

EVERSON KUHN SBRUZZI

**CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL PARA APLICAÇÃO NAS CULTURAS DO
FEIJÃO E DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Moreira
Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES, SC
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UESC

SBRUZZI, EVERSON KUHN
CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL PARA APLICAÇÃO NAS
CULTURAS DO FEIJÃO E DO MILHO / EVERSON KUHN
SBRUZZI. - Lages , 2017.
64 p.

Orientador: MARCELO ALVES MOREIRA
Co-orientador: LUCIANO COLPO GATIBONI
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2017.


1. SOLO. 2. RESÍDUO. 3. ELEMENTOS TRAÇO. 4.
GRÃO. 5. NUTRIENTES. I. MOREIRA, MARCELO ALVES. II.
GATIBONI, LUCIANO COLPO. , .III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo. IV. Título.

EVERSON KUHN SBRUZZI

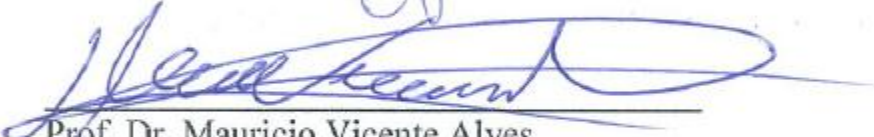
**CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL PARA APLICAÇÃO NAS CULTURAS DO
FEIJÃO E DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.


BANCA EXAMINADORA



Orientador: Dr. Marcelo Alves Moreira
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



Prof. Dr. Mauricio Vicente Alves
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC



Prof. Dra. Mari Lucia Campos
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Lages (SC), 17 de março de 2017.

Dedico este trabalho à minha família, pois sem eles, tudo seria mais difícil. Amo muito vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por todas as conquistas e a trajetória até a realização de mais um sonho, da concretização de mais uma etapa, de mais um objetivo, enfim, por tudo.

À Família, meus pais Armelindo Sbruzzi e Marlise Kuhn Sbruzzi, agradeço a cada dia por estarem ao meu lado, sempre e em tudo.

À minha irmã Aline Kuhn Sbruzzi Pasquali por estar sempre ao meu lado em todos os momentos.

À minha namorada Gabriela Naibo, por ter me apoiado em todos os momentos, com amor, dedicação e carinho.

Ao meu Orientador, Professor Marcelo Alves Moreira, por todos os ensinamentos, pela experiência acadêmica, técnica e profissional, pelo convívio e pela oportunidade do Mestrado.

Ao meu amigo e profissional que admiro muito Professor Mauricio Vicente Alves pela parceria e ajuda durante todos esses anos.

Ao grande amigo Élcio Bilibio Bonfada, pela parceria, pelas horas que passou me ajudando e apoiando durante esses dois anos de convívio, sabe que faz parte dessa conquista também meu irmão.

Aos amigos Marco, Gilmar, Gustavo, Ivan, Daniel e Vagner pelo convívio.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Química, e aos demais laboratórios do departamento de Ciência do Solo.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

À Unoesc e Celulose Irani pelo apoio e fornecimento de materiais para o estudo.

Aos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À Uniedu pela bolsa concedida.

“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar no sonho que se tem... Quem acredita sempre alcança!”

Renato Russo

RESUMO

SBRUZZI, Everson Kuhn. **CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL PARA APLICAÇÃO NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DO MILHO**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

O setor de celulose e papel tem tido um relevante crescimento, aumentando os resíduos depositados nas empresas. Muitos destes são oriundos de caldeiras utilizadas para gerar energia em seu processo de produção. Esses resíduos precisam de um destino adequado, diminuindo os impactos ambientais causados pelo incorreto descarte dos mesmos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da cinza de biomassa florestal sobre os elementos traço tóxicos e nutrientes presentes no solo, planta e grão da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) e nutrientes presentes no solo e planta na cultura do milho (*Zea mays*). O experimento foi conduzido entre janeiro a maio de 2016 em casa de vegetação utilizando vasos de 6 litros (0,006m³) com solo Nitossolo Vermelho. Os tratamentos foram baseados em diferentes dosagens de cinza de biomassa florestal 0; 4,5; 9; 13,5; e 18 t.ha⁻¹ (volume/volume) e adubação mineral para a cultura do feijão e 0; 10; 20; 30; e 40 t.ha⁻¹ (volume/volume) e adubação mineral para a cultura do milho. Foram analisadas as variáveis no feijão: altura de plantas; produtividade de massa seca da planta e grão; atributos químicos no solo, grão e planta; elementos-traço no solo e grão. Para o milho as variáveis foram: altura de plantas; área foliar; produtividade de massa seca; atributos químicos do solo e da planta. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão simples a 5% de significância. Para a cultura do feijão, a cinza aumentou a massa seca de plantas resultando em maior produtividade de grãos. O aumento da dose de cinza aumentou o teor de Mg e diminuiu o teor de Ca, porém N, P e K na planta não responderam a aplicação de cinza. Os elementos-traço não sofreram alterações no solo e no grão do feijão. No solo aumentou teores de K. A melhor dose encontrada foi 13,15 t.ha⁻¹, pois supre a necessidade de K obtidos através da recomendação, podendo esta ser utilizada em futuros estudos. Na cultura do milho a cinza aumentou o desenvolvimento das plantas, resultando em aumento de área foliar e massa seca. Atributos químicos do solo e planta foram alterados positivamente, mostrando que a cinza pode ser utilizada nestes cultivos agrícolas, pois a aplicação da cinza resultou em um aumento os teores de N, P, Ca e Mg na folha bandeira e também aumentou os teores de K, P e Mn no solo na cultura do milho. A dose de cinza de melhor resposta foi de 29 t.ha⁻¹, pois supre a necessidade de K obtidos através da recomendação, podendo esta ser utilizada em pesquisas futuras. A cinza de biomassa florestal pode trazer benefícios na agricultura, sem causar danos aos atributos químicos do solo e desenvolvimento das culturas de feijão e milho.

Palavras chave: Solo; Resíduo; Elementos-traço; Grão; Nutrientes.

ABSTRACT

SBRUZZI, Everson Kuhn. **ASH OF BIOMASS FOREST FOR APPLICATION IN BEAN AND CORN CROPS**. 2017. 64 p. Dissertation (Master in Soil Science) - State University of Santa Catarina, Lages, 2017.

The pulp and paper sector has had a significant growth, increasing the waste deposited in the companies. Many of these come from boilers used to generate power in their production process. These residues need an adequate destination, reducing the environmental impacts caused by incorrect waste disposal. The objective of this study was to evaluate the behavior of forest biomass ash on the metals and nutrients present in the soil, plant and grain of the bean (*Phaseolus vulgaris*) and maize (*Zea mays*). The experiment was conducted between January and May 2016 in a greenhouse using 6 liter pots (0,006m³) with Red Nitosol soil. The treatments were based on different dosages of forest biomass ash 0; 4,5; 9; 13.5; And 18 t.ha⁻¹ (volume / volume) and mineral fertilization for the bean crop and (0; 10; 20; 30; 40 t.ha⁻¹ (volume / volume) The variables were: plant height, yield of dry mass of the plant and grain, chemical attributes in the soil, grain and plant, heavy metals in the soil and grain. The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) and simple regression at 5% of significance for the chemical attributes in the bean plant the ash increased the Mg content and decreased the Ca content, but N, p and k in the plant did not respond to the application of ash. The trace elements did not change in the soil and grain of the beans. In the soil it increased levels of K. The best dose found was 13,15 t.ha⁻¹, since it supplies the need for K obtained through the recommendation, which can be used in future studies. In the corn crop the ash increased the development of the plants, resulting in increased leaf area and dry mass. Chemical attributes of the soil and plant were positively altered, showing that the ash can be used in these agricultural crops, because the application of ash resulted in an increase in N, P, Ca and Mg contents in the flag leaf and in the contents of K, P and Mn in the soil in the corn crop. The gray dose of the best response was 29 t.ha⁻¹, since it satisfies the need for K obtained through the recommendation, which can be used in future research. Forest biomass ash can bring benefits to agriculture without causing damage to soil chemical attributes and development of bean and corn crops.

Key words: Soil; Residue; Trace elements; Grain; Nutrients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Teores de K no solo após o desenvolvimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%. **significativo a 1%.	35
Figura 2 – Altura das plantas de feijão aos 28 DAS após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.....	37
Figura 3 – Produtividade de massa seca (MS) durante o desenvolvimento da cultura do feijão em função de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. (a) C1 = Coleta 1; C2 = Coleta 2; C3 = Coleta 3; R = Raíz; G = Grãos; (b) PT = Peso Total. ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%.....	38
Figura 4 – Teores de Ca (a) e Mg (b) na segunda coleta, em estágio de pleno florescimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%. **significativo a 1%.	39
Figura 5 – Teores de Mg (a), CTC efetiva (b), Mn (c), K (d) e P (e) no solo após o desenvolvimento da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%. **significativo a 1%..	48
Figura 6 – Área foliar da cultura do milho sob diferentes doses de cinza como fonte de adubação sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%.....	50
Figura 7– Altura das plantas de milho aos 21 DAS após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.....	51
Figura 8 – Produtividade de massa seca (MS) da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. (a) C1 = Coleta 1; C2 = Coleta 2; FB = Folha Bandeira; (b) C3 = Coleta 3; PT = Peso Total. ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. **significativo a 1%.....	53
Figura 9 – Teor foliar de N (a), P (b), K (c), Ca (d) e Mg (e) na folha bandeira da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. **significativo a 1%.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Caracterização do Nitossolo Vermelho utilizado no experimento.....	29
Tabela 2 –	Caracterização da cinza de biomassa florestal da empresa Celulose Irani utilizada no experimento.....	30
Tabela 3 –	Limites de detecção do aparelho no momento da realização da leitura das amostras.....	30
Tabela 4 –	Características de cinzas estudadas por diferentes autores.....	33
Tabela 5 –	Resultado do solo após adição de diferentes doses de cinza e o desenvolvimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	34
Tabela 6 –	Teores totais de elementos-traço no solo após cultivo do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	36
Tabela 7 –	Altura das plantas durante o desenvolvimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	37
Tabela 8 –	Teor de nutrientes na segunda coleta, em estágio de pleno florescimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	40
Tabela 9 –	Teor de nutrientes no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	40
Tabela 10 –	Resultados de teores de Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	41
Tabela 11 –	Resultados de teores de elementos traço no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	42
Tabela 12 –	Valor das estimativas dos contrastes para produtividade de grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	43
Tabela 13 –	Valor das estimativas dos contrastes para produção de MS total da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	43
Tabela 14 –	Resultado do solo após adição de diferentes doses de cinza e o desenvolvimento da cultura do milho.....	49
Tabela 15 –	Dados de alturas de plantas de milho durante um período de 90 DAS sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	51
Tabela 16 –	Valor das estimativas dos contrastes para área foliar da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	55
Tabela 17 –	Valor das estimativas dos contrastes para produtividade de MS total da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1.1	HIPÓTESES.....	22
1.1.2	OBJETIVO GERAL.....	22
1.2.1	Objetivos Específicos.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL.....	23
2.2	CULTURA DO FEIJÃO.....	25
2.3	CULTURA DO MILHO.....	26
3	CAPÍTULO I. DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE FEIJÃO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DA PLANTA E DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL	28
	RESUMO.....	28
3.1	OBJETIVO.....	28
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.2.1	Análises das amostras de solo e de plantas realizadas no experimento.....	31
3.2.2	Análises estatísticas.....	32
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
3.3.1	Caracterização da cinza de biomassa florestal.....	32
3.3.2	Atributos químicos do solo após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.....	33
3.3.3	Teores de elementos-traço no solo após a aplicação de cinza de biomassa florestal no cultivo de feijão.....	35
3.3.4	Altura e produtividade de MS das plantas de feijão após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.....	36
3.3.5	Teor de nutrientes presentes na planta de feijão em estágio de pleno florescimento e no grão da cultura.....	39
3.3.6	Níveis de Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn no grão de feijão após a aplicação de cinza de biomassa florestal.....	41
3.3.7	Níveis de elementos traço no grão de feijão após a aplicação de cinza de biomassa florestal.....	41
3.3.8	Análises de contrastes para produtividade de grãos e de MS total da cultura do feijão.....	42
3.4	CONCLUSÃO.....	44
4	CAPÍTULO II. DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DA PLANTA E DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL	45
	RESUMO.....	45
4.1	OBJETIVO.....	45
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.2.1	Análises das amostras de solo e de plantas realizadas no experimento.....	46
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.3.1	Atributos químicos do solo após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.....	47

4.3.2	Área foliar, altura de plantas e produtividade de massa seca das plantas de milho após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal	50
4.3.3	Teores de nutrientes na folha bandeira da cultura do milho.....	53
4.3.4	Análises de contrastes para produtividade de MS total e área foliar da cultura do milho.....	55
4.4	CONCLUSÃO.....	56
5	CONCLUSÃO GERAL	56
6	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, o uso de recursos madeireiros ganha mercado, pois o uso de biomassa é uma fonte de energia limpa para empresas madeireiras, porém é imprescindível a realização de estudos que visem reconhecer os impactos ambientais, ocasionados por resíduos industriais que geram a energia para a manutenção das empresas.

