

No município de Rio Doce/MG parte do rejeito foi contido pela barragem da Usina Hidrelétrica de Candonga, que acabou sendo responsável pelo bloqueio parcial do rejeito, limitando os efeitos sobre a vegetação ciliar aos primeiros 80 Km da área atingida (BOTELHO E MELO, 2020) e atingindo também os distritos de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo, Gesteira e Barra Longa, onde ocorreram a morte de 19 pessoas. Além disso, entre as consequências causadas pelo desastre estão a dizimação da população de peixes, fragmentação e destruição de habitats, contaminação da água com o rejeito, soterramento das lagoas e nascentes próximas ao leito do rio, destruição da vegetação ripária e aquática, perdas de espécies, destruição de pastagens, entre outras (LOPES, 2016).

Um levantamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) mostrou que os 1.430 hectares dos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce atingidos pela lama não são mais adequados para a lavoura ou a pecuária, pois a camada superior do solo formada após a deposição da lama apresenta deficiência de fertilidade do solo além de problemas de ordem física, que levará anos de investimento para ser restaurada (EMBRAPA, 2015). Este rejeito, agregado a todo tipo de materiais que arrastou consigo até ser depositado nas margens dos rios, culminou na formação de um “tecnossolo” instável, com profundidade e atributos químicos variáveis, sobre as áreas degradadas (NOGUEIRA, 2019).

2.3 Características do rejeito de mineração de ferro

Os solos brasileiros são importantes fontes de minerais, sendo considerados importantes reservas no contexto mundial. Na extração desses minérios, dois tipos de rejeitos são gerados, os que ocorrem naturalmente na área como solo e rochas, chamados de “estéreis” e o próprio rejeito da mineração, que é o material proveniente do beneficiamento do minério. Esse rejeito pode estar na forma de partículas secas/fragmentos ou via aquosa, dependendo do tipo de beneficiamento do minério utilizado (SILVA et al, 2006).

No caso da barragem de Fundão, o rejeito do processo de beneficiamento do minério de ferro era composto por minério de ferro, areia e água (NOGUEIRA, 2019). O mesmo apresentava elevados teores de areia fina e silte, representando 90% da fração terra fina (<2 mm). Os teores de argila encontrados eram de apenas 10%, diminuindo significativamente a capacidade de troca catiônica do solo. Quanto a composição mineralógica da fração argila, a mesma é formada basicamente por goetita, caulinita, quartzo, hematita e gibsita, enquanto a fração areia apresenta quartzo e fragmento de concreções ferruginosas (hematita, magnesita e ilmenita). Dados apresentados pela EMBRAPA (2015), sugerem homogeneidade do material,

tanto por sua granulometria (classe textural francoarenosa), como pelo teor dos elementos, cujos resultados registraram a presença de P, K, Ti, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr e Pb, não indicando possível contaminação do solo por metais pesados, já que os valores se encontram dentro das faixas observadas para solos da região em condições naturais.

Em virtude da composição granulométrica, o adensamento das partículas após secagem ao ar é bastante elevado, portanto, sugere a existência de uma barreira física devido à baixa porosidade. Isso restringe a infiltração e o crescimento radicular das plantas, o que pode dificultar a recuperação das áreas onde o rejeito se depositou, logo, a qualidade física do solo é um dos principais fatores limitantes ao manejo do rejeito. A alta concentração de óxidos de ferro também favorece o endurecimento e encrostamento superficial.

A análise química do solo apresentou valores extremamente baixos para os principais nutrientes do solo, sendo a fertilidade dos mesmos altamente comprometida. Os valores para matéria orgânica são preocupantes (resultados mostram valores abaixo de 0,1% de C), o que também compromete a capacidade de troca catiônica do solo, tendo em vista a também baixa concentração de argila (EMBRAPA, 2015). Outra análise preocupante está relacionada ao pH do solo (pH em água e em KCl) que apresentou valores extremamente ácidos, logo, medidas corretivas que insiram matéria orgânica são fundamentais para o processo de recuperação.

Nogueira (2019) comparando um solo natural da região e o “tecnossolo”, formado pela deposição do rejeito às margens do rio Gualaxo do Norte, observou que os mesmos se diferem principalmente em relação ao pH, fósforo remanescente, enxofre, manganês, ferro, sódio e textura. De forma geral, o Tecnosolo apresenta altas concentrações totais de Fe e Mn, pH elevado, textura arenosa, baixa concentração de matéria orgânica e de capacidade de troca de cátions a pH 7, alta concentração de sódio, menor porosidade total e maior densidade de partículas em relação ao solo da região. Sob pH elevado o Tecnosolo apresenta grandes quantidades totais de ferro e manganês, contudo nas formas não biodisponíveis (NOGUEIRA, 2019). Nessa situação os valores encontrados para esses metais estão muito acima dos níveis considerados por Alvarez et al. (1999) como altos em solos (Fe alto > 45 mg/dm³; Mn alto > 12 mg/dm³). Uma eventual degradação da matéria orgânica e a liberação de compostos orgânicos metabólicos pelas raízes com o desenvolvimento da vegetação tende a reduzir o pH do meio, o que pode aumentar a biodisponibilidade de metais e levá-los a atingir níveis tóxicos (QUEIROZ et al., 2018).

2.4 Estabelecimento da vegetação sobre o rejeito

O plano de recuperação das áreas de vegetação nativa impactadas pelo rompimento, estabeleceu a necessidade de 40.000 hectares de APPs em dez anos, sendo 10.000 hectares com plantio direto de mudas e 30.000 por regeneração natural, além da recuperação de 5.000 nascentes, a serem definidas pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce (TTAC, 2016).

Segundo Botelho e Mello (2020) as características químicas do rejeito não têm apresentado, até o momento, evidências de danos às mudas utilizadas na recuperação da área, uma vez que o crescimento inicial tem sido satisfatório. Contudo, com o monitoramento das áreas em restauração poderá se identificar sobre possíveis impactos do rejeito sobre o crescimento das mudas plantadas, bem como sobre o processo da regeneração natural.

Além do monitoramento em campo diversos estudos vêm sendo realizados visando avaliar o desenvolvimento de espécies arbóreas sobre o rejeito em condições controladas. Magalhães (2018) em estudo sobre a influência do rejeito na emergência de sementes de dezesseis espécies florestais constatou que o rejeito apresentou maior influência na velocidade de emergência do que no percentual de plântulas emergidas, cujos efeitos foram positivos para as duas características. Nogueira (2019) em um estudo analisando a sobrevivência e crescimento inicial de cinco espécies florestais sobre o rejeito em condições controladas de umidade, avaliou que todas as espécies estudadas apresentaram desenvolvimento inicial satisfatório sobre o rejeito, sendo que as espécies *Enterolobium contortisiliquum*, *Luehea grandiflora*, *Pterogyne nitens* e *Solanum granuloseprosum* cresceram mais no rejeito do que no solo natural coletado na região.

2.5 Nutrição e o desenvolvimento de mudas

Uma compreensão da demanda adequada de macro e micronutrientes, especialmente durante a fase de produção de mudas é fundamental para garantir a produção de indivíduos saudáveis com potencial para resistir a condições adversas de campo (BESSA et al., 2016). Problemas de deficiência ou excesso são frequentes devido à aplicação de nutrientes sem critérios (RESENDE et al., 2010). Os nutrientes afetam o crescimento das plantas de diferentes formas, já que desempenham funções específicas na planta. Assim, quando as plantas são submetidas a tratamentos de omissão de nutrientes é possível observar sintomas visuais de deficiência quando o nível recebido pela planta está abaixo do considerado adequado. Em geral, os diferentes elementos estão associados a diferentes sintomas de deficiência ou toxicidade, onde os sintomas se manifestam, principalmente se o distúrbio nutricional for grave. Entre esses sintomas estão o crescimento reduzido, amarelecimento e ou

púrpura das folhas, necrose ou crescimento distorcido de partes da planta (FERNÁNDEZ-ESCOBAR et al., 2016). Onde cada nutriente mineral induz sintomas específicos. Assim, os sintomas visuais podem auxiliam na identificação de distúrbios nutricionais. A falta de K, por exemplo, reduz o crescimento e a produtividade (HAFSI et al., 2014), a falta de Mg afeta a atividade de várias enzimas e a estabilização estrutural de tecidos (GUO et al., 2016). Contudo, o diagnóstico visual pode se tornar bastante complicado quando mais de um nutriente é deficiente ou quando a deficiência de um nutriente é induzida pelo excesso de outro. A deficiência de um nutriente ainda pode não afetar necessariamente o mesmo processo metabólico em todas as espécies de plantas o que pode dificultar o diagnóstico. De forma geral, a probabilidade de uma deficiência de micronutrientes é menor do que a de uma deficiência de macronutrientes. Zn (zinco) e B (boro) são os micronutrientes mais comumente deficientes nos solos brasileiros, e a deficiência de Fe pode ocorrer devido ao excesso de calagem ou devido à inibição competitiva por metais como Mn (manganês), Cu (cobre) e Zn (zinco) (MALAVOLTA, 2006). Logo a aplicação do teste de omissão de nutrientes é uma ferramenta que permite a identificação dos fatores limitantes ao desenvolvimento das espécies florestais sobre o rejeito, indicando quais soluções devem ser aplicadas em relação aos problemas nutricionais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, os efeitos negativos causados nas áreas afetadas pelo rejeito exigem um estudo das características físicas e químicas do mesmo, tendo em vista a formação de uma nova condição para o crescimento das espécies típicas da área.