A cinza, como um resíduo da indústria florestal, tem um potencial de uso na agricultura, por este motivo o presente trabalho tem o intuito de avaliar a utilização da cinza como fertilizante em cultivos agrícolas, neste caso, com as culturas de milho e feijão. Ambas as culturas possuem grande representatividade de área cultivada, gerando renda e utilização para diversos fins, dentre eles, alimentação humana e animal. Assim, a cinza atualmente considerada um resíduo, subproduto das indústrias florestais, surge como uma alternativa de fonte de nutrientes.

A aplicação de cinza nos solos agrícolas tem recebido crescente interesse por parte da ciência atual, e mostra-se como uma alternativa viável e ecologicamente correta, pois possibilita o aproveitamento do resíduo, além de devolver ao ambiente parte dos nutrientes extraídos pelas plantas e armazenados na biomassa que fora retirada para a queima. Ademais, as cinzas contribuem para melhorias nas propriedades químicas, as quais dependem muito dos níveis de nutrientes presentes na composição de cada cinza, utilizada como fonte de nutrientes para o solo (FERREIRA; FAGERIA; DIDONET, 2012).

O feijão comum ou preto é o grão proveniente da espécie *Phaseolus vulgaris L.*, fisiologicamente desenvolvido e isento de impurezas e substâncias estranhas (MAPA, 2008). Por ser a leguminosa mais consumida pela população brasileira (OLIVEIRA et al., 1999), o feijão é considerado importante fonte proteica, calórica e de fibra alimentar (RAMIREZ-CARDENAS; LEONEL; COSTA, 2008).

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil, sendo um dos principais produtos em destaque, tanto em área plantada e números de exportação (PEDRINHO et al., 2010). No milho, os aumentos de produtividade através do melhoramento genético são evidentes; mas a baixa produtividade média nacional é diretamente ligada a fatores como a fertilidade do solo e o baixo nível de tecnologia adotada quando se adiciona ao solo (PEREIRA et al., 2015).

1.1 HIPÓTESES

A cinza pode ser uma alternativa na adubação das culturas do feijão e do milho.

A cinza pode aumentar a produtividade das culturas de feijão e milho.

A cinza de biomassa florestal produzida em forno de caldeira pode apresentar teores de elementos-traço no solo.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desenvolvimento das culturas feijão (*Phaseolus vulgaris*) e milho (*Zea mays*) cultivadas em um Nitossolo Vermelho distrófico, que sofreu aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal e os nutrientes presentes neste sistema.

1.2.1 Objetivos Específicos

1. Avaliar a cinza de biomassa florestal como fonte de nutriente para o desenvolvimento da cultura do feijão em casa de vegetação;
2. Avaliar os níveis de macronutrientes e elementos traço na cinza, no solo e no grão de feijão.
3. Avaliar a cinza de biomassa florestal como fonte de nutriente para a cultura do milho em casa de vegetação;
4. Avaliar os níveis de macronutrientes e elementos traço na cinza, no solo e na parte aérea do milho em casa de vegetação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL

A cinza de biomassa florestal é um resíduo sólido das indústrias de celulose e papel. A energia gerada no processo de produção da empresa é proveniente da queima de biomassa florestal, que pode ser utilizada como fertilizante em culturas florestais e agrícolas. Estima-se que anualmente sejam produzidos 750 milhões de toneladas cinza e somente 50% desse volume são utilizadas como substrato e fonte de adubos em florestas (IZQUIERDO; QUEROL, 2012).

O uso da cinza utilizados na produção vegetal tem como vantagem o destino correto para grande quantidade de resíduos industriais, que podem causar grandes impactos ambientais. Contudo, esta cinza pode atuar como fonte secundária de fertilizantes diminuindo dependências por adubos minerais, proveniente de rochas. Os adubos minerais são denominados fertilizantes químicos, responsáveis pela melhoria da fertilidade das grandes culturas, por isso possui alta demanda no mercado (BONFIM-SILVA, et al. 2013).

A utilização de cinzas em solos para fins agrícolas provém desde a origem da agricultura, com a derrubada e queima da mata gerando grande quantidade de resíduo sobre o solo (ALVES; SKORONSKI, 2011). O plantio ou semeadura das espécies produtoras de alimentos eram realizados após a queimada. Este sistema é conhecido como “agricultura itinerante”, sendo realizado em uma mesma área por dois a quatro anos, aproveitando assim os nutrientes deixados pelas cinzas. Este processo era feito sucessivamente, buscando sempre uma nova área. De uma forma geral, este sistema pode ser considerado ambientalmente correto e sustentável, pois após um longo período de pousio (25 a 30 anos), a vegetação se recuperava e a fertilidade do solo era melhorada pelo processo de formação do solo conhecido como biociclagem (KER et al., 2012).

A utilização de biomassa vegetal na geração de energia é indispensável pela demanda de energias sustentáveis e crescimento populacional, tornando assim o sistema de pousio ou “agricultura itinerante” insustentável. Na agricultura moderna o solo é utilizado intensivamente, exigindo uma reposição dos nutrientes de origem química ou orgânica retirados durante a safra (DADALTO; FULLIN, 2001).

Grande parte dos solos existentes no Brasil apresentam limitações relacionadas a sua baixa fertilidade natural (DADALTO; FULLIN, 2001). O cultivo intenso e contínuo das áreas agricultáveis acarreta no desequilíbrio da fertilidade do solo, ocasionando o surgimento de

deficiências minerais, podendo ser corrigidas com a utilização de nutrientes químicos ou orgânicos. Uma alternativa mais econômica e ecológica é a utilização de cinzas vegetais, que contribui para a fertilidade do solo, dando destino adequado ao resíduo que é produzido grandes quantidades (GUARIZ et al., 2009). Em estudos florestais, a utilização de cinzas como substituição e suplementação de adubos minerais ou orgânicos pode ser considerada uma alternativa viável, sendo necessário saber corretamente a dose a ser aplicada na espécie cultivada (SILVA et al., 2013).

A maior parte dos resíduos gerados nas empresas de celulose e papel é armazenada em depósitos ou aterros sanitários próximo das empresas. Esta produção possui baixa demanda e estão saturando os locais de depósito destes resíduos sendo necessários estudos para realização do descarte correto dos mesmos visando diminuir impactos ambientais. Segundo Kissinger et al. (2007), deve ser buscado novas maneiras para minimizar impactos gerados pela produção de resíduos.

As cinzas apresentam em sua composição quantidades desconhecidas de macro e micronutrientes, as quais devem ser analisadas e estudadas com critério, pois além dos nutrientes podem existir outras características como sua utilização na correção da acidez do solo (CAMPANHARO et al., 2008). São necessários estudos para conhecer o conteúdo da cinza, para assim determinar as quantidades de nutrientes adequadas em virtude dos efeitos no solo e na planta e sua viabilidade econômica (OLIVEIRA et al., 2006).

Os elementos As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn, U, Th e Cs, podem ser encontrados em cinzas. Estes são considerados como elementos que causam impacto ambiental negativo, de acordo com os seus níveis de concentração, e o acúmulo desses em excesso no solo pode levar a danos nas plantas e conseqüentemente causando a saúde dos seres humanos e animais (RAM; MASTO, 2014).

O uso de cinza pode causar problemas quando aplicado doses excessivas (GOMES, 1986), pois o equilíbrio catiônico para as plantas pode ser afetado (LOUE, 1978), ocorrendo o desbalanceamento nutricional às culturas (RAPOSO, 1963). Segundo Ignatieff; Page (1959) quando utilizado doses elevadas de cinza pode prejudicar as raízes das plantas, prejudicando o seu desenvolvimento, também pode ocorrer a salinização dos solos, o desbalanço de nutrientes, o acúmulo de contaminantes e a lixiviação ou escoamento superficial de nutrientes e contaminantes, comprometendo a produção das culturas e qualidade do solo e água (NASCIMENTO, 2013).

De acordo com estudo realizado por Wang et al. (2010) e Saarsalmi et al. (2012) a aplicação de cinza de biomassa florestal ao solo não causou aumentos significativos das

concentrações de metais, porém pode ocasionar danos, provocando desequilíbrio entre os nutrientes, diminuindo a disponibilidade ou até gerando toxidez para as plantas. Outros aspectos que devem ser considerados são a contaminação da água e solo no qual é aplicado à cinza (MAEDA et al., 2007a).

Conforme Horta et al. (2010) as cinzas podem apresentar variabilidade em sua composição, dependendo dos fatores ligados ao tipo de planta, condições edafoclimáticas, e processos industriais. As alterações químicas no solo são variáveis, pois o tipo de biomassa utilizada na queima podem modificar características da cinza vegetal. As cinzas de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) são ricas em fósforo e cálcio enquanto que bracatinga (*Mimosa scabrella*) somente potássio (OSAKI; DAROLT, 1991).

Em estudos com solo incubado o uso da cinza causou alterações nos atributos químicos e fonte de nutrientes, promovendo aumento nos níveis de pH, K, Ca, Mg e P, e diminuição de Al (ALVES; SKORONSKI, 2011).

De acordo com o trabalho realizado por Brand; Muniz (2012) a influência na composição química da cinza possui variação de acordo com a época de colheita e estocagem. Um estudo conduzido na Universidade Federal do Paraná (UFPR) mostrou que a aplicação de cinza no solo em doses crescentes levou ao aumento significativo no peso, diâmetro de cabeças, número de folhas por planta e produção total de alface, sendo que o maior incremento observado para as características analisadas ocorreu na aplicação de 10 a 15 t.ha⁻¹ de cinzas vegetais (BLANCO; NETO ZAMBON, 1993).

Segundo Gonçalves; Moro (1995) em estudo com amostras de solo incubadas com cinzas de uma fábrica de celulose e papel em Casa Branca – SP, verificou aumento nos níveis de pH e elementos (K, Ca, Mg, P) e redução do Al trocável, demonstrando o papel da cinza como agente melhorador dos atributos químicos do solo e fonte de nutrientes para as árvores.

A utilização de resíduos na agricultura possui importância na atual situação mundial, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas para utilização da cinza de biomassa florestal no solo para a diminuição dos impactos ambientais e uso como produto na agricultura.

2.2 CULTURA DO FEIJÃO

O Feijão Comum ou Feijão Preto pertence à espécie *Phaseolus vulgaris* L. sendo a leguminosa mais consumida pelos humanos no Brasil. É considerado importante fonte de proteína, calorias e fibras para a alimentação humana. A cultura possui ciclo curto, grande

exigência nutricional e palhada de fácil decomposição. O uso de cinzas pode reduzir a necessidade de insumos para as culturas na adubação de manutenção e fornecer aumento na fertilidade do solo (MAEDA et al., 2008).

Cerca de 54,4% da produção mundial de feijão são oriundas de basicamente de quatro países e os maiores produtores são Brasil e Índia, Myanmar, China, Estados Unidos e México (CTSBF, 2012). O Brasil é o maior produtor de feijão, com produção média 3,5 milhões toneladas/ano, destas, cerca de 60% da produção nacional vem da agricultura familiar que é destinada grande parte dessa produção ao consumo interno, com consumo *per capita* de 16,5 kg.ano⁻¹ (MAPA, 2016a).

A Região Sul do País corresponde a 30% da produção nacional de feijão carioca e preto. Quando considerando somente o feijão preto, o Sul responde a mais de 80% da produção. O maior estado produtor é o Paraná com cerca de 23% da produtividade e Santa Catarina com 4,4% da produção mundial com médias de produção nas lavouras de 1589,38 kg ha⁻¹, constituindo uma importante fonte de renda para produtores (CEPA, 2016).

O feijão mais consumido no Brasil é o tipo carioca, principalmente no estado de São Paulo e o segundo mais consumido é o tipo preto nos estados de Santa Catarina, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul (YOKOYAMA, 2002).

Vários fatores interferem na escolha para produzir feijão como ter uma garantia de preço mínimo de venda, custo de produção, liquidez da cultura, produtividade e disponibilidade de recursos para financiamento da safra (CTSBF, 2012).

Na maioria dos solos do Brasil, a reserva de nutrientes não é suficiente para suprir a quantidade exigida pelas culturas e exportada nas colheitas. A adubação é uma prática indispensável para a manutenção da produtividade do feijoeiro ao longo dos anos. A adubação é apenas um dos fatores que afetam a produtividade dessa cultura e para se alcançar o resultado desejado é essencial à existência de condições ambientais favoráveis e manejo adequado do solo e da cultura, em todas as etapas da produção (CTSBF, 2012).

2.3 CULTURA DO MILHO

O milho pertence à espécie *Zea mays* e ao grupo de plantas C4, família Poaceae, sendo uma cultura anual com alta taxa fotossintética, se adaptando a diversas condições de campo e ambiente. Têm um consumo mínimo de 350 a 500 mm de água, justificando o plantio em períodos chuvosos (LANDAU et al., 2010).

Devido à alta taxa fotossintética, o milho possui rendimentos elevados quando aumenta a intensidade luminosa, sendo que a maior sensibilidade de luz ocorre nos primeiros 15 dias (fase reprodutiva), após o pendoamento este aproveitamento de luz depende da estrutura da planta e a distribuição espacial das folhas (LANDAU et al., 2010).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho e a primeira ideia foi o cultivo do grão para atender ao consumo na mesa dos brasileiros, porém o principal destino da safra até hoje são as indústrias de rações para animais (MAPA, 2016b).

De acordo com informações da Conab (2016), na safra de 2015/2016 no Brasil foi plantada uma área total de 15,66 milhões de ha, sendo que destes, 3,82 milhões de ha foram plantados no sul do país e destes, 370 mil ha em Santa Catarina. A produtividade média no Brasil foi de 5.107 kg.ha⁻¹, na Região Sul foi 6.533 kg.ha⁻¹ e em Santa Catarina foi de 7.560 kg.ha⁻¹. A produção total do país foi de 79,96 milhões de toneladas, na Região Sul foram 24,99 milhões de toneladas e em Santa Catarina 2,80 milhões de toneladas.

A extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta de acordo com o aumento na produtividade, porém a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, cálcio, magnésio e fósforo respectivamente. As quantidades requeridas de micronutrientes pelas plantas de milho são muito pequenas (COELHO, 2006).

Os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos (colmos, folhas e grãos) do milho. No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo é translocado para os grãos (77 a 86 %), o nitrogênio (70 a 77 %), o enxofre (60 %), o magnésio (47 a 69 %), o potássio (26 a 43 %) e o cálcio (3 a 7 %). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho que devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada (COELHO, 2006).

O milho é pouco tolerante a condições de acidez e toxidez de alumínio. Solos com saturação de alumínio da CTC efetiva maior do que 20 % causam limitações no rendimento do milho, porém isso tudo depende da ocorrência de déficit hídrico, teores de matéria orgânica e fósforo no solo e híbrido de milho utilizado (COELHO, 2006).

Os tópicos 3 e 4 foram redigidos como artigo científicos com objetivo de facilitar a compreensão da execução e dos resultados obtidos no presente estudo.

3. CAPÍTULO I. DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE FEIJÃO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DA PLANTA E DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da planta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) em um solo com aplicação de cinza de biomassa florestal e os nutrientes presentes no mesmo. O experimento foi conduzido entre janeiro a maio de 2016 na casa de vegetação utilizando vasos de 6 litros ($0,006\text{m}^3$) com solo Nitossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos foram baseados em diferentes dosagens de cinza de biomassa florestal 4,5; 9,0; 13,5; e 18,0 t.ha^{-3} (volume/volume) e adubação mineral (AM), também foi realizado um tratamento como controle (sem AM e cinza). Foram analisadas as variáveis: altura de plantas; produtividade de massa seca e grão; atributos químicos no solo, grão e planta; elementos-traço no solo e grão, antes e após o cultivo. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a análise de regressão simples a 95% de significância. A cinza de biomassa florestal melhorou o desenvolvimento das plantas e massa seca da cultura resultando no aumento da produtividade de grãos. Para os atributos químicos na planta a cinza aumentou o teor de Mg e diminuiu o teor de Ca, porém N, P e K na planta não responderam a aplicação de cinza. Os elementos-traço não sofreram alterações no solo e no grão do feijão. No solo aumentou teores de K. A melhor dose encontrada foi 13,15 t.ha^{-1} de acordo com a produtividade obtida, a qual também supre a necessidade de K obtidos através da recomendação, podendo esta ser utilizada em futuros estudos.

Palavras chave: Nutrientes; *Phaseolus vulgaris*; Elementos-traço.

3.1 OBJETIVO

Avaliar o desenvolvimento da planta da cultura do feijão em um Nitossolo Vermelho distrófico com aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal e os nutrientes presentes neste sistema.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, no município de Lages - SC, durante o período de 90 dias (janeiro a abril de 2016). O solo utilizado foi Nitossolo Vermelho, descrito conforme EMBRAPA (2013), que é um solo muito fácil de ser encontrado em lavouras da região de Xanxerê, local onde será aplicada a cinza. Este foi coletado em uma lavoura no município de Xanxerê - SC (26°52'37''S e 52°24'15''O), a cerca de 780 metros de altitude em relação ao nível do mar. A caracterização química e física do Nitossolo Vermelho (Tabela 1), foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solo da Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc), de acordo com metodologia descrita em Tedesco et al., (1995).

Tabela 1 - Caracterização química e teor de argila do Nitossolo Vermelho utilizado no experimento.

Profundidade (cm)	Argila (%)	pH H ₂ O	Ind. SMP	P --(mg.dm ⁻³ --	K	M.O. (%)	Al	Ca	Mg	H+Al ------(cmol _c .dm ⁻³)-----	T	V (%)
0-20	52	5,7	5,4	7,08	162,7	2,63	0	10,39	5,59	8,99	25,39	64,58

M.O. = Matéria Orgânica; T = CTC pH7,0; V = Saturação de Bases; H+Al estimado pelo índice SMP.

A cinza empregada neste estudo foi proveniente da queima da biomassa florestal de pinus e eucalipto, utilizada para gerar energia nas caldeiras da unidade industrial da empresa Celulose Irani S.A., localizada na Vila Campina da Alegria, no município de Vargem Bonita – SC, que cedeu o material.

As características químicas da cinza estão descritas na Tabela 2. A digestão realizada para a abertura das amostras de cinza foram de acordo com o protocolo da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1994) Method 3051, para análise de sedimentos, lama, solo e óleos. Esse método foi baseado em digestão via úmida, realizada em sistema fechado, em micro-ondas. As leituras das amostras foram realizadas por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado (ICP-OES). As análises de pH, PRNT, PN e nitrogênio (N) presentes na cinza foram realizadas empregando-se a metodologia descrita por Tedesco et al., (1995).

Tabela 2 - Caracterização da cinza de biomassa florestal da empresa Celulose Irani utilizada no experimento.

pH	PRNT	PN	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Al		
7,20	11,90	12,50	30	0,18	0,29	1,28	3,04	2,95	0,04	4,87		
Cu	Zn	Na	Ba	Cd	Co	Cr	Ga	Li	Sr	Tl	Fe	Mn
57,04	28,92	1050	200	12	52	<LD	100	<LD	100	200	13,00	2,27

MS= Matéria seca; <LD = Menor que o limite de detecção do aparelho.

Os limites de detecção (LD) do aparelho de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado (ICP-OES) obtidos no momento da leitura estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Limites de detecção do aparelho no momento da realização da leitura das amostras.

Elemento	Al	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga
LOQ mg/L	0,009	0,056	0,006	0,046	0,155	0,006	0,009	0,028	0,027	0,023	0,015
Elemento	Li	Mn	Na	Ni	Pb	Se	Sr	Te	Tl	Zn	
LOQ mg/L	0,0002	0,007	0,101	0,011	0,085	0,454	0,001	2,276	0,368	0,016	

O solo foi alocado em vasos com capacidade para 6 kg (0,006 m³) com adição de doses de cinza de biomassa florestal, de acordo com os tratamentos: T1: sem adição de cinza (testemunha), T2: 4,5 t.ha⁻¹, T3: 9,0 t.ha⁻¹, T4: 13,5 t.ha⁻¹, T5: 18 t.ha⁻¹ e T6: AM (adubação mineral). A dose de 9 t.ha⁻¹ foi calculada com base na análise de solo (Tabela 1) e recomendações para a cultura de acordo com Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004, buscando expectativa de rendimento de 2,5 t.ha⁻¹ para a cultura. A adubação foi baseada em suprir a necessidade de K da cultura e do solo, utilizando como fonte de nutriente o teor de K da cinza, sendo que o T3 supriu toda a necessidade de K com a aplicação da cinza, T2 foi 0,5 vezes a dose, T4 foi 1,5 vezes a dose, T5 foi 2 vezes a dose e T6 supriu o K dose com adubo mineral, que foi adubada com 86, 21 kg.ha⁻¹ de Cloreto de Potássio (KCl), 170,73 kg.ha⁻¹ de Super Fosfato Triplo (SFT) e 111,11 kg.ha⁻¹ de ureia.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições. A cinza foi adicionada ao vaso "volume/volume" de solo e cinza.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 14 de janeiro de 2016, com 3 sementes por vaso. Foram realizadas 3 coletas de planta durante o desenvolvimento da cultura, sendo elas: Coleta 1 (C1), foi realizada no dia 04 de fevereiro de 2016, com 21 dias após a semeadura (DAS), a Coleta 2 (C2) foi realizada no dia 03 de março de 2016, no estágio de florescimento pleno (R1) da cultura aos 49 DAS. Por fim a Coleta 3 (C3) foi realizada no dia 14 de abril de

2016, aos 90 DAS no final do ciclo da cultura, onde foi possível realizar a coleta da parte aérea (C3) e da raiz (R) e grão que a planta produziu (G).