Como boa parte dessas áreas afetadas eram matas ciliares, a recuperação das condições naturais para que a vegetação ciliar cumpra sua função ambiental é de grande importância, mas para garantir esse sucesso da recuperação é necessário identificar as limitações nutricionais do rejeito, de forma a garantir o sucesso da recuperação dessas áreas o longo dos anos.

Assim o teste de omissão de nutrientes tem como objetivo ter uma maior clareza sobre as condições nutricionais do rejeito.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), 1999. p. 30-35.
- BESSA, L. A., MOREIRA, M. A., SILVA, F. G., MOTA, C. S., & VITORINO, L. C. (2016). Growth, nutrient concentration and principal component analysis of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) seedlings grown in nutrient solution. *Australian Journal Crop Science*, 10, 425-432. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.03.p7477>
- BOTELHO, Soraya Alvarenga; DE MELO, Lucas Amaral. Restauração sobre o rejeito após o rompimento da barragem em Mariana (MG). *Restauração Ecológica: Desafio do processo frente à crise ambiental* Coordenação geral: Luiz Mauro Barbosa, p. 113, 2020.
- COELHO, André Luiz Nascentes. *Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada*. **Geografares**, 2009.
- CUPOLILLO, Fulvio; DE ABREU, Magda Luzimar; VIANELLO, Rubens Leite. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. *Revista Geografias*, p. 45-60, 2008.
- DA SILVA, Olintho Pereira. *A mineração em minas gerais: passado, presente e futuro*. Geonomos, 1995.
- DE ALMEIDA, Franciane Carla et al. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. *Nativa*, v. 8, n. 1, p. 81-90, 2020.
- DE CASTRO SENA, Isa Belly Dominguito et al. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas na bacia do rio Doce/MG. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, v. 1, n. 1, 2020.
- EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Solos. **Relatório Técnico. Avaliação dos Impactos Causados ao Solo pelo Rompimento de Barragem de Rejeito de Mineração em Mariana, MG: Apoio ao Plano de Recuperação Agropecuária.**

20p. 2015. Disponível em: < http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/566237/RESPOSTA_PEDIDO_Relatorio%20Tecnico_Avaliacao%20dos%20Impactos_Acidente%20Mariana_Embrapa.pdf> Acesso em: 19 fevereiro 2021.

ESCOBAR-FERNANDEZ, R., GERREIRO, M., BENLLOCH, M., & BENLLOCH-GONZÁLEZ. (2016). Symptoms of nutrient deficiencies in young olive trees and leaf nutrient concentration at which such symptoms appear. *Scientia Horticulture*, 209, 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.002>

FUNDAÇÃO RENOVA. **No caminho da reparação**. Mês-base – março – 2019, 76p, 2019. Disponível em: < <https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2019/05/nocaminhodareparacao2019.pdf>>. Acesso em: 1 fevereiro 2021.

GUO, W., NAZIM, H., LIANG, Z., & YANG, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>

HAFSI, C., DEBEZ, A., & ABDELLY, C. (2014). Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades, 36, 1055-1070. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>

IZIDIO, B.T. Avaliação dos elementos químicos presente nos rejeitos e no solo após o desastre na região de Mariana – MG, utilizando a técnica PXRF. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. f. 12-13.

LOPES, L. M. N. (2016). O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. *Sinapse Múltipla*, 5(1), 1-14.

MAGALHÃES, T. D. Semeadura direta de espécies nativas como alternativa para a restauração florestal do rio Doce. 2018. 33p. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

MALAVOLTA, E. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicações (2nd ed., p. 319). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato.

MEIRA, R. M. S. A., PEIXOTO, A. L., COELHO, M. A. N., PONZO, A. P. L., ESTEVES, V. G. L., SILVA, M. C., CÂMARA, P. E. A. S., & MEIRA-NETO, J. A. A. Brazil's mining code under attack: giant mining companies impose unprecedented risk to biodiversity.

Biodiversity and Conservation, v.25, p.407–409, 2016.

MINAS GERAIS. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. Secretaria de estado de desenvolvimento regional, política urbana e gestão metropolitana. Belo Horizonte, 2016.

MIRANDA, Lucília Souza; MARQUES, Antonio Carlos. Hidden impacts of the Samarco mining waste dam collapse to Brazilian marine fauna-an example from the staurozoans (Cnidaria). **Biota Neotropica**, v. 16, n. 2, 2016.

NOGUEIRA, E. M. Desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas em tecnossolo formado por rejeito de mineração de ferro na Bacia do Rio Doce. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 79 p. 2019.

QUEIROZ, H. M. et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of the Total Environment*, v. 637-638, p. 498-506, out. 2018

RESENDE, C. F. A, FERNANDES, E. P., SILVA, M. F., & LEANDRO, W. M. (2010). Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. *Bioscience Journal*, 26, 367-375

SILVA, Gilson Pereira et al. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.

TTAC - Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) entre União/Estados de MG e ES/Samarco/Vale/BHP. 2016. 137p. <http://www.ibama.gov.br/cif>

WANDERLEY, L. J., MANSUR, M. S., MILANEZ, B., & PINTO, R. G. (2016). Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais. *Ciência e Cultura*, 68(3), 30-35.

CAPÍTULO II – ARTIGO

**EFEITO DA OMISSÃO DE NUTRIENTES SOB O DESENVOLVIMENTO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS CULTIVADAS EM REJEITO DE MINERAÇÃO**

**Artigo formatado conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e adaptado às exigências do
manual de normalização de trabalhos acadêmicos da UFLA**

RESUMO

Com o desastre ambiental ocorrido em 2015 no município de Mariana, buscou-se avaliar a melhor forma de se recuperar a área. Uma preocupação era a falta de conhecimento sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do rejeito de mineração que se depositou nas margens dos rios e sua capacidade de suportar o restabelecimento da cobertura vegetal. Dessa forma, o estudo objetivou avaliar a resposta de três espécies; *Guazuma ulmifolia*, *Anadenanthera colubrina* e *Eremanthus erythropapus*, quando submetida a omissão dos principais nutrientes, identificando aqueles mais limitantes ao desenvolvimento da espécie e que trariam maiores respostas com a correção nutricional da mistura solo mais rejeito existente no local. Ao todo 11 tratamentos foram divididos na omissão de 6 nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes, adubação completa, 100% lama, 100% solo e 50% solo com 50% lama. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento em blocos casualizados, com 3 blocos e 3 repetições por tratamento por espécie. Foram realizadas medições quinzenais de diâmetro do coleto (D_{coleta}) e altura total (HT) das mudas, totalizando 17 medições e ao final do experimento a amostragem destrutiva para a obtenção da massa seca de raiz, caule e folhas para as três espécies. Para a análise estatística dos dados de D_{coleta} e HT foi realizada a análise de variância (ANAVA) em fatorial com dois fatores em Delineamento de Blocos Casualizados (DBC), sendo as fontes de variação, os tratamentos (omissão dos nutrientes) e os dias (tempo). Já para dos dados de massa seca de folha (MS_{Folha}), caule (MS_{Caule}), raiz (MS_{Raiz}), e total (MS_{Total}), como essas variáveis foram coletadas em um momento único de tempo (amostragem destrutiva ao fim do experimento) foi realizada uma ANAVA em Delineamento em Blocos Casualizados. As análises de variância foram realizadas por espécie, juntamente com os respectivos testes normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk a 5% de significância) e de homogeneidade da variância, onde existindo diferença entre os tratamentos, foi realizado o teste de separação de médias de Scott-Knott a 5% de significância. O teste de Scott-Knott, para a espécie *Guzauma umifolia* mostrou que o tratamento de omissão de cálcio foi o mais limitante no crescimento em diâmetro e altura com valores médios de 79,9 cm e 7,55cm respectivamente. Para a massa seca, o teste não gerou resultados médios que se diferenciaram estatisticamente. Para a espécie *Anadenanthera colubrina*, a omissão de magnésio apresentou as menores médias para diâmetro e altura com valores de 52,8 cm 4,3 cm respectivamente. Para a candeia, a mortalidade nos tratamentos sem adubação nitrogenada (omissão de Nitrogênio, Lama, Solo+lama e Solo) foi menor, podendo a mortalidade ser explicada pela acidificação do solo.

Palavras-chave: Nutrição, Espécies Florestais, Recuperação de áreas degradadas.

1 INTRODUÇÃO

Uma compreensão da demanda adequada de macro e micronutrientes, especialmente durante a fase de produção de mudas é fundamental para garantir a produção de indivíduos saudáveis com potencial para resistir a condições adversas de campo (BESSA et al., 2016). Essa afirmação ganha ainda mais destaque considerando a produção de mudas para a recuperação das margens de uma das mais importantes bacias hidrográficas da América do Sul, a bacia do rio Doce.