A irrigação dos vasos foi realizada diariamente, buscando atingir o ponto de friabilidade do solo, sendo determinado através de uma pesagem pré definida de amostra, que foi colocada secar a 45°C até peso constante, desta foi retirada 100g e adicionado água até o ponto em que um torrão se desfaz sob leve pressão entre o indicador e o polegar, onde foram gastas 16 ml de água. Se para 100g foram utilizadas 16 ml de água, para 6 kg de solo utilizados nesse experimento, foi utilizado 960 ml de água. Utilizou-se água deionizada para que não houvesse interferência da água no decorrer do desenvolvimento do experimento.

Durante o ciclo da cultura foi detectado presença do inseto Tripes (*Caliothrips phaseoli*) e da doença Oídio (*Eryshiphe polygoni*), estes foram controlados com aplicação de inseticida Connect a base de Imidacloprido e Beta-Ciflutrina na dose de 750 mL.ha⁻¹ e fungicida Cercobin 700WP, a base de Tiofanato-metílico, na dose de 70 g.ha respectivamente.

3.2.1 Análises das amostras de solo e de plantas

Para avaliar o desenvolvimento e crescimento das plantas, foram realizadas medidas de altura aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a semeadura (DAS), onde foram medidas de todas as plantas presentes em cada vaso desde a base da planta até o ápice das folhas mais altas. Para estas medições foi utilizada uma régua graduada em cm, e os valores foram apresentados em cm.planta⁻¹. Foram medidas somente até os 35 DAS pois os ramos começaram a quebrar com a movimentação dos vasos.

As amostras das coletas C1, C2, C3, R e G após realizadas, foram levadas a estufa a 55°C (temperaturas superiores a esta podem alterar as concentrações dos nutrientes) até peso constante, para avaliar a Massa Seca (MS) por diferença de peso, as mesmas foram moídas no moedor de tecido Willey, para realizar o preparo das amostras e determinar os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg).

Após o término do experimento, foi coletada uma amostra de solo de cada vaso para análises químicas do solo, que foi secado em estufa com circulação de ar forçado em 45°C, (temperaturas altas podem alterar os valores de P e K) até atingir peso constante, em seguida as amostras foram moídas e peneiradas a 2mm. Os teores de B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Cr, Fe, Ga, Li, Na, Ni, Pb, Se, Sr, Te, Tl e Zn totais no solo e no grão da cultura, foram avaliados acordo com método descrito em EMBRAPA (2009), realizando uma digestão nitro-

perclórica, via úmida no bloco digestor em sistema aberto, com ácido nítrico e ácido perclórico na proporção 3:1, a análise de teores dos elementos foi feita por ICP - OES.

As análises de solo e de tecido para macro nutrientes foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al., (1995), onde para o tecido, foram analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg, através de uma digestão sulfúrica, e para o solo foram analisados P e K extraídos por Mehlich 1, onde o P foi determinado por colorimetria e K por fotometria de chama, Ca, Mg, Mn e Al por extração em KCl 1M, onde Ca, Mg e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e Al por titulação, H+Al foi estimado pelo índice SMP onde $H+Al = (e^{(10,665-1,1483SMP)}/10)$, CTC efetiva pela soma de Ca + Mg + K + Na + Al, CTC pH7 pela soma de Ca + Mg + K + Na + (H+Al), Saturação por Bases calculada por $V = (((Ca + Mg + K + Na) * 100) / CTC \text{ pH}7,0)$, Saturação por Al foi calculada por $((Al * 100) / CTC \text{ efetiva})$, Matéria Orgânica foi extraída por solução sulfocrômica e determinada por colorimetria e, pH em água e pH em SMP foram determinados pelo potenciômetro.

3.2.2 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos submetidos à análise de regressão, e contrastes tendo intervalo de confiança de 95% através do software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014). Para a execução dos gráficos foi utilizado o software Sigma Plot 10.0.

Para produtividade de grão e MS total da cultura foram realizados contrastes, onde foram analisados: Doses de Cinza (0,0; 4,5; 9,0; 13,5; 18,0) vs AM objetivando encontrar o efeito entre a dose do material e a AM.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Caracterização da cinza de biomassa florestal.

A tabela 4 apresenta um comparativo entre as características de diferentes cinzas de biomassa florestal no decorrer dos últimos 22 anos de pesquisa. A variação entre os valores apresentados pelos autores é resultado dos diferentes materiais que deram origem à cinza. Malavolta (1989), relatou que a cinza possui uma grande quantidade de potássio na forma de óxidos K_2O , e de carbonato (K_2CO_3), o que explica os teores de K presentes na cinza. A cinza utilizada neste estudo tem teores de N, P, K, Ca e Mg similares aos demais autores.

Tabela 4 - Características de cinzas estudadas por diferentes autores.

Características	Moro; Gonçalves (1995)	Dallago (2000)	Vogel et al. (2003)	Maeda, Silva e Cardoso (2008)	Silva et al. (2009)	O autor (2017)
PN (%)	*	*	*	*	6,50	12,50
PRNT (%)	*	*	*	*	*	11,90
pH	*	*	*	*	*	7,20
N (g.kg ⁻¹)	1,50	4,90	3,93	1,04	1,60	1,80
P (g.kg ⁻¹)	1,10	3,50	3,50	3,02	1,80	2,90
K (g.kg ⁻¹)	4,50	7,40	17,48	11,95	13,00	12,80
Ca (g.kg ⁻¹)	18,40	391,00	64,08	26,02	19,00	30,40
Mg (g.kg ⁻¹)	1,60	9,60	7,94	4,18	5,30	29,50
S (g.kg ⁻¹)	0,50	6,50	*	0,62	1,00	0,40
Fe (g.kg ⁻¹)	*	*	*	15,48	13,00	13,00
Mn (g.kg ⁻¹)	*	*	*	1,16	1,10	2,27
Cu (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	34,00	39,00	57,04
Zn (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	48,20	100,00	28,92
B (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	59,80	*	<LOQ
Na (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	1002,00	768,00	1050,00
Cd (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	0,30	12,00
Cr (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	35,00	40,00	<LOQ
Ba (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	*	200,00
Ga (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	*	100,00
Sr (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	*	100,00
Tl (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	*	200,00
Ni (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	22,00	<LOQ
Pb (mg.kg ⁻¹)	*	*	*	*	4,00	<LOQ

*Não determinados pelo(s) autor(es).

3.3.2 Atributos químicos do solo após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.

Os resultados de pH em H₂O e SMP (Tabela 5) não apresentaram diferença significativa, devido ao baixo poder de neutralização (PN) da cinza utilizada (Tabela 2). Conforme Silva et al. (2013), utilizou cinza de biomassa como corretivo de acidez observaram que o efeito da cinza foi baixo para neutralizar a acidez do solo como o presente estudo. Segundo Silva et al. (2009), o pH do solo não foi alterado com a aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal.

Para alguns autores, ao contrário do observado no presente estudo, a aplicação de cinza pode alterar significativamente o pH e neutralizar a acidez do solo (BONFIM-SILVA et al., 2015a; MAEDA et al., 2007b; SOUZA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al. 2006a; BALBINOT Jr. et al. 2010; MÄKELA et al. 2012; TERRA et al. 2014; MARCO et al. 2012).

Para os valores de MO, Al, Ca, Mg, CTC efetiva, CTC pH7,0, H+Al, Sat. Bases, Sat. Al e P no solo a aplicação de cinza até 18 t.ha⁻¹ não resultou em diferença significativa, demonstrando que a cinza utilizada não tem capacidade de alterar esses atributos. Porém, alguns trabalhos reportam que a cinza pode diminuir os teores de Al (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2009), aumentar os teores de Ca, P (SILVA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al., 2014; MARCO et al., 2012) e aumentar Mg, K e da CTC efetiva do solo (SILVA et al., 2013).

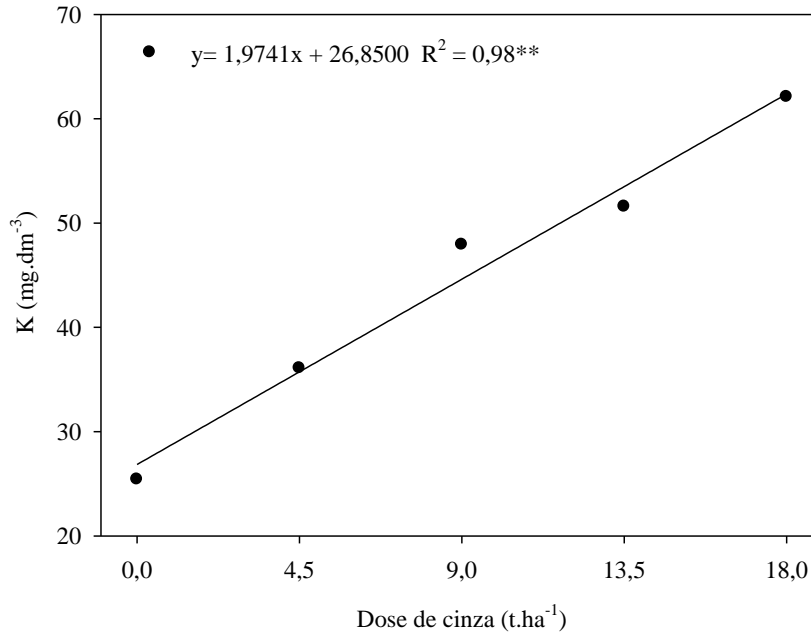
Tabela 5 - Fertilidade do solo após adição de diferentes doses de cinza e o cultivo da cultura do feijão em um Nitossolo Vermelho.

DAS	Unidades	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
		0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
pH SMP		5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	ns	1,75
pH H ₂ O		5,6	5,5	5,6	5,6	5,6	ns	0,61
MO	%	3,4	3,37	3,32	3,56	3,57	ns	7,80
Al		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ns	0,00
Ca		6,25	6,01	6,52	6,12	6,17	ns	19,21
Mg		2,23	2,57	2,21	2,79	2,28	ns	26,68
CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³	8,46	8,57	7,77	8,94	8,91	ns	19,54
CTC pH7,0		15,38	15,07	14,46	15,28	15,42	ns	13,14
H+Al		6,83	6,39	6,60	6,25	6,37	ns	11,15
Sat. Bases		55,32	57,48	53,52	58,89	58,57	ns	8,68
Sat. Al		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ns	0,00
Mn	mg.dm ⁻³	10,67	10,66	11,10	10,06	10,47	ns	17,98
P		12,67	13,27	15,00	14,37	13,69	ns	17,65

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%.

O teor de K aumentou linearmente, de 26,85 mg.dm⁻³ na dose 0 t.ha⁻¹ para 62,38 mg.dm⁻³ na dose de 18 t.ha⁻¹ (figura 1). O incremento no intervalo de cada dose foi de 8,87 mg.dm⁻³, ou seja, 1,97 mg.dm⁻³ a cada tonelada de cinza aplicada. Semelhante ao observado no presente estudo, Arruda et al., (2016) observaram aumento nos teores de K com aplicação de 15 t.ha⁻¹ de cinza. Silva et al., (2009) em estudo realizado com até 24 t.ha⁻¹ de cinza encontraram aumento linear para o teor de K. Também foram observados aumento nos teores de K por Maeda et al., (2008) aplicando doses de até 80 t.ha⁻¹.

Figura 1 - Teores de K no solo após o desenvolvimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. **significativo a 1%.



3.3.3 Teores de elementos-traço no solo após a aplicação de cinza de biomassa florestal no cultivo de feijão.

A aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal, observou-se que a mesma não alterou os teores totais de B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Cr, Fe, Ga, Li, Na, Ni, Pb, Se, Sr, Te Tl e Zn no solo. A diminuição do teor disponível de Cu e Zn também foi observado por Nascimento (2013). Segundo Souza (2015) os teores de Cd nos solos da crosta terrestre variam de 0,1 a 0,2 mg.kg⁻¹, o Ni esta em torno de 20 mg.kg⁻¹ e Ba pode varias de 22,3 mg.kg⁻¹ nos Latossolos até 235,8 mg.kg⁻¹ nos Chernossolos.

Tabela 6 - Teores totais de elementos-traço no solo após cultivo do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

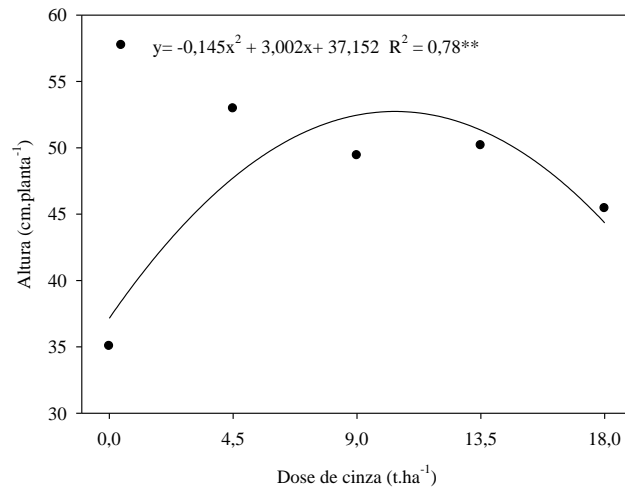
DAS	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0	
B (mg.kg)	30,44	37,42	32,66	35,90	30,31	38,26
Ba (mg.kg)	39,42	52,66	47,38	51,19	45,94	32,01
Be (mg.kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
Bi (mg.kg)	788,78	1197,11	991,42	1026,41	837,64	32,87
Cd (mg.kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
Co (mg.kg)	10,02	14,61	11,95	13,29	11,52	29,98
Cr (mg.kg)	32,11	33,03	28,88	34,41	36,04	42,08
Cu (mg.kg)	136,38	182,95	154,2	174,49	152,23	34,32
Fe (mg.kg)	24152,26	30305,81	27473,35	30040,61	27497,20	23,20
Ga (mg.kg)	204,49	298,12	243,67	265,16	221,69	33,12
Li (mg.kg)	47,01	62,83	51,2	60,91	54,76	35,35
Na (mg.kg)	676,45	333,32	313,38	319,81	315,13	86,88
Ni (mg.kg)	30,97	39,52	33,94	38,78	35,05	29,58
Pb (mg.kg)	17,51	22,56	19,2	20,71	19,14	33,39
Se (mg.kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
Sr (mg.kg)	9,95	14,03	12,96	14,05	12,06	31,90
Te (mg.kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
Tl (mg.kg)	2,34	6,31	2,48	4,14	3,94	68,76
Zn (mg.kg)	59,63	76,63	65,75	75,09	63,30	32,73

<LD= abaixo do limite de detecção do aparelho.

3.3.4 Altura e produtividade de MS das plantas de feijão.

A altura de plantas (Tabela 7) foi possível observar que nos 7, 14 e 35 dias do desenvolvimento das plantas de feijão, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Aos 21 e 28 DAS o modelo de regressão linear e quadrático foram os que melhor se ajustaram aos dados, porém com baixos valores de R². O R² foi maior para 28 DAS onde a maior altura foi de 52,46 cm na dose de 10,35 t.ha⁻¹, que melhor respondeu a aplicação de cinza (Figura 2).

Figura 2. Altura das plantas de feijão aos 28 DAS após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.



Segundo Bonfim-Silva et al. (2015a), ao avaliar o efeito da cinza de biomassa no crescimento das plantas de algodão, observaram influência positiva na altura de plantas com a aplicação de cinza. Prado (2003) encontrou efeito positivo da aplicação de cinza como substrato no crescimento de mudas de goiabeira. Mandre et al. (2006), verificaram aumento na altura de pinheiros três anos após a aplicação de cinza de biomassa florestal e Solla-Gullón et al. (2006) constataram aumento no crescimento de coníferas após a aplicação de 10 e 20 t.ha⁻¹ da cinza de biomassa florestal.

Tabela 7 - Altura das plantas durante o desenvolvimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

DAS	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
	cm						
7	9,08	10,75	10,91	8,91	10,58	ns	17,09
14	14,50	16,41	17,25	15,41	16,08	ns	11,67
21	21,45	24,28	25,51	23,58	24,96	$y = 0,1407x + 22,6933$ $R^2 = 0,40^*$	9,48
28	35,05	52,95	49,41	50,16	45,43	$y = -0,144x^2 + 3,002x + 37,1519$ $R^2 = 0,78^{**}$	20,02
35	70,66	98,16	77,33	90,00	76,66	ns	18,57

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%.

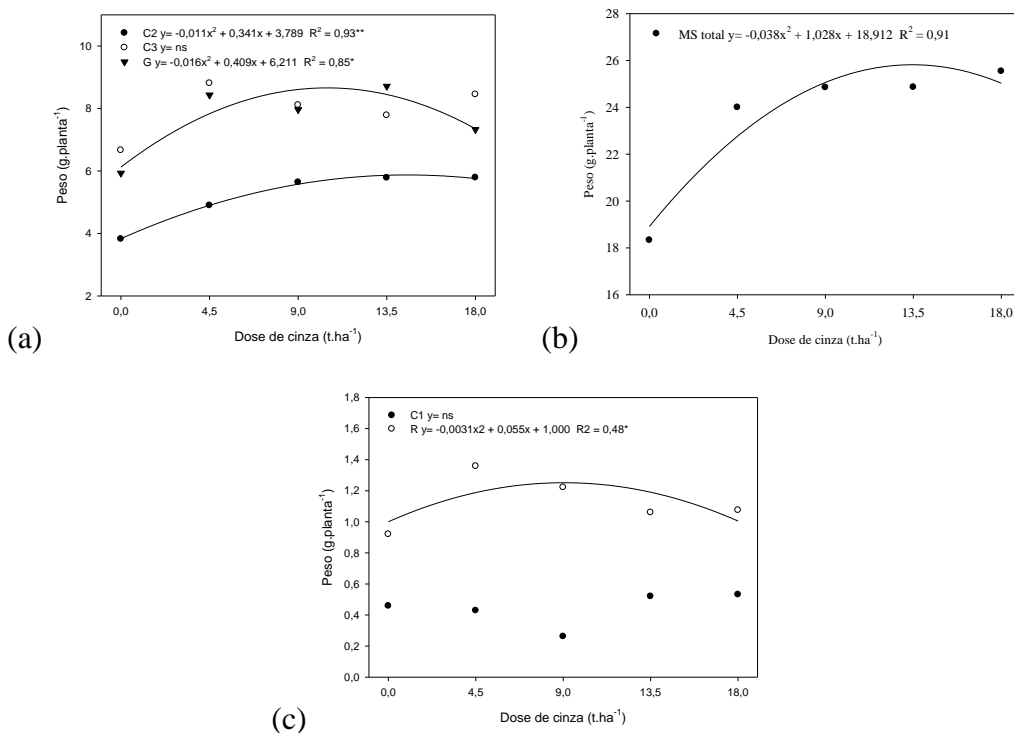
Houve efeito significativo para a produtividade de massa seca (MS) de plantas de feijão em função das doses crescentes de cinza de biomassa florestal (Figura 3). De maneira geral, os efeitos observados se ajustaram aos modelos quadráticos de regressão. A aplicação

de diferentes doses de cinza não interferiu significativamente na produtividade de MS da parte aérea das coletas C1 (Figura 3c) e C3 (Figura 3a). No entanto, na coleta (C2) quando a planta se encontrava no estágio de florescimento, o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de 6,36 g.planta⁻¹ para a dose de 15,5 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de produção de MS no estágio de florescimento da cultura (Figura 3a).

Na produtividade de grãos, o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de 8,86 g.planta⁻¹ para a dose de 12,78 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de produção de MS de grãos (Figura 3a).

Em estudos semelhantes, utilizando doses crescentes de cinza, houve incremento de massa seca de parte aérea em várias culturas como: algodão (BONFIM-SILVA et al., 2015a), pinheiro (MANDRE et al., 2006), pinus (SOLLA-GULLÓN et al., 2006), azevém e aveia (PARK et al., 2012), milho (PITA, 2009), capim-marandú (BEZERRA, 2013; BONFIM-SILVA et al., 2013), alface (SOUZA et al., 2013), girassol (BONFIM-SILVA et al., 2015b), pastagem de hemátia cv. (HANISH; FONSECA, 2014) e *Vicia benghalensis* L. (MARQUES, 1998). No entanto, para eucalipto não foram observados aumentos de produção inicial de MS (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2009).

Figura 3 - Produtividade de massa seca (MS) durante o desenvolvimento da cultura do feijão em função de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. (a) C2 = Coleta 2; C3 = Coleta 3; G = Grãos. (b) PT = Peso Total. (c) C1 = Coleta 1; R = Raíz. ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%.

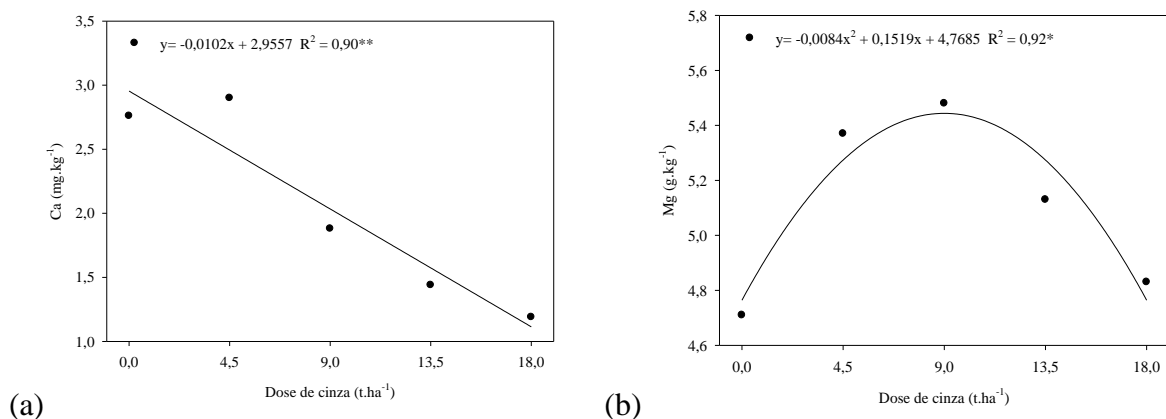


3.3.5 Teor de nutrientes presentes na planta de feijão em estágio de pleno florescimento e no grão da cultura.

A aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal causou efeito significativo sobre os teores de Ca e Mg na planta de feijão, em pleno florescimento. A figura 4a apresenta o modelo de regressão linear para teor de Ca. O teor de Ca diminuiu de 2,95 g.kg⁻¹ na dose 0 t.ha⁻¹ para 1,12 g.kg⁻¹ na dose de 18 t.ha⁻¹, reduzindo assim 0,45 g.kg⁻¹ a cada intervalo de dose, ou seja, 0,10 g.kg⁻¹ a cada tonelada de cinza aplicada.

O teor de Mg, o modelo de regressão quadrática foi o que melhor se ajustou, onde se observou valor de 5,45 g.kg⁻¹ para a dose de 9,04 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta do teor de Mg na planta, em pleno florescimento (Figura 4b).

Figura 4 - Teores de Ca (a) e Mg (b) na segunda coleta, em estágio de pleno florescimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%. **significativo a 1%.



Para os teores de N, P e K em pleno florescimento do feijão, não foi encontrado resposta significativa à aplicação de cinza como fonte de adubação (Tabela 8).

Observou-se que os teores de N, P, K e Ca foram menores, e o teor de Mg foi maior, isso ocorreu devido a fonte de adubação utilizada a qual tem altos teores de Mg, o que acabou elevando os teores de Mg no solo e diminuindo os teores de Ca e K que atuam diretamente com o Mg.