Afetada pelo o rompimento da barragem de Fundão, parte do rejeito do processo de beneficiamento do minério que extravasou acabou se depositado nas margens dos cursos d'água dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e rio Doce, trazendo graves danos ambientais e socioeconômicos a toda a Bacia. Em relação aos impactos sobre a vegetação, segundo estimativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais –IBAMA, o transbordamento do rejeito para fora da calha do rio devastou, aproximadamente, 374,81 ha de cobertura florestal ciliar (MINAS GERAIS, 2016). Tal fato levou a formação de um “tecnossolo” instável, com profundidade e atributos químicos variáveis, cujo manejo é considerado um desafio para a recuperação dessas áreas degradadas (NOGUEIRA, 2019).

Análises iniciais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (EMBRAPA, 2015) afirmavam que o tecnossolo não apresentaria condições para o desenvolvimento vegetal, devido a sua deficiência de fertilidade, além de problemas de ordem física que levariam a uma baixa probabilidade para a germinação de sementes e desenvolvimento radicular das plantas, associada à dificuldade de infiltração de água e baixo nível de matéria orgânica necessários para a vida microbiana. Dessa forma, os estudos realizados até o momento têm como desafio científico buscar tecnologias que permitam reverter as características mínimas necessárias ao solo das margens dos rios, para que ali seja possível o desenvolvimento das matas ciliares, e que as mesmas possam retomar sua função ecológica, ao longo dos anos.

Problemas de deficiência ou excesso são frequentes devido à aplicação de nutrientes sem critérios (RESENDE et al., 2010). O teste de omissão de nutrientes é uma técnica aplicada em casa de vegetação que visa avaliar a essencialidade dos elementos minerais para à formação das constituintes celulares das plantas e também compreender estudos de crescimento e altura, diâmetro, peso e sintomas de deficiência de acordo com a omissão.

Os nutrientes afetam o crescimento das plantas de diferentes formas, já que desempenham funções específicas nos vegetais. Assim, quando as plantas são submetidas a

tratamentos de omissão de nutrientes (análise do elemento faltante) é possível observar sintomas visuais de deficiência quando o nível recebido pela planta está abaixo do considerado adequado. Em geral, os diferentes elementos estão associados a diferentes sintomas de deficiência ou toxicidade, onde os sintomas se manifestam, principalmente se o distúrbio nutricional for grave. Contudo, o diagnóstico visual pode se tornar bastante complicado quando mais de um nutriente é deficiente ou quando a deficiência de um nutriente é induzida pelo excesso de outro. A deficiência de um nutriente ainda pode não afetar necessariamente o mesmo processo metabólico em todas as espécies de plantas o que pode dificultar o diagnóstico.

Logo a aplicação do teste de omissão de nutrientes é uma ferramenta que permite a identificação dos fatores limitantes ao desenvolvimento das espécies florestais sobre o rejeito, indicando quais soluções devem ser aplicadas em relação aos problemas nutricionais. Desde então, uma intensa atividade de reflorestamento, com diversas espécies nativas vem sendo realizada na área atingida, porém existe pouco conhecimento sobre os efeitos que as limitações de fertilidade podem produzir sobre o desenvolvimento dessas plantas.

Assim, o objetivo desse trabalho é avaliar em casa de vegetação o efeito da omissão de diversos macro e micronutrientes, sobre o desenvolvimento de espécies florestais, utilizando como substrato para o desenvolvimento dessas mudas uma mistura de solo da região afetada (50%) e rejeito de mineração (50%), buscando identificar possíveis nutrientes chave, criticamente limitantes ao desenvolvimento vegetal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área utilizada para o presente estudo compreende as planícies de inundação e as margens do córrego Santarém e dos rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce até a usina hidrelétrica Risoleta Neves (Candongá), locais onde ocorreu a deposição dos resíduos de mineração de ferro (Figura 1). Segundo SILVA. et al (2006), a bacia do rio Doce pertence ao bioma Mata Atlântica, na sua maior parte composta por florestas estacionais semidecíduais, Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é temperado com invernos secos e verões quentes em altas altitudes e em baixas altitudes com verões frescos. O

e transplantadas para os vasos, onde foi realizada a adubação realizando um teste de omissão de nutrientes.

O teste de omissão de nutrientes é uma técnica aplicada em casa de vegetação que visa avaliar a essencialidade dos elementos minerais para a formação das constituintes celulares das plantas e também compreender estudos de crescimento e altura, diâmetro, peso e sintomas de deficiência de acordo com a omissão. O experimento foi estabelecido em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) contando com 3 blocos, 11 tratamentos com 3 repetições em cada, totalizando 99 vasos em cada espécie. Os tratamentos analisados foram a omissão dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), omissão dos micronutrientes, um tratamento completo sem a omissão de nenhum nutriente, um tratamento testemunha (apenas mistura solo e rejeito) e um tratamento apenas com o solo e outro apenas com rejeito. (Figura 2).

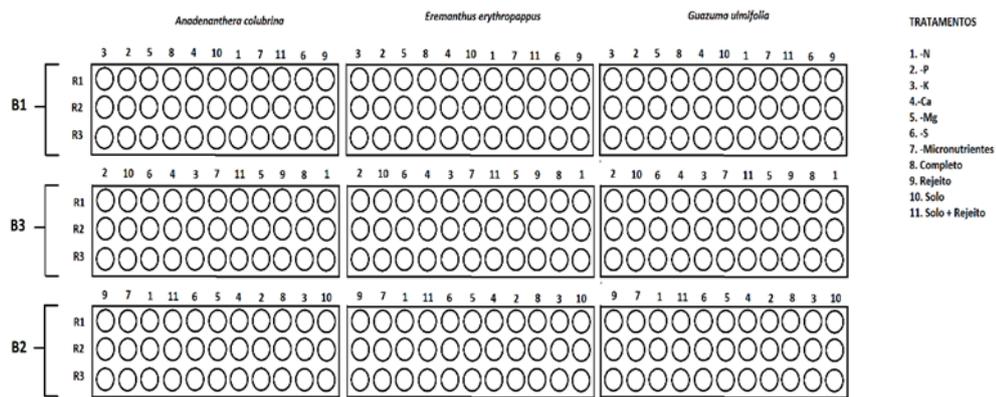


Figura 2: Croqui do experimento, apresentando a disposição dos blocos e tratamentos dentro da casa de vegetação.

A Tabela 1 apresenta a análise química, realizada em laboratório, do solo, do rejeito e da mistura. Para essa análise três amostras de cada material foram retiradas do montante e analisadas separadamente, os valores médios das análises fornecem os seguintes resultados:

Tabela 1: Resultado da análise de fertilidade para as amostras de solo, rejeito e da mistura (50% solo + 50% rejeito) utilizadas como substrato para o teste de omissão de nutrientes.

Variável	Solo	Rejeito	Mistura
pH	4,80	8,30	6,00
K (mg/dm ³)	6,92	15,42	11,30
P (mg/dm ³)	2,71	9,01	3,53

Na (mg/dm ³)	7,20	29,24	25,10
Ca (cmolc/dm ³)	0,21	1,30	0,97
Mg (cmolc/dm ³)	0,10	0,10	0,10
Al (cmolc/dm ³)	1,18	0,20	0,20
H+Al (cmolc/dm ³)	2,31	0,59	1,18
SB (cmolc/dm ³)	0,33	1,44	1,10
t (cmolc/dm ³)	0,37	1,46	1,12
T (cmolc/dm ³)	2,64	2,03	2,28
V%	12,51	70,80	48,32
m%	35,90	1,37	1,78
MO (dag/Kg)	0,59	0,40	0,48
P-rem (mg/L)	10,19	46,03	23,56
Zn (mg/dm ³)	0,66	1,49	0,47
Fe (mg/dm ³)	43,99	156,40	105,52
Mn (mg/dm ³)	3,66	122,87	77,62
Cu (mg/dm ³)	26,93	23,86	8,60
B (mg/dm ³)	0,05	0,14	0,09
S (mg/dm ³)	34,20	8,13	29,29

Durante o transplântio das mudas, foi realizada a adubação dos vasos utilizando as diferentes fontes de nutrientes, seguindo as recomendações conforme a omissão de cada nutriente em questão (Tabela 2). A adubação referente aos óxidos e micronutrientes foram divididas em duas doses e realizados em cobertura 1 ms após o transplântio das mudas para os vasos. Para facilitar o controle do experimento, todos os vasos foram identificados com etiquetas de acordo com cada tratamento.

Tabela 2: Doses por vaso, fonte de nutriente utilizada e número de aplicações para cada tratamento aplicado no teste de omissão de nutrientes.