De acordo com trabalho realizado por Bonfim-Silva et al. (2014), utilizando Capins Marandu e Xaraés (*Brachiaria brizantha*), observaram aumentos significativos nas concentrações de N, P e K na parte aérea dessas gramíneas com o uso de cinza de biomassa. Pessoa et al., (2000) observaram o aumento do teor de N nas folhas do feijoeiro de 26,6 g.kg⁻¹

¹ (testemunha) para 45,5 g.kg⁻¹ quando da combinação da aplicação de cinza no solo e adubação foliar com molibdênio.

Segundo Malavolta et al., (1997) as faixas de nutrientes para as folhas no florescimento da planta de feijão são: N (30-50 g.kg⁻¹), P (2,0-3,0 g.kg⁻¹), K (20-25 g.kg⁻¹), Ca (15-20 g.kg⁻¹) e Mg (4,0-7,0 g.kg⁻¹), ao observar a tabela 8 e figura 4 os valores de N, P, K e Ca estão abaixo da faixa adequada, somente o Mg se encontra dentro da faixa indicada por Malavolta et al., (1997). Já para Wilcox; Fageria (1976) as faixas de nutrientes para as folhas no florescimento da planta de feijão são: N (28-60 g.kg⁻¹), P (2,5-5,0 g.kg⁻¹), K (18-50 g.kg⁻¹), Ca (8,0-30 g.kg⁻¹) e Mg (2,5-7,0 g.kg⁻¹), ao observar a tabela 8 e figura 4 os valores de P, K e Ca estão abaixo da faixa adequada, porém N e Mg estão dentro da faixa adequada de acordo com os autores.

Tabela 8. Teor de nutrientes na coleta C2, em estágio de pleno florescimento da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
N (g.kg⁻¹)	29,02	28,17	28,78	29,43	25,95	ns	14,92
P (g.kg⁻¹)	1,50	1,55	1,71	1,65	1,75	ns	17,17
K (g.kg⁻¹)	11,32	13,33	10,45	12,46	13,93	ns	19,38

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Na análise da quantidade de nutrientes nos grãos (Tabela 9), não foi observado resultado significativo nas diferentes doses de cinza aplicadas. Os teores de Ca no grão, são valores que estão dentro da faixa apontada como adequada de 0,30 a 2,80 g.kg⁻¹, segundo estudo realizado por Mesquita et al., (2007).

Tabela 9. Teor de nutrientes no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
N (g.kg⁻¹)	39,63	37,91	41,06	37,74	39,37	ns	7,20
P (g.kg⁻¹)	4,77	4,69	4,75	4,43	5,02	ns	7,65
K (g.kg⁻¹)	8,68	8,50	8,59	8,41	8,31	ns	5,58
Ca (g.kg⁻¹)	1,28	1,15	1,14	1,27	1,13	ns	21,37
Mg (g.kg⁻¹)	1,94	1,86	1,80	1,88	1,81	ns	7,55

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

3.3.6 Níveis de Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn no grão de feijão após a aplicação de cinza de biomassa florestal.

Os teores de Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn no grão diminuíram com o aumento da dose de cinza aplicada. Este comportamento pode estar relacionado com a produção de grãos da cultura. Por exemplo, para o elemento Fe na dose de 0,0 t.ha⁻¹, quando se multiplica o teor (66,10 mg.kg⁻¹) pela MS (5,93 g.planta⁻¹) e divide por 1000 g, obtemos o valor de 0,39 mg de Fe, porém na dose de 18,0 t.ha⁻¹, quando se multiplica o teor (43,03 mg.kg⁻¹) pela MS (7,32 g.planta⁻¹) e divide por 1000 g obtemos o valor de 0,31 mg de Fe (Tabela 10).

Tabela 10. Resultados de teores de Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Característica	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
Al (mg.kg ⁻¹)	18,10	15,91	10,05	7,96	3,51	y = -0,8250**x + 18,5307 R ² = 0,98	60,54
B (mg.kg ⁻¹)	32,79	33,48	32,15	25,43	30,12	ns	36,09
Cu (mg.kg ⁻¹)	11,59	8,39	8,89	7,32	7,6	y = 0,0173**x ² - 0,5126x + 11,2707 R ² = 0,86	10,89
Fe (mg.kg ⁻¹)	66,1	47,06	52,21	41,79	43,03	y = -1,1425**x + 60,3219 R ² = 0,68	19,31
Mn (mg.kg ⁻¹)	13,59	13,64	14,32	15,2	14,23	ns	16,37
Zn (mg.kg ⁻¹)	37,08	31,04	32,34	25,25	27,72	y = -0,544**x + 35,588 R ² = 0,73	9,43

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. **significativo a 1%.

3.3.7 Níveis de elementos-traço no grão de feijão após a aplicação de cinza de biomassa florestal.

Os teores de elementos-traços no grão diminuíram com o aumento da dose de cinza aplicada. Este comportamento pode estar relacionado com a produção de grãos da cultura. E seguem o mesmo raciocínio dos teores de Fe citados anteriormente (Tabela 11).

Pode-se notar que não houve diferença estatística para os teores de Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Pb, Sr, Te e Tl ou seja, a cinza não interfere nas quantidades desses elementos traço no grão de feijão (Tabela 11).

Tabela 11. Resultados de teores de elementos-traço no grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Característica	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0		
Ba (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Be (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Bi (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Cd (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Co (mg.kg⁻¹)	0,101	0,027	0,064	0,029	0,046	y= -0,0027*x + 0,079 R ² = 0,34	75,64
Cr (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Ga (mg.kg⁻¹)	0,51	0,23	0,22	0,21	0,18	y= -0,0151*x + 0,4083 R ² = 0,87	21,17
Li (mg.kg⁻¹)	0,73	0,27	0,21	0,15	0,15	y= -0,028**x + 0,5595 R ² = 0,68	25
Ni (mg.kg⁻¹)	1,092	0,43	0,49	0,37	0,5	y= -0,027*x + 0,8242 R ² = 0,45	79,26
Pb (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Sr (mg.kg⁻¹)	3,25	3,06	3,03	3,38	3,56	ns	25,4
Te (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-
Tl (mg.kg⁻¹)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	ns	-

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%. <LD= abaixo do limite de detecção do aparelho.

3.3.8 Análises de contrastes para produtividade de grãos e de MS total da cultura do feijão.

Após realizar análise de contrastes na produtividade de grão da cultura do feijão, para avaliar a diferença entre a testemunha, diferentes doses de cinza e adubação mineral encontraram-se os resultados da Tabela 12.

As análises de contrastes realizadas para a produtividade de grãos de feijão demonstram diferença significativa entre o solo contra a cinza e a adubação mineral, o que comprova que a cinza e a adubação mineral tem capacidade de alterar a produtividade de grão de feijão, porém nos contrastes realizados entre as diferentes doses de cinza de biomassa florestal e a adubação mineral, não foi possível observar diferença estatística, o que comprova nas condições em que o estudo foi realizado, que a cinza não difere da adubação mineral (Tabela 12).

Tabela 12. Valor das estimativas dos contrastes para produtividade de grão da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Teste t	Pr (t)
S. vs C. e A.M.	-2,247	0,854	-2,63	0,013
4,5 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-1,667	1,103	-1,511	0,141
9 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-1,127	1,103	-1,021	0,315
13,5 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-1,987	1,103	-1,801	0,082
18 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-0,397	1,103	-0,36	0,722
TOTAL	5			

S= solo; C= cinza; A.M.= adubação mineral. **significativo a 1%.

Após realizar análise de contrastes na produção de MS total da cultura do feijão, para avaliar a diferença entre a testemunha, diferentes doses de cinza e adubação mineral encontraram-se os resultados da Tabela 13.

A produção de MS total da planta feijão mostra diferença significativa entre o solo contra a cinza e a adubação mineral, o que comprova que a cinza e a adubação mineral tem capacidade de alterar a produção de MS total da planta feijão, porém nos contrastes realizados entre as diferentes doses de cinza de biomassa florestal e a adubação mineral, não foi possível observar diferença estatística, o que comprova que nas condições em que o estudo foi realizado que a cinza não difere da adubação mineral (Tabela 13).

Tabela 13. Valor das estimativas dos contrastes para produção de MS total da cultura do feijão sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Teste t	Pr (t)
S. vs C. e A.M.	-5,512	1,342	-4,108	0,000**
4,5 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-1,542	1,733	-0,89	0,381
9 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-0,812	1,733	-0,468	0,643
13,5 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-1,47	1,733	-0,848	0,403
18 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-0,79	1,33	-0,456	0,652
TOTAL	5			

S= solo; C= cinza; A.M.= adubação mineral. **significativo a 1%.

3.4 CONCLUSÃO

A cinza de biomassa florestal aumentou a produtividade de grãos e massa seca, sendo a melhor dose de 13,15 t.ha⁻¹.

O teor de Mg na planta aumentou com o aumento da dose de cinza até 9,04 t.ha⁻¹, os teores de N, P e K não diferiram e o teor de Ca diminuiu com o aumento das doses de cinza aplicadas.

Os teores de nutrientes e elementos-traço nos grãos de feijão não tiveram diferença significativa entre as diferentes doses de cinza aplicadas.

Os teores de K no solo aumentaram de acordo com o aumento das doses aplicadas.

Os teores de nutrientes e elementos-traço no solo após o cultivo de feijão não tiveram diferença significativa entre as diferentes doses de cinza aplicadas.

4. CAPÍTULO II. DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DA PLANTA E DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da planta da cultura do milho (*Zea mays*) em um solo com aplicação de cinza de biomassa florestal e os nutrientes presentes no mesmo. O experimento foi conduzido entre janeiro a maio de 2016 na casa de vegetação utilizando vasos de 6 litros ($0,006\text{m}^3$), com solo Nitossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos foram baseados em diferentes dosagens de cinza de biomassa florestal (10; 20; 30; e 40 t/ha (v/v)), adubação mineral e um controle sem a aplicação de cinza. Foram analisadas as variáveis: altura de plantas; área foliar; produtividade de massa seca; atributos químicos no solo e na planta após o cultivo do milho. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a análise de regressão simples a 95% de significância. A cinza aumentou o desenvolvimento das plantas, resultando em aumento de área foliar e massa seca. Atributos químicos do solo e planta foram alterados positivamente, mostrando que a cinza pode ser utilizada nestes cultivos agrícolas, pois a aplicação da cinza resultou em um aumento os teores de N, P, Ca e Mg na folha bandeira e nos teores de K, P e Mn no solo na cultura do milho. A dose de cinza de melhor resposta foi de $29\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, pois supre a necessidade de K obtidos através da recomendação, podendo esta ser utilizada em pesquisas futuras.

Palavras chave: Nutrientes; *Zea mays*; Resíduo de queima.

4.1 OBJETIVO

Avaliar o desenvolvimento da planta da cultura do milho (*Zea mays*) em um Nitossolo Vermelho distrófico com aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido conforme a descrição feita no CAPÍTULO I (pág. 20). O solo foi alocado em vasos com capacidade para 6 kg ($0,006\text{ m}^3$), com adição de doses de cinza de biomassa florestal, de acordo com os tratamentos: T1: sem adição de cinza (testemunha), T2: $10,0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, T3: $20,0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, T4: $30,0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, T5: $40,0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ e T6: AM (adubação mineral). Todas

as doses foram calculadas com base na análise de solo (Tabela 1), e as recomendações para a cultura, de acordo com Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004, buscando expectativa de rendimento de 12,0 t.ha⁻¹ para a cultura. A adubação foi baseada em suprir a necessidade de K da cultura e do solo, utilizando como fonte de nutrientes o teor de K da cinza utilizada no experimento, sendo que o T3 supriu toda a necessidade de K com a aplicação da cinza, T2 foi 0,5 vezes a dose, T4 foi 1,5 vezes a dose, T5 foi 2 vezes a dose e T6 supriu o K dose com adubo mineral, que foi adubada com 189,65 kg.ha⁻¹ de Cloreto de Potássio (KCl), 475,61 kg.ha⁻¹ de Super Fosfato Triplo (SFT) e 422,22 kg.ha⁻¹ de ureia.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições. A cinza foi adicionada ao vaso "volume/volume" de solo e cinza.

A semeadura do milho foi realizada no dia 21 de janeiro de 2016, com 3 sementes por vaso. Foram realizadas 3 coletas de plantas durante o desenvolvimento da cultura, sendo elas: Coleta (C1) foi realizada no dia 11 de fevereiro de 2016, com 21 DAS, a Coleta (C2) foi realizada no dia 17 de março de 2016 aos 55 DAS, onde foi realizada a análise de área foliar da planta. Quando a cultura atingiu a fase de pendoamento com 83 DAS, coletou-se a folha oposta e abaixo da espiga, conhecida como folha bandeira para realizar análise de macro nutriente do tecido vegetal. A Coleta (C3) foi realizada no dia 21 de abril de 2016 aos 90 DAS para avaliação de MS e macro nutrientes da cultura.

A desmontagem do experimento com a coleta da planta final para avaliar a MS e macronutrientes, foi realizada no dia 21 de abril de 2016, com 90 DAS, pois foi o momento em que a planta estabilizou o seu crescimento, devido ao espaçamento do vaso ser limitado.

A irrigação dos vasos foi realizada diariamente, buscando atingir o ponto de friabilidade do solo, que foi determinado através de uma pesagem pré definida de amostra, que foi colocada secar a 45°C até peso constante, desta foi retirada 100g e adicionado água até o ponto em que um torrão se desfaz sob leve pressão entre o indicador e o polegar, onde foram gastas 16 ml de água. Se para 100g foram utilizadas 16 ml de água, para 6 kg de solo utilizados nesse experimento, foi utilizado 960 ml de água. Utilizou-se água deionizada para que não houvesse interferência da água no decorrer do desenvolvimento do experimento.

4.2.1 Análises das amostras de solo e de plantas realizadas no experimento

Para avaliar o desenvolvimento e crescimento das plantas, foram realizadas medidas de altura aos 7, 14, 21, 28, 35, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS), onde foram medidas de todas as plantas presentes em cada vaso, desde a base da planta até o ápice das folhas mais

altas, e submetidas a uma média de altura por vaso. Para estas medições foi utilizada uma régua graduada em cm, e os valores foram apresentados em cm.planta^{-1} . Foram medidas somente até os 90 DAS, pois o vaso foi um fator limitante do experimento, o qual estabilizou o desenvolvimento da cultura.

A análise de área foliar da cultura do milho foi realizada aos 55 DAS através do Scanner Li-Cor, o qual mede a área foliar em cm^2 .

As amostras das coletas C1, C2, C3 e FB após realizadas, foram levadas a estufa a 55°C (temperaturas superiores a esta podem alterar as concentrações dos nutrientes) até peso constante, para avaliar a Massa Seca (MS) por diferença de peso, as mesmas foram moídas no moedor de tecido Willey para realizar o preparo das amostras e determinar os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg). As análises de solo e tecido e foram realizadas conforme descrito no Capítulo I (pág. 23).

Realizou-se os contrastes para área foliar e MS total da cultura, onde foram realizados os seguintes contrastes em cada análise: Doses de Cinza (0,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0) vs AM objetivando encontrar o efeito entre a dose do material e a AM.

As análises estatísticas para ajuste de regressão e a confecção dos gráficos foram realizadas conforme descrito no Capítulo I (pág. 23).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

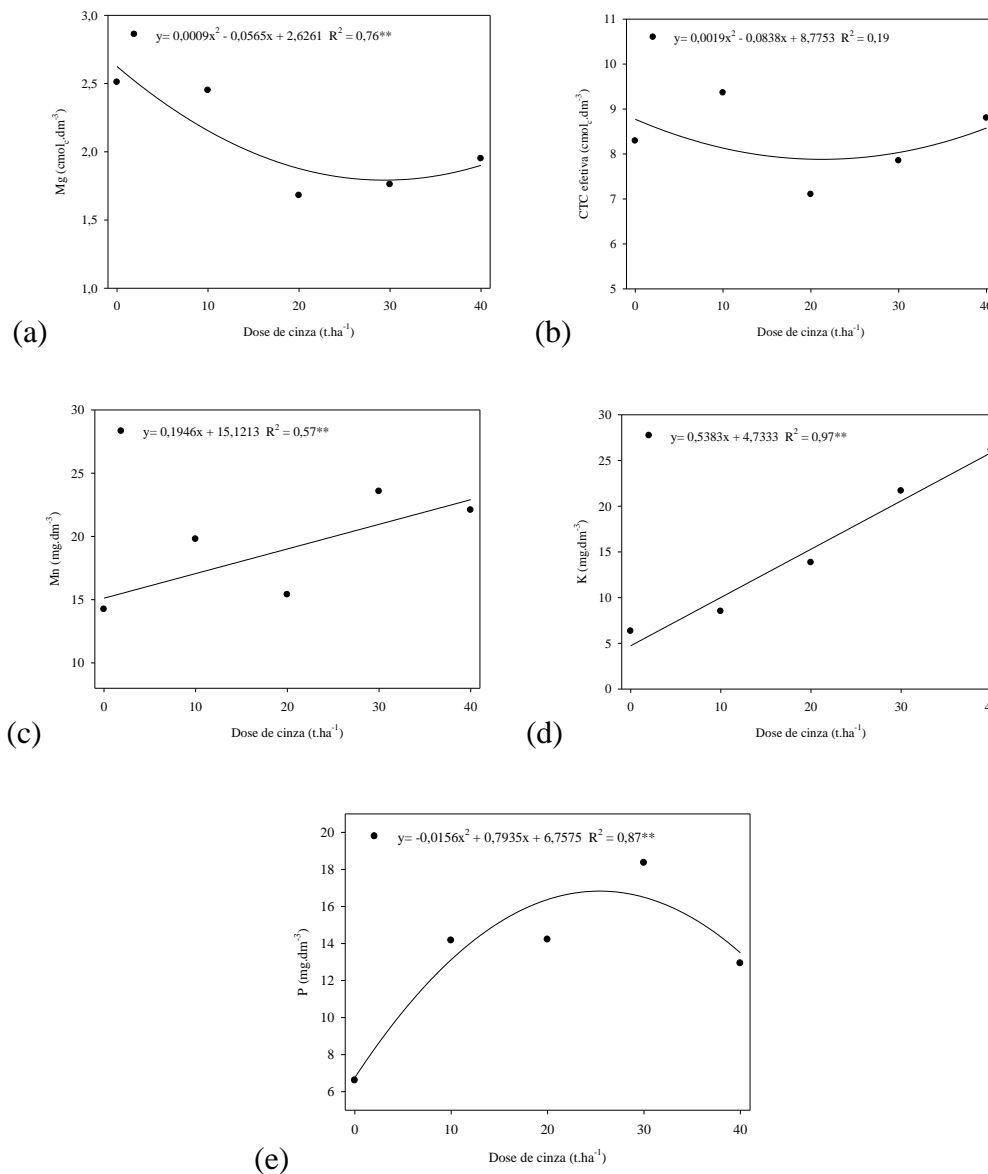
4.3.1 Atributos químicos do solo após o cultivo de milho com aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.

A cinza de biomassa aplicada ao solo tem capacidade de alterar as características químicas do solo, isto em função da composição de seu próprio material. Para os teores de Mg no solo (Figura 5a), o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de $1,79 \text{ mg.dm}^{-3}$ para a dose de $31,39 \text{ t.ha}^{-1}$, a qual confere a mínima resposta de Mg. Porém em trabalho similar ao presente estudo, Silva et al. (2013) e Barreto (2008) observaram aumento significativo no teor de Mg do solo. Os teores de CTC efetiva no solo (Figura 5b), o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de $7,88 \text{ mg.dm}^{-3}$ para a dose de $22,05 \text{ t.ha}^{-1}$ que confere a mínima resposta de CTC efetiva.

O comportamento do Mn (Figura 5c), onde o modelo de regressão linear foi o que melhor se ajustou, o teor de Mn aumentou de $15,12 \text{ mg.dm}^{-3}$ na dose 0 t.ha^{-1} para $22,91$

mg.dm⁻³ na dose de 40,0 t.ha⁻¹. O incremento foi de 0,19 mg.dm⁻³ a cada tonelada de cinza aplicada. Na figura 5d, foi possível observar o comportamento do K, onde o modelo de regressão linear foi o que melhor se ajustou, o teor de K aumentou de 4,73 mg.dm⁻³ na dose 0 t.ha⁻¹ para 25,87 mg.dm⁻³ na dose de 40,0 t.ha⁻¹. O incremento foi de 0,53 mg.dm⁻³ a cada tonelada de cinza aplicada. Os resultados encontrados no presente estudo do aumento dos teores de K no solo foram similares ao descritos por Arruda et al. (2016) e Silva et al. (2013). Os teores de P no solo (Figura 5e), o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de 16,50 mg.dm⁻³ para a dose de 25,43 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de P.

Figura 5 - Teores de Mg (a), CTC efetiva (b), Mn (c), K (d) e P (e) no solo após o desenvolvimento da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%. **significativo a 1%.



Para o pH em H₂O e SMP (Tabela 14) não houve diferença significativa, o que já era esperado devido ao baixo poder de neutralização (PN) da cinza utilizada (Tabela 2). Para alguns autores, ao contrário do observado no presente estudo, a aplicação de cinza pode alterar significativamente o pH e levar a neutralização da acidez do solo (BONFIM-SILVA et al., 2015a; MAEDA et al., 2007b; SOUZA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al. 2006a; BALBINOT Jr. et al. 2010; MÄKELA et al. 2012; TERRA et al. 2014; MARCO et al. 2012).

Silva et al. (2013), utilizou cinza de biomassa como corretivo de acidez e obtiveram valores mais próximos com os obtidos nesse estudo, onde o efeito da cinza foi baixo para neutralizar a acidez do solo. Segundo Silva et al. (2009), o pH dos solos não foi alterado com a aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal.

Para os valores de pH em H₂O, SMP, MO, Al, Ca, CTC pH 7,0, H+Al, Sat. Bases e Sat. Al presentes no solo, ao aplicar diferentes doses de cinza até 40 t.ha⁻¹ não foi encontrado diferença significativa entre os tratamentos realizados no presente estudo, mostrando que a cinza não tem capacidade de alterar esses atributos no solo quando se aplica uma dose de até 40 t.ha⁻¹ cultivados com a cultura do milho. Ao contrário do que aconteceu no presente estudo, alguns trabalhos reportam que a cinza pode diminuir os teores de Al (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2009), H+Al (ARRUDA et al., 2016) e aumentar os teores de Ca, P (SILVA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al., 2014; MARCO et al., 2012), Mg, K e da CTC efetiva do solo (SILVA et al., 2013).

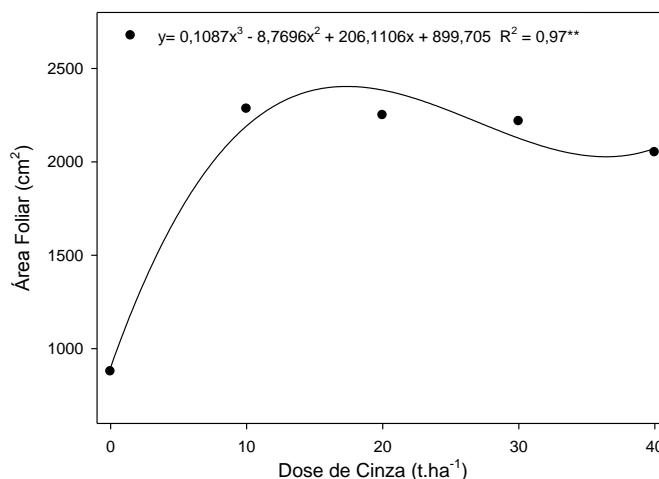
Tabela 14. Resultado do solo após adição de diferentes doses de cinza e o desenvolvimento da cultura do milho.