Tratamentos	Fontes dos nutrientes	Dose/Vaso (g)	N aplicações
Omissão de N	Sulfato de magnésio	0,77	1
	Sulfato de Cálcio	0,40	1
	Sulfato de Potássio	0,43	1
	Fosfato de Potássio	1,90	1
	Fosfato de Cálcio	1,80	1
	Fosfato de amônio	0,62	2
	Fosfato de Sódio	3,80	2
Omissão de P	Nitrato de Cálcio	2,20	1
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Sulfato de Amônio	1,03	2
	Ureia	2,20	2

	KCl	1,40	2
Omissão de K	Fosfato de Cálcio	2,40	1
	Fosfato de amônio	3,40	2
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Sulfato de Amônio	1,03	2
	Ureia	1,80	2
Omissão de S	Fosfato de Potássio	2,60	1
	Fosfato de Cálcio	2,40	1
	Fosfato de amônio	1,20	2
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Ureia	2,90	2
Omissão de Mg	Fosfato de Potássio	2,60	1
	Fosfato de Cálcio	2,40	1
	Fosfato de amônio	1,20	1
	Sulfato de Amônio	1,03	1
	Ureia	2,60	1
Omissão de Ca	Fosfato de amônio	5,60	2
	Sulfato de Amônio	1,03	1
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Ureia	1,20	2
Omissão de Micronutrientes	Fosfato de Potássio	2,60	1
	Fosfato de Cálcio	2,40	1
	Fosfato de amônio	1,20	2
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Sulfato de Amônio	1,03	2
	Ureia	2,40	2
Completo	Fosfato de Potássio	2,60	1
	Fosfato de Cálcio	2,40	1
	Fosfato de amônio	1,20	2
	Nitrato de Magnésio	0,80	1
	Sulfato de Amônio	1,03	2
	Ureia	2,40	2

Fonte: Do Autor (2020).

2.3 Variáveis analisadas

Os dados coletados durante o acompanhamento do experimento foram o diâmetro do coleto (D_{coleta}), altura total da muda (HT). Para a medição do diâmetro do coleto foi utilizado um paquímetro e para a altura total uma trena de mão. A coleta dos dados foi realizada quinzenalmente durante 8 meses, totalizando 17 medições. Ao fim do experimento, as plantas foram extraídas dos vasos e separadas em 3 partes: i) folhas, ii) caule e iii) raiz para a

obtenção da massa seca de cada componente. Para isso, as raízes foram inicialmente lavadas para remoção total das partículas do substrato e posteriormente com os demais componentes foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e secos em estufa por três dias a $103\pm 2^\circ\text{C}$. Após esse período, os mesmos foram pesados em balança de precisão obtendo-se a massa seca de cada componente e a massa seca total da planta.

2.4 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados de diâmetro do coleto (D_{coleta}) e altura total (HT) foi realizada a análise de variância (ANAVA) em fatorial com dois fatores em Delineamento de Blocos Casualizados (DBC), sendo as fontes de variação, os tratamentos (omissão dos nutrientes) e os dias (tempo). Já para os dados de massa seca de folha (MS_{Folha}), caule (MS_{Caule}), raiz (MS_{Raiz}), e massa seca total (MS_{Total}), como essas variáveis foram coletadas em um momento único de tempo (amostragem destrutiva ao fim do experimento) foi realizada uma ANAVA em Delineamento em Blocos Casualizados. As análises de variância foram realizadas por espécie, juntamente com os respectivos testes normalidade dos resíduos (Shapiro – Wilk a 5% de significância) e de homogeneidade da variância, onde existindo diferença entre os tratamentos, foi realizado o teste de separação de médias de Scott-Knott a 5% de significância.

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos resultados de *Anadenanthera colubrina*

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro de coleto e altura total para *Anadenanthera colubrina*.

Tabela 3: Análise de variância para os dados de diâmetro do coleto e altura total para *Anadenanthera colubrina* submetida a omissão de nutrientes.

FV	GL	D coleto			HT		
		QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	40,7	48,5	0,000	7776,1	57,8	0,000
Trat	10	40,0	47,7	0,000	5240,2	38,9	0,000
Dias	49	47,4	56,5	0,000	6054,1	45,0	0,000
Trat x Dias	170	1,0	1,2	0,084	118,1	0,9	0,862

Resíduo	1550	0,8	-	-	134,6	-
Total	1781	-	-	-	-	-

A ANAVA indicou a existência de diferenças significativas entre os tratamentos (omissão de nutrientes) e entre os dias (época de avaliação), porém não identificou interação significativa entre os dois. Assim, foi realizado o teste de separação de médias de Scott – Knott, onde a Tabela 4 apresenta as médias classificadas de D_{coleta} e HT de acordo com as diferenças mínimas significativas (DMS).

Tabela 4: Resultado do teste Scott Knott para variável altura total e diâmetro do coleta da espécie *Anadenanthera colubrina*.

HT			Dcoleta		
Trat	Média	Grupo	Trat	Média	Grupo
K	69,6	a	N	6,3	a
N	66,3	b	Solo+rejeito	5,5	b
Ca	60,7	c	K	5,4	b
S	60,2	c	P	5,4	b
P	59,1	c	Solo	5,4	b
Completo	57,4	d	S	5,1	c
Micro	57,1	d	Micro	5,1	c
Solo+rejeito	55,5	e	Rejeito	5,1	c
Solo	55,2	e	Ca	5,1	c
Mg	52,8	e	Completo	4,8	d
Lama	49,8	e	Mg	4,3	e

A omissão de magnésio (Mg) foi a que mais comprometeu o crescimento em altura. Esse tratamento apresentou médias que não diferiram estatisticamente daquelas encontradas para os tratamentos sem nenhuma adubação (Solo, Solo + Lama e Lama) formando o quinto grupo com as piores médias, em comparação com a omissão de Potássio que apresentou a maior média, identificou-se uma redução de 24,1% com a ausência de Mg na adubação. O quarto grupo com menores médias foi formado pela omissão dos micronutrientes e pelo tratamento completo, com médias respectivamente menores 18,0% e 17,5 %. O terceiro grupo formado pelos tratamentos com omissão de fósforo (P), Enxofre (S) e Cálcio (Ca) apresentaram uma redução das médias de altura de 15,1%; 13,5% e 12,8%. E por fim, o segundo grupo foi formado pelo tratamento de omissão de Nitrogênio (N) que apresentou médias 4,7% menores.

Para a variável diâmetro do coleto, a omissão de Mg também foi a que mais comprometeu o crescimento, com redução de 31,7% em relação a omissão de N (que apresentou a maior média), seguido pelo tratamento completo (redução de 23,8%). O terceiro grupo com as menores médias foi formado pelos tratamentos com omissão de Ca, micro e S (juntamente com o tratamento utilizando apenas lama como substrato), com reduções de 19,0%. O segundo grupo foi formado pela omissão de K e P (juntamente com Solo + Lama e Solo), onde as médias de D_{coleta} foram 14,3% menores.

A Figura 3 apresenta o comportamento dos valores médios de altura e diâmetro do coleto ao longo do desenvolvimento das plantas para as diferentes omissões de nutrientes avaliadas.

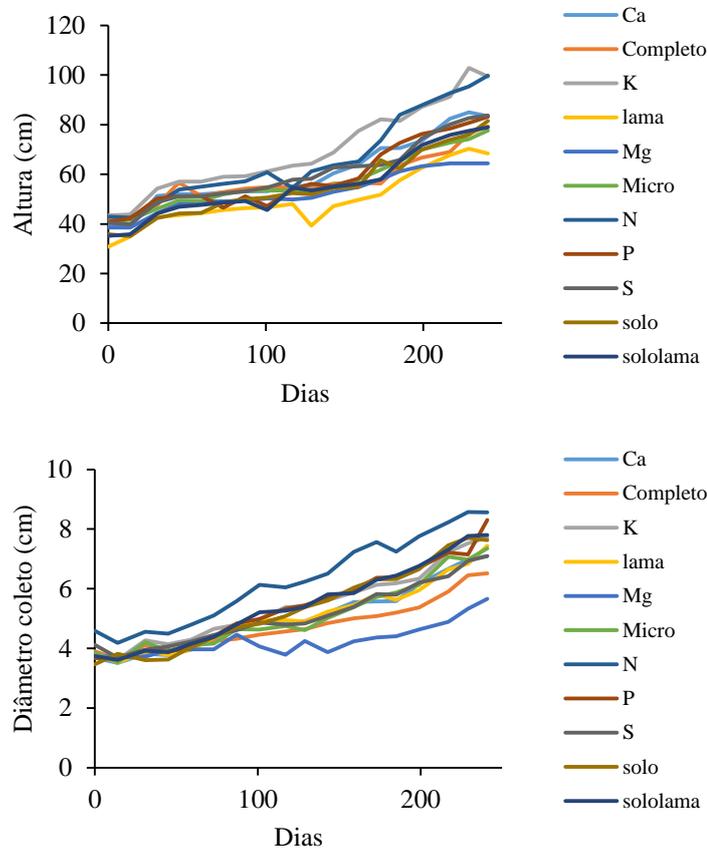


Figura 3: Comportamento dos valores médios de altura e diâmetro do coleto sob diferentes omissões de nutrientes para *Anadenanthera colubrina*.

Pela análise gráfica da altura ao longo dos dias, pode-se observar que os valores médios tiveram suas diferenças intensificadas a partir dos 120 dias, onde o tratamento de omissão de N e omissão de K se destacaram dos demais com as maiores médias, enquanto que só a partir de 185 dias a média da omissão de Mg se diferenciou das demais negativamente. Já

a análise gráfica do diâmetro do coleto permite identificar que as médias da omissão de N desde o início do experimento já se demonstravam maiores que as demais, e que a partir de 90 dias a média da omissão de Mg já foi negativamente impactada.

A Tabela 5 apresenta as médias classificadas de massa seca de folha (MS_{Folha}), caule (MS_{Caule}), raiz (MS_{Raiz}), e massa seca total (MS_{Total}), junto as letras que representam as diferenças mínimas significativas (DMS).

Tabela 5: Análise de variância para os dados de massa seca de folha, caule, raiz e total para a espécie *Anadenanthera colubrina*.

FV	GL	PS Folha			PS Caule			PS Raiz			PS Total		
		QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	10	43,6	3,0	0,00	61,9	2,6	0,01	717,5	5,1	0,00	1027,1	3,2	0,00
Bloco	2	3,4	0,2	0,79	37,9	1,6	0,21	179,6	1,3	0,29	364,3	1,1	0,33
Resíduo	86	14,8	-	-	24,1	-	-	141,9	-	-	325,1	-	-
Total	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A análise de variância demonstrou que existem diferenças significativas (Pr>Fc menor que 0,05) entre os tratamentos. Assim foi realizado o teste de separação de médias de Scott - Knott, onde a Tabela 6 apresenta as médias classificadas de acordo com as diferenças mínimas significativas.

Tabela 6; Resultado do teste Scott Knott para variável MS folha, MS caule, MS raiz e MS total da espécie *Anadenanthera colubrina*.

MS folha			MS caule			MS raiz			MS Total		
Trat	Média										
K	11,4	a	K	16,1	a	Rejeito	46,9	a	P	66,1	a
Ca	11,3	a	N	15,7	a	N	41,5	a	N	64,3	a
P	11,0	a	P	15,3	a	Solo+rejeito	40,3	a	Rejeito	63,4	a
Completo	8,7	b	S	13,7	a	P	39,8	a	Solo+rejeito	57,2	a
S	8,0	b	Ca	13,2	a	Ca	29,8	b	K	56,8	a
N	7,1	b	Micro	11,6	b	K	29,4	b	Ca	54,3	a
Solo	6,8	b	Solo+rejeito	11,0	b	Solo	26,8	b	S	47,1	b
Rejeito	6,8	b	Solo	10,8	b	Completo	26,4	b	Completo	45,1	b
Mg	6,0	b	Completa	10,5	b	S	25,4	b	Solo	44,3	b
Solo+rejeito	5,9	b	Rejeito	9,7	b	Micro	24,7	b	Micro	42,1	b
Micro	5,8	b	Mg	8,2	b	Mg	18,3	b	Mg	32,5	b

A MS_{Folha} foi mais afetada pela omissão de micronutrientes, Mg, N, S e pelo tratamento completo (juntamente com o Solo+Lama, Lama e Solo), com redução das médias entre 23,7% e 49,1%. Já o grupo com as maiores médias ficam com os tratamentos com omissões de K, Ca e P. MS_{Caule} foi principalmente afetada pela omissão de Mg e micronutrientes, e pelo tratamento completo (juntamente com o Solo+Lama, Lama e Solo), apresentando médias menores entre 28,0% e 49,1%, enquanto o grupo com maiores médias foi formado pelos tratamentos com omissões de K, N, P, S e Ca. A variável MS_{Raiz} foi afetada pela omissão de Mg, micronutrientes, S, K, Ca e pelo tratamento completo (juntamente com Solo), que apresentaram médias inferiores entre 36,5% e 61,0%. O grupo com maiores médias foi formado pela omissão de N e P (juntamente com Lama e Solo+Lama). Por fim, a MS_{Total} foi influenciada pela omissão de Mg, Micro,S e pelo tratamento completo e solo (redução entre 28,7% e 50,8%), enquanto no grupo com as maiores médias ficaram as omissões de P, M, K e Ca (juntamente com Lama, Solo+lama). Com base nos resultados de MS_{Total} a ordem de preferência dos nutrientes para a espécie *Anadenanthera colubrina* foi: $P < N < K < Ca < S < \text{micro} < Mg$. A Figura 4 apresenta os valores de massa seca de folha, caule e raiz ao final do experimento para cada tratamento de omissão e nutrientes da espécie *Anadenanthera colubrina*.

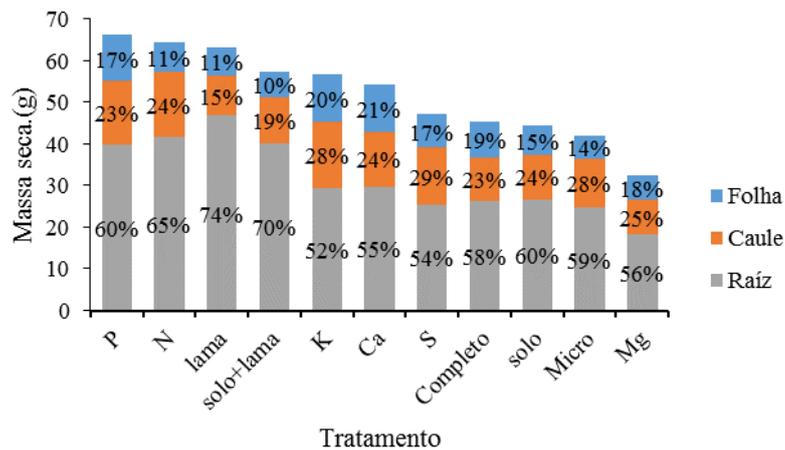


Figura 4: Comportamento da massa seca de folha, caule e raiz mediante a omissão de nutrientes para *Anadenanthera colubrina*.

A análise gráfica demonstra que *Anadenanthera colubrina* priorizou a produção de raízes em todos os tratamentos. Destaca-se o tratamento Rejeito que estocou cerca de 74% da sua massa seca total em raízes (maior extorque) e apenas 15% em caule (menor estoque) e o

tratamento omissão de N, que obteve o menor valor de estocagem de massa seca em folhas (12%).

3.2 Análise dos resultados de *Guazuma umifolia*

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro do coleto e altura total para *Guazuma umifolia*.

Tabela 7: Análise de variância para os dados de diâmetro do coleto e altura total para *Guazuma umifolia* submetida a omissão de nutrientes.

FV	GL	D coleto			HT		
		QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	12,3	8,7	0,00018	122275	77,9	0,00000
Trat	10	22,7	16,0	0,00000	2010	13,0	0,00000
Dias	49	550,9	389,4	0,00000	10240	255,5	0,00000
Trat x Dias	170	1,0	0,7	0,99713	159	1,0	0,4562
Resíduo	1550	1,4	-	-	157	-	-
Total	1781	-	-	-	-	-	-

A análise de variância para as variáveis, diâmetro do coleto e altura para a espécie *Guazuma umifolia* mostrou diferenças significativas entre os tratamentos (omissão de nutrientes) e entre os dias (época de avaliação), entretanto não identificou interação significativa entre os dias e os tratamentos. Assim, foi realizado o teste de separação de médias de Scott – Knott, onde a tabela 8 apresenta as médias classificadas de D_{coleto} e HT de acordo com suas diferenças.

Tabela 8: Resultado do teste Scott Knott para variável altura total e diâmetro do coleto da espécie *Guazuma umifolia*.

HT			Dcoleto		
Trat	Média	Grupo	Trat	Média	Grupo
Mg	89,3	a	N	8,61	a
N	87,4	a	Rejeito	8,03	b
K	86,4	a	K	7,84	c
Completo	85,3	b	Completo	7,82	c
P	84,4	b	Solo+rejeito	7,68	c
S	83,8	b	Ca	7,55	d
Micro	83,1	b	S	7,55	d

Rejeito	82,1	c	Solo	7,45	d
Ca	79,9	d	Micro	7,42	d
Solo	79,4	d	Mg	7,39	d
Solo+rejeito	77,8	d	P	7,32	d

O tratamento com omissão de Ca foi o que mais afetou o crescimento da variável altura total (juntamente com o tratamento apenas com solo e solo+rejeito), com média inferior a 10,5% em relação ao tratamento com melhor média (omissão de Mg). O terceiro grupo foi formado pelo tratamento que utiliza apenas Lama como substrato, enquanto no segundo grupo ficaram o tratamento completo e as omissões de P, S e micronutrientes (com médias inferiores entre 4,5% e 6,9%). No grupo com as maiores médias não se diferenciaram estatisticamente os tratamentos de omissão de Mg, N e K.

O nutriente que mais comprometeu o desenvolvimento de D_{colete} foi a omissão de P, contudo, estatisticamente o mesmo não se diferenciou dos tratamentos com omissão de Ca, S, solo, micronutrientes, Mg e do solo (com redução das médias entre 12,3% e 15%). O terceiro grupo foi formado pela omissão de K e pelo tratamento completo (juntamente com solo+rejeito) com redução das médias entre 8,9% e 10,8%, já no segundo grupo ficou o tratamento com apenas lama (média inferior 6,7%). O nutriente que menos afetou o desenvolvimento em diâmetro para *Guazuma umifolia* foi o nitrogênio, já que sua omissão resultou nas maiores médias. A Figura 5 apresenta o comportamento dos valores médios de altura e diâmetro do colete ao longo do desenvolvimento das plantas de *Guazuma umifolia*.

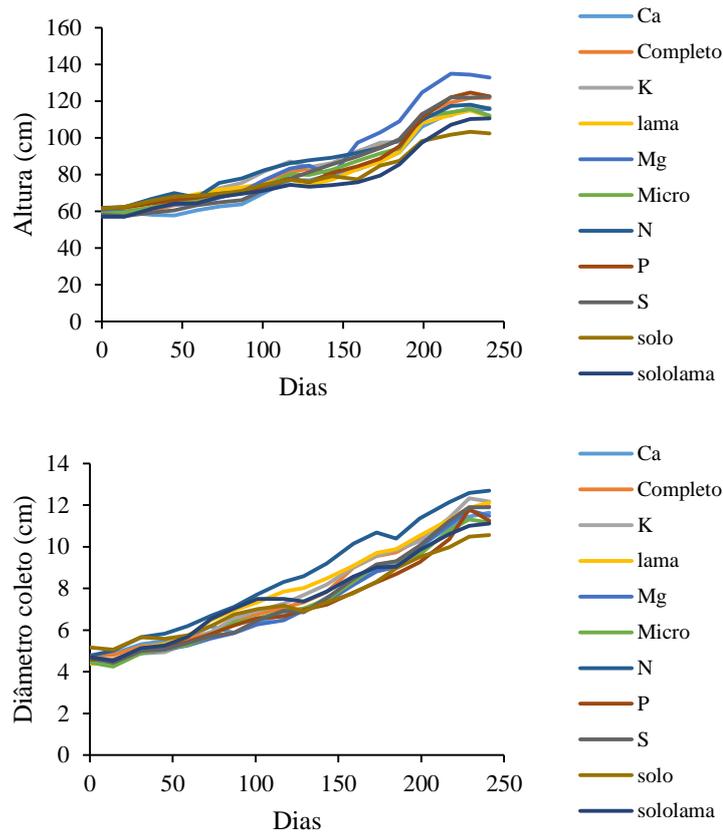


Figura 5: Comportamento dos valores médios de altura e diâmetro do coleto sob diferentes omissões de nutrientes para *Guazuma umifolia*.

Pela análise gráfica da altura ao longo do experimento, pode-se observar que os valores médios de HT tiveram suas diferenças intensificadas a partir dos 150 dias, onde o tratamento de omissão de Mg se destacou dos demais com a maior média, enquanto os tratamentos com apenas solo e solo+lama apresentaram as menores médias. Ao fazer a análise gráfica do diâmetro do coleto, podemos observar que os valores médios foram se diferenciar após 100 dias, quando o tratamento omissão de N obteve a maior média, com a curva se destacando das demais.

Tabela 9: Análise de variância para os dados de peso seco de folha, caule, raiz e total da espécie *Guazuma umifolia*.

FV	GL	MS Folha			MS caule			MS Raiz			MS Total		
		QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	10	214,5	10,0	0,000	305,9	7,9	0,000	467,7	3,5	0,000	2036,1	6,0	0,000
Bloco	2	4,0	0,2	0,800	18,3	0,5	0,600	989,0	7,3	0,000	1410,2	4,2	0,020
Resíduo	86	21,5	-	-	38,6	-	-	135,0	-	-	339,5	-	-

Total	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-------	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

A análise de variância das variáveis, massa seca de folha (MS_{Folha}), caule (MS_{Caule}), raiz (MS_{Raiz}), e massa seca total (MS_{Total}) demonstrou que existe diferença significativa entre os tratamentos. Assim, foi realizado também o teste de separação de médias de Scott – Knott. A Tabela 10 apresenta as médias classificadas de acordo com o teste, onde as letras representam as diferenças significativas (DMS).

Tabela 10: Resultado do teste Scott Knott para variável PS folha, PS caule, PS raiz e PS total da espécie *Guazuma umifolia*.

MS folha			MS caule			MS raiz			MS Total		
Trat	Média										
K	25,8	a	K	37,8	a	Rejeito	52,1	a	K	114,1	a
Ca	23,0	a	Mg	36,8	a	K	50,5	a	Mg	101,9	a
Completo	22,8	a	Ca	35,6	a	Mg	43,3	a	Completo	98,9	a
Mg	21,7	a	N	35,4	a	Completo	41,9	a	Rejeito	96,6	a
P	20,4	a	S	34,6	a	N	41,6	a	Ca	94,1	a
S	20,3	a	Completo	34,3	a	S	38,6	b	S	93,6	a
Micro	19,8	a	Micro	32,3	a	P	36,3	b	N	93,5	a
N	16,4	b	P	32,1	a	Ca	35,5	b	P	88,8	a
Rejeito	15,3	b	Rejeito	29,2	a	Solo	33,3	b	Micro	83,7	a
Solo+rejeito	13,7	b	Solo+rejeito	23,6	b	Micro	31,7	b	Solo+rejeito	67,5	b
Solo	8,9	c	Solo	19,0	b	Solo+rejeito	30,2	b	Solo	61,2	b

Para a MS_{Folha} a pior média foi encontrada para o tratamento solo, já em relação a omissão de nutrientes, o N foi o que gerou menor produção de MS, com média inferior 36,4% em comparação com a omissão de K (maior média), sendo que a omissão de N não se diferiu dos tratamentos sem nenhuma adubação usando apenas lama e solo+lama. Já os tratamentos com omissão de K, Ca, Mg, P, S micro e o tratamento completo não se diferenciaram entre si, mesmo variando entre 10,9% e 23,3% em relação a omissão de K. A MS_{Caule} e a MS_{Total} não se mostraram influenciadas negativamente pela omissão de nenhum nutriente específico de forma isolada, o grupo com menores médias foi formado pelo tratamento com solo+lama e apenas solo, tratamentos esse sem nenhuma adição de nutrientes que refletem a situação original do local. Já no grupo com as maiores médias ficaram as omissões de todos os nutrientes juntamente com o tratamento que usa apenas lama que apresenta melhor fertilidade que o solo da região. A MS_{Raiz} foi influenciada negativamente pela omissão de micronutrientes, Ca, P e S (não se diferenciando dos tratamentos com solo e solo+lama), com

redução entre 25,9% e 31,7% em relação a média da omissão de K. No grupo das maiores médias, além da omissão de K, não se diferenciaram entre si a omissão de Mg, Ca, N, S, Micro, P, o tratamento completo e Lama, sendo que as maiores médias foram encontradas para o tratamento Lama sem nenhuma adição de nutrientes. Com base nos resultados de MS_{Total} a ordem de preferência dos nutrientes para a espécie *Guazuma umifolia* foi: $K > Mg > Ca > S > N > P > micro$. A Figura 6 apresenta os valores de massa seca de folha, caule e raiz ao final do experimento para cada tratamento de omissão e nutrientes da espécie *Guazuma umifolia*.

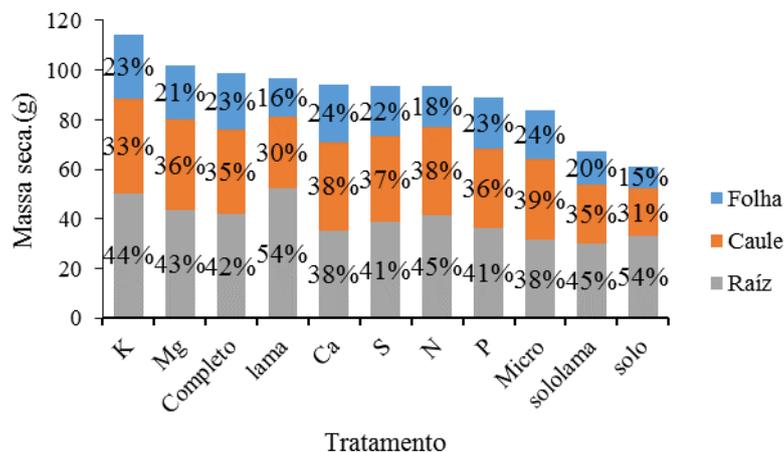


Figura 6: Comportamento da massa seca de folha, caule e raiz mediante a omissão de nutrientes para *Guazuma umifolia*.

A análise gráfica da massa seca mostra que, em todos os tratamentos, as plantas priorizaram a produção de massa seca de raiz em comparação com produção de massa seca de caule e folha. Em média, as plantas estocaram 44% da sua massa nas raízes, com destaque aos tratamentos Solo e Lama, que obtiveram 54% de massa seca total localizado nas raízes e ao tratamento omissão de Ca que obteve 38% (menor porcentagem).

3.3 Análise da mortalidade para *Eremanthus erythropapus*

A alta mortalidade das plantas da espécie *Eremanthus erythropapus* (80%) comprometeu a realização da análise estatística dos dados ao final do experimento. Dessa forma, cabe fazer uma análise do momento no tempo onde essas mortes principalmente

ocorreram e em qual tratamento de omissão. A Figura 7 apresenta o número total de plantas mortas ao longo dos dias de experimento.

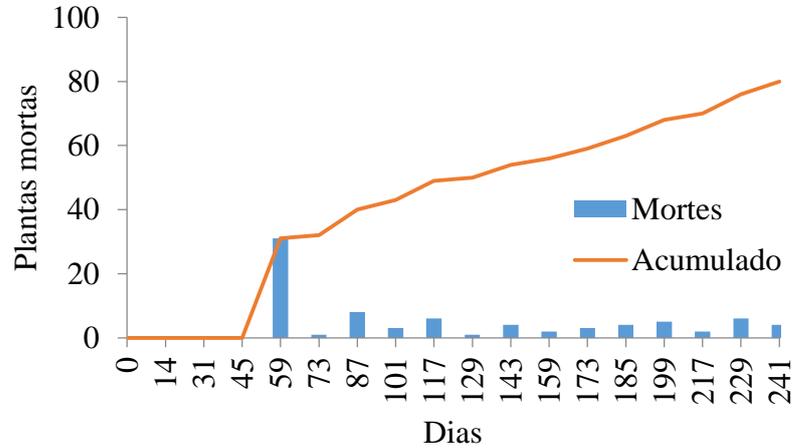


Figura 7: Número de plantas mortas de *Eremanthus erythropapus* ao longo do experimento.

Para análise gráfica de mortalidade, podemos observar que, as mortes se iniciaram aos 59 dias de experimento, onde o número de plantas mortas foi o maior em todo experimento, com um total de 39% das mortes, sendo que após esse período, as plantas continuaram morrendo, porém em um número mais reduzido de plantas. A Figura 8 apresenta a mortalidade em cada tratamento ao longo dos dias.

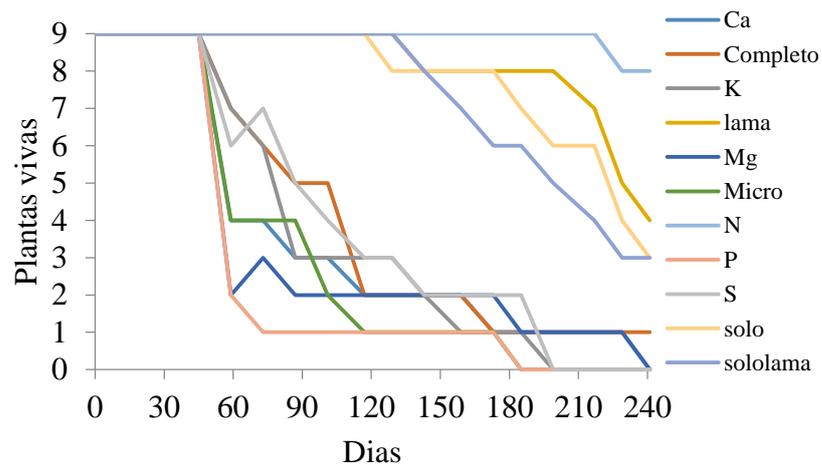


Figura 8: Número de plantas mortas de *Eremanthus erythropapus* em cada tratamento ao longo do experimento.

Analisando os resultados de mortalidade por tratamento, observa-se que a grande maioria das mortes aos 59 dias ocorreu nos tratamentos em que foi realizada a adubação nitrogenada, enquanto nos tratamentos sem a aplicação da ureia (omissão de N, solo, lama e solo+lama) as plantas conseguiram sobreviver durante um maior período de tempo, mesmo com alta mortalidade ao final do experimento. De todos os tratamentos avaliados o único que apresentou sobrevivência satisfatória foi o de omissão de N.

4 DISCUSSÃO

4.1 Fertilidade do solo da região

De forma geral, o solo da região, utilizado como substrato em conjunto com o rejeito da mineração, apresenta uma baixa fertilidade natural, com indicadores piores que o próprio rejeito. Entre os atributos do solo, destaca-se inicialmente o baixo valor de pH (solo ácido), que compromete sensivelmente a absorção dos nutrientes. Segundo Souza-Filho et al. (2000), tradicionalmente, os solos tropicais, têm se caracterizado pela acidez elevada, onde a baixa disponibilidade de nutrientes, e o alumínio tóxico (solo da região também apresenta altas concentrações de Al) impõe restrições ao desenvolvimento das raízes. Os mesmos autores afirmam que o pH é um dos fatores que mais limitam o crescimento das plantas, sendo responsável pela a distribuição geográfica das plantas na natureza, já que existe para cada planta, um valor ótimo de pH para o seu desenvolvimento.

A toxidez de Al é provavelmente o fator mais limitante ao crescimento de plantas em solos ácidos, comprometendo a profundidade e o grau de ramificação das raízes (VALE et al. 1996). Porém, algumas espécies são tolerantes a altas concentrações de Al, já que desenvolveram adaptações para alterar o pH da rizosfera, diminuindo a solubilidade e toxidez do Al, por isso acabam investindo em enraizamento em relação a outras estruturas.

Como Ca desempenha um papel chave no crescimento radicular Vale et al. (1996) afirmam que alta saturação por alumínio e baixa concentração de Ca limita a exploração do subsolo pelas raízes na busca por água e nutrientes, apesar de a maioria das espécies florestais serem altamente tolerantes ao Al, a calagem traria benefício na recuperação das áreas afetadas pela deposição de rejeito, afetando a soma de bases (SB) e elevando a disponibilidade de nutrientes e a CTC efetiva ($t = 0,37 \text{ cmolc/dm}^3$). A baixa capacidade de troca catiônica (CTC) também é sugerida por Vale et al. (1996) como um mecanismo de tolerância ao Al. A CTC do solo a pH 7 (T) apresenta valor de $2,64 \text{ cmolc/dm}^3$, sendo classificada como baixa ($< 5,5$

cmolc/dm³) (Seminário de fertilidade do solo, Manaus, 1982). Fato esse, que somado a ao baixo teor de matéria orgânica (0,59 dag/Kg) compromete a capacidade produtiva do solo (CIOTTA et al. 2003). A saturação por bases (V%=12,51%) também é um indicativo da fertilidade do solo, sendo que solos com V% < 50% são considerados pouco férteis (distróficos), onde há pequenas quantidades de cátions como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ (RONQUIM, 2010). De forma geral, nota-se que o rejeito apresenta melhor fertilidade que o solo, com destaque para o valor de pH (8,30 no rejeito), K, P, Ca, SB, V%, contudo com altas concentrações de Fe e Mn. Portanto, uma correta proporção entre os nutrientes no solo é importante, associando esses resultados gerais e considerando a “Lei do fator Mínimo”, onde a substância mineral em menor concentração relativa determina o limite para o crescimento, a investigação do papel de cada nutriente tende a ser enriquecedora para o processo de recuperação da área.

4.2 Função dos nutrientes no desenvolvimento das espécies

Para *Anadenanthera colubrina* a omissão de Mg afetou sensivelmente tanto o crescimento em D_{coletado} e HT quando a produção de matéria seca, isso está associado a função do magnésio de ativador enzimático na fotossíntese, respiração e síntese de DNA e RNA (SORREANO, 2012), assim a falta de Mg afeta a atividade de várias enzimas e a estabilização estrutural de tecidos (GUO et al., 2016). Outro ponto é que o Mg²⁺ é um íon que sofre com a concorrência de outros íons, tendo sua absorção expressivamente reduzida por K⁺, NH₄⁺, Ca⁺, e Mn₂⁺ e pelos H⁺ em situações de baixo pH (SORREANO, 2012). (BATISTA, 2003) observou na espécie *Annona muricata* que a altura da planta foi reduzida com a deficiência de Magnésio.

Por outro lado, os tratamentos com a omissão de N e K apresentaram as maiores médias de D_{coletado} e HT MS_{Caule} e MS_{Total}, onde a ausência desses pode ter promovido um melhor balanço nutricional, gerando uma menor competição pelos sítios de absorção (MALAVOLTA E VIOLANTE NETTO, 1989). Normalmente a falta de K reduz o crescimento e a produtividade (HAFSI et al., 2014), isso pode demonstrar que *Anadenanthera colubrina* é eficiente em converter esse nutriente quando sua disponibilidade é limitada. O potássio é o nutriente mais abundante no citoplasma e sua contribuição no potencial osmótico e dos tecidos das células é de grande valor. No solo, esse elemento aparece na forma iônica (K⁺), sendo essa forma a mais absorvida pelas plantas. Como o K é um íon monovalente, em presença elevada de cátions bivalentes como Ca⁺² e Mg⁺² sofre inibição competitiva, ou seja,

compete em desvantagem pelo mesmo sítio de absorção (SORREANO, 2012). Duboc (1994) observou que a omissão de K da adubação de plantio não reduz o crescimento em altura e diâmetro, e nem a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de jatobá e copaíba, onde a ausência de resposta nessas espécies parece estar relacionada com o baixo requerimento de K nesta fase de desenvolvimento da planta. Braga et al. (1995) também não encontraram diferenças significativas na produção final de plantas de *Acacia mangium*, espécie pioneira, crescendo em condições de baixa disponibilidade de K no solo.

Já o nitrogênio é o mais importante dos macronutrientes, na planta, ele está incluído em diferentes aminoácidos, proteínas, clorofila, alcalóides, amidas, coenzimas e vitaminas ou ainda como ativador de enzimas, e participa dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celulares e herança (MALAVOLTA et al., 1989). O nível de nitrogênio na planta também influencia a absorção ou a distribuição de praticamente todos os nutrientes (MALAVOLTA E VIOLANTE NETTO, 1989).

Guazuma umifolia não demonstrou claramente ter sido afetada pela omissão de um determinado nutriente, mas a omissão de Ca produziu menores médias de D_{coletado} , HT e MS_{Raiz} , porém não comprometeu as médias de MS_{Total} . O Cálcio possui várias funções na planta e ele é absorvido na sua forma bivalente (Ca^{+2}). Em termos quantitativos o Ca é encontrado em grande proporção na parede celular, interligando cadeias peptídicas contribuindo para estabilidade celular (SORREANO, 2012). Segundo Mengel e Kyrkby (1987), a deficiência de Ca causa redução no crescimento do tecido meristemático, observada primeiramente na região do crescimento apical e nas folhas mais novas. Epstein e Bloom (2005), a necessidade desse nutriente parece ser mais alta nesses tecidos, porém, o cálcio também está presente nos tecidos mais velhos. Contudo, alguns estudos como de Mendonça et al., (1999), não observaram sintomas visíveis da deficiência desse nutriente na folha, apenas uma redução no crescimento da espécie *Myracrodruon urundeuva*. (COELHO, 2004) observou que a deficiência de cálcio ocasionou uma redução de matéria seca total. (SERRANO 2011) observaram que a omissão de Ca, Mg foram os que mais influenciaram negativamente no crescimento de diâmetro e na altura da espécie *Croton urucurana*. Em relação a MS_{Total} nenhuma omissão foi capaz de gerar resultados médios que se diferenciaram estatisticamente. *Guazuma umifolia* por ser uma espécie pioneira, tende a se adaptar a solos com baixos teores nutricionais, se mostrando muito flexível, com médias das variáveis analisadas bem próximas entre os diferentes tratamentos de omissão. Mesmo assim, a exemplo do ocorrido para *Anadenanthera colubrina*, os tratamentos com a omissão de N e K também apresentaram as maiores médias de HT e D_{coletado}

Tanto *Anadenanthera colubrina* quanto *Guazuma umifolia* investiram principalmente no crescimento de raízes. Segundo Venturim et al. (1999) uma maneira de a planta se desenvolver em situação de baixa fertilidade é maximizar a superfície externa de absorção da raiz, promovendo uma extensão contínua do sistema radicular, alterando a relação raiz/parte aérea

No caso de *Eremanthus erythropappus* notou-se uma alta mortalidade, principalmente nos tratamentos com o uso de adubação nitrogenada. Silva (2009) afirma que entre os nutrientes requeridos pelas culturas, o nitrogênio é o mais exigido, superando em quantidade o fósforo e o potássio, contudo, tanto a ureia quanto o sulfato de amônio (principais fontes de nitrogênio dos fertilizantes) durante sua transformação pelos microorganismos do solo, levam além da formação de amônio e nitrato (formas absorvidas pelas plantas) a liberação de íons H^+ , o que pode acidificar o solo. Como os níveis de matéria orgânica, tanto do solo quanto do rejeito, são baixos, o poder tampão pode controlar essas variações de pH, podendo ser facilmente desequilibrado pela adição de fertilizantes.

De forma geral, o diagnóstico do efeito isolado de um nutriente pode se tornar bastante complicado quando mais de um nutriente é deficiente ou quando a deficiência de um nutriente é induzida pelo excesso de outro. A deficiência de um nutriente ainda pode não afetar necessariamente o mesmo processo metabólico em todas as espécies de plantas conforme foi notado. Logo a aplicação do teste de omissão de nutrientes é uma ferramenta que auxilia na identificação dos fatores limitantes ao desenvolvimento das espécies florestais sobre o rejeito, indicando quais soluções devem ser aplicadas em relação aos problemas nutricionais.

5 CONCLUSÕES

Para a espécie *Guazuma umifolia*, a omissão de cálcio foi o tratamento mais limitante para o crescimento em diâmetro e altura, porém não interferiu na produção de massa seca total na planta.

Para a espécie *Anadenanthera colubrina* as omissões de Nitrogênio e Potássio apresentaram as maiores médias para as duas variáveis, diâmetro do coleto e altura e menor média foi no tratamento de omissão de Magnésio para o crescimento em diâmetro e altura.

Para a *Eremanthus erythropappus*, a alta taxa de mortalidade não permitiu analisar as variáveis diâmetro e altura, uma das hipóteses para alta mortalidade é que a fonte dos adubos aplicados nos tratamentos (exceto omissão de Nitrogênio, Rejeito, Solo+rejeito, Solo) aumentou a acidez do solo causando toxicidade nas plantas.

Assim, o comportamento de cada nutriente depende de fatores físicos e químicos do substrato e também do comportamento de cada nutriente em relação a outro. Uma maneira interessante de melhorar esse estudo é o uso de hidropônia, onde o substrato não está sendo uma fonte de variação. Bem com fazer a análise nutricional das plantas após o fim do experimento.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, Magnalda Maria Fernandes et al. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, p. 315-318, 2003.
- BESSA, L. A., MOREIRA, M. A., SILVA, F. G., MOTA, C. S., & VITORINO, L. C. (2016). Growth, nutrient concentration and principal component analysis of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) seedlings grown in nutrient solution. *Australian Journal Crop Science*, 10, 425-432. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.03.p7477>
- BRAGA°, Francisco et al. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS!. *Revista Arvore*, v. 19, n. 1, p. 18, 1995.
- CIOTTA, Marlise Nara et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 33, p. 1161-1164, 2003.
- COELHO, Mariluzza Lacerda Pinto et al. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. *Cerne*, v. 10, n. 2, p. 184-195, 2004.
- CUPOLILLO, Fulvio; DE ABREU, Magda Luzimar; VIANELLO, Rubens Leite. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. *Revista Geografias*, p. 45-60, 2008.
- DUBOC, E. Requerimentos nutricionais de especies nativas: *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Le et Lang.(jatoba), *Copaifera langsdorffii* Desf.(Oleo Copaiba) e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.(Canafistula). 1994.
- EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Solos. **Relatório Técnico. Avaliação dos Impactos Causados ao Solo pelo Rompimento de Barragem de**

Rejeito de Mineração em Mariana, MG: Apoio ao Plano de Recuperação Agropecuária.

20p. 2015. Disponível em: < http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/566237/RESPOSTA_PEDIDO_Relatorio%20Tecnico_Avaliacao%20dos%20Impactos_Acidente%20Mariana_Embrapa.pdf> Acesso em: 19 fevereiro 2021.

EPSTEIN, Emanuel; BLOOM, Arnold J. Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives 2nd edn. Sunderland, Mass Sinaur, p. 292-305, 2005.

GUO, W., NAZIM, H., LIANG, Z., & YANG, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. Australian Journal of Crop Science, 4, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>

HAFSI, C., DEBEZ, A., & ABDELLY, C. (2014). Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades, 36, 1055-1070. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>

MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of the nutritional state of plants: principles and applications. Evaluation of the nutritional state of plants: principles and applications., 1989.

MALAVOLTA, Eurípedes; NETTO, Antonio Violante. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Piracicaba: Potafos, 1989

MENDONÇA, A. V. R. et al. Exigências nutricionais de Myracrodruon urundeuva Fr. All (aroeira do sertão). Cerne, Lavras, v. 5, n. 2, p. 65-75, 1999.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern. International Potash Institute, p. 687-695, 1987.

MINAS GERAIS. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. Secretaria de estado de desenvolvimento regional, política urbana e gestão metropolitana. Belo Horizonte, 2016

NOGUEIRA, E. M. Desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas em tecnossolo formado por rejeito de mineração de ferro na Bacia do Rio Doce. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 79 p. 2019.

RESENDE, C. F. A, FERNANDES, E. P., SILVA, M. F., & LEANDRO, W. M. (2010). Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. Bioscience Journal, 26, 367-375

RONQUIM, Carlos César. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010.

Seminário de Fertilidade do Solo, Manaus, 1982. 5 fotografia. Disponível em:

<https://blog.aegro.com.br/ctc-do-solo/>.

SILVA, Gilson Pereira et al. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.

SILVA, Tiago Roque Benetoli. Acidificação de um EOSSOLO QUARTZARÊ ICO em função da aplicação de nitrogênio oriundo de uréia e sulfato de amônio. Revista Cultivando o Saber, v. 2, n. 1, p. 32-37., 2009.

SORREANO, Maria Claudia Mendes et al. Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). Cerne, v. 17, p. 347-352, 2011

SORREANO, Maria Claudia Mendes; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BOARETTO, Antonio Eneidi. Guia de nutrição para espécies florestais nativas. Oficina de Textos, 2012.

SOUZA FILHO, A. P. S.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. Capacidade de absorção de nutrientes do capim-mMarandu (*Brachiaria brizantha*) e da planta daninha malva (*Urena lobata*) em função do pH. Planta daninha, v. 18, p. 443-450, 2000.

SOUZA, Patrícia Aparecida de; VENTURIN, Nelson; MACEDO, Renato Luiz Grisi de. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). Ciência Florestal, v. 16, n. 3, p. 261-270, 2006.

VENTURIN, N.; SOUZA, P.A.; MACEDO, R.L.G. de.; NOGUEIRA, F.D. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropapus* (DC.) Mcleish). Floresta, Curitiba, v. 35, n. 2, maio./ago. 2005. p. 211-219, 2005

VENTURIN, Nelson et al. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, p. 441-448, 1999.