DAS		Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					CV (%)
		0	10	20	30	40	
pH SMP		5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	2,13
pH H ₂ O		5,6	5,5	5,6	5,6	5,6	1,26
MO	%	3,13	2,82	3,3	3,38	3,51	17,94
Al		0,35	0,47	0,23	0,30	0,31	48,74
Ca		5,41	6,41	5,15	5,73	6,47	11,07
CTC pH7,0	cmol _c dm ⁻³	15,77	16,49	14,29	15,01	15,7	8,79
H+Al		7,83	7,6	7,41	7,46	7,21	12,91
Sat. Bases		50,56	53,96	48,18	50,32	54,08	6,93
Sat. Al		4,22	5,1	3,27	3,87	3,57	45,1

4.3.2 Área foliar, altura de plantas e produtividade de massa seca das plantas de milho após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.

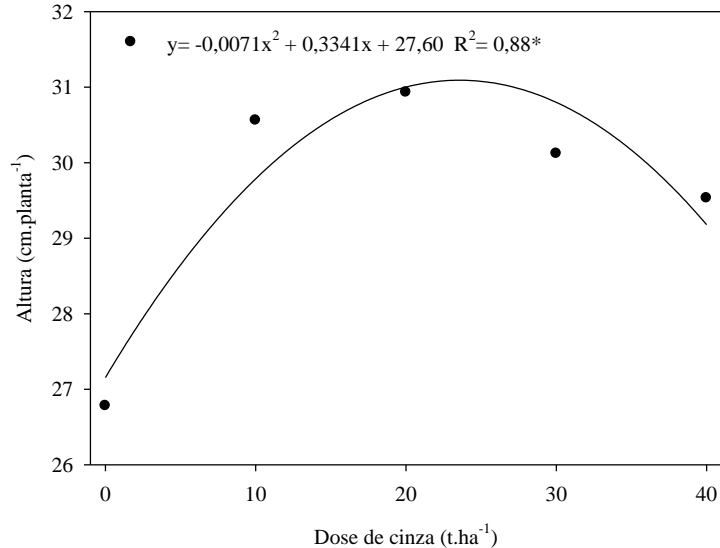
A aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal causou efeito significativo sobre a área foliar da cultura do milho (Figura 6), onde o modelo de regressão cúbico foi o que melhor se ajustou, se encontrou valor de 2.387,53 cm².planta⁻¹ para a dose de 18 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de área foliar. Isso confirma que a aplicação de cinza de biomassa florestal teve aumento na área foliar das plantas até 18 t.ha⁻¹ podendo resultar em maior produtividade das culturas.

Figura 6 - Área foliar da cultura do milho sob diferentes doses de cinza como fonte de adubação sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. *significativo a 5%.



Para a altura de plantas (Tabela 15) foi possível observar que nos 7 e 14 DAS do desenvolvimento das plantas de milho, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Aos 21, 28, 35, 60 e 90 DAS o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados. O R² foi maior aos 21 DAS onde houve efeito quadrático entre as doses de cinza, e a maior altura foi de 31,00 cm de altura na dose de 23,53 t.ha⁻¹, a qual melhor respondeu a aplicação de cinza (Figura 7).

Figura 7. Altura das plantas de milho aos 21 DAS após a aplicação de doses de cinza de biomassa florestal.



Nas demais alturas (28, 35, 60 e 90 DAS), as diferentes doses aplicadas se desenvolveram mais em relação a testemunha, o que mostra o efeito positivo da aplicação de cinza de biomassa florestal (Tabela 15). Resultados semelhantes ao presente trabalho apontam efeitos positivos no crescimento de plantas de algodão (BONFIM-SILVA et al., 2015a), goiabeira (PRADO, 2003), pinheiro (MANDRE et al., 2006) e pinus (SOLLA-GULLÓN et al., 2006).

Tabela 15. Dados de alturas de plantas de milho durante um período de 90 DAS sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

DAS	Dose de cinza (t.ha ⁻¹)					Equação	CV (%)
	0	10	20	30	40		
	cm						
7	5,41	5,5	5,58	5,25	5,58	ns	12,41
14	19,33	20,25	19,91	18	19,58	ns	10,71
21	26,78	30,56	30,93	30,12	29,53	$y = -0,0071x^2 + 0,3341x + 27,6 \quad R^2 = 0,88^*$	7,99
28	30,83	43,5	42,66	39,66	40,66	$y = -0,0182x^2 + 0,8869x + 32,6571 \quad R^2 = 0,70^{**}$	10,39
35	38,54	54,37	53,33	49,58	50,83	$y = -0,0227x^2 + 1,1086x + 40,8214 \quad R^2 = 0,69^{**}$	10,35
60	66,07	121,18	118,85	110,5	113,28	$y = -0,0791x^2 + 3,9999x + 73,4175 \quad R^2 = 0,76^{**}$	10,74
90	99,1	181,76	178,28	165,75	169,92	$y = -0,1185x^2 + 5,9997x + 110,1249 \quad R^2 = 0,80^{**}$	11,05

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. *significativo a 5%. **significativo a 1%.

Houve efeito significativo para a produtividade de massa seca (MS) de plantas de milho em função das doses crescentes de cinza de biomassa florestal. De maneira geral, os

efeitos observados se ajustaram aos modelos quadráticos de regressão, sendo que nas doses de máxima eficiência agrônômica o efeito ocorreu de maneira mais acentuada.

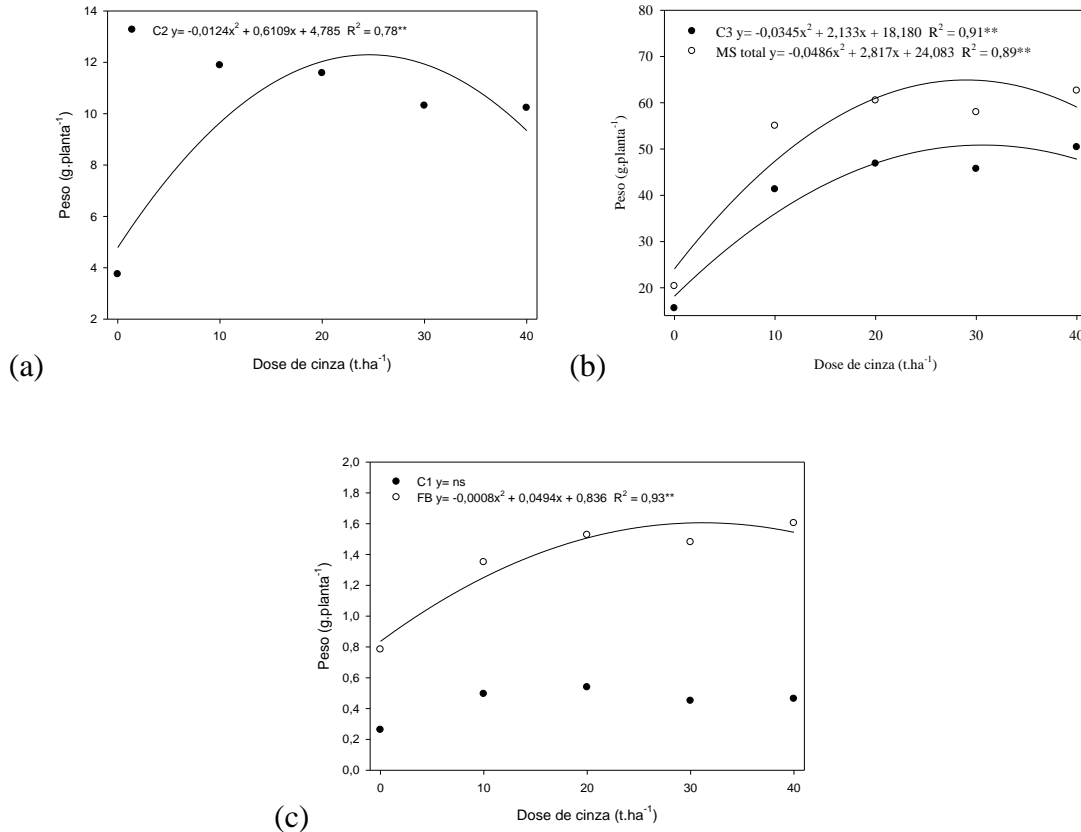
Observou-se na coleta (C2), que o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou onde se encontrou valor de 12,03 g.planta⁻¹ para a dose de 24,63 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de produção de MS na C2 (Figura 8a).

Na coleta (C3), o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou onde se encontrou valor de 50,85 g.planta⁻¹ para a dose de 30,91 t.ha⁻¹, que confere a máxima resposta de produção de MS na C3 (Figura 8b). Para a produção de MS total, o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de 64,88 g.planta⁻¹ para a dose de 28,98 t.ha⁻¹, que confere a máxima resposta de produção de MS total (Figura 8b).

A aplicação de diferentes doses de cinza não interferiu significativamente a produtividade de MS da parte aérea da coleta C1 (Figura 8c). Para produção de MS da folha bandeira o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de 1,60 g.planta⁻¹ para a dose de 30,87 t.ha⁻¹ que confere a máxima resposta de produção de MS da folha bandeira (Figura 8c).

A adição de cinza no solo aumentou a produção total de massa seca na cultura do milho. Em estudos semelhantes, utilizando cinza, houve incremento de massa seca em algodão (BONFIM-SILVA et al., 2015a), pinheiro (MANDRE et al., 2006), pinus (SOLLAGULLÓN et al., 2006), azevém e aveia (PARK et al., 2012), milho (PITA, 2009), capim-marandú (BEZERRA, 2013; BONFIM-SILVA et al., 2013), alface (SOUZA et al., 2013), girassol (BONFIM-SILVA et al., 2015b), pastagem de hemátia cv. (HANISH; FONSECA, 2014) e *Vicia benghalensis* L. (MARQUES, 1998). No entanto, para eucalipto não foram observados aumentos de produção inicial de MS (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2009).

Figura 8 - Produtividade de massa seca (MS) da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. (a) C2 = Coleta 2; (b) C3 = Coleta 3; PT = Peso Total. (c) C1 = Coleta 1; FB = Folha Bandeira; ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro. **significativo a 1%.



4.3.3 Teores de nutrientes na folha bandeira da cultura do milho.

Observou-se que para o teor de N na folha bandeira (Figura 9), o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de $23,47 \text{ g.kg}^{-1}$ para a dose de $28,07 \text{ t.ha}^{-1}$ que confere a máxima resposta ao teor de N na folha bandeira. Para o teor de P, o modelo de regressão quadrático foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de $2,56 \text{ g.kg}^{-1}$ para a dose de $23,11 \text{ t.ha}^{-1}$ que confere a máxima resposta ao teor de P na folha bandeira (Figura 9b).

Na figura 9c, foi possível observar o teor de K na folha bandeira da cultura do milho, não teve diferença significativa em função das doses aplicadas. Para o teor de Ca na folha bandeira, o modelo de regressão cúbico foi o que melhor se ajustou, onde se encontrou valor de $3,91 \text{ g.kg}^{-1}$ para a dose de 40 t.ha^{-1} , que confere a máxima resposta ao teor de Ca na folha bandeira (Figura 9d). Para o teor de Mg, o modelo de regressão quadrático foi o que melhor

se ajustou, onde se encontrou valor de $3,95 \text{ g.kg}^{-1}$ para a dose de $25,38 \text{ t.ha}^{-1}$ que confere a máxima resposta ao teor de Mg na folha bandeira (Figura 9e).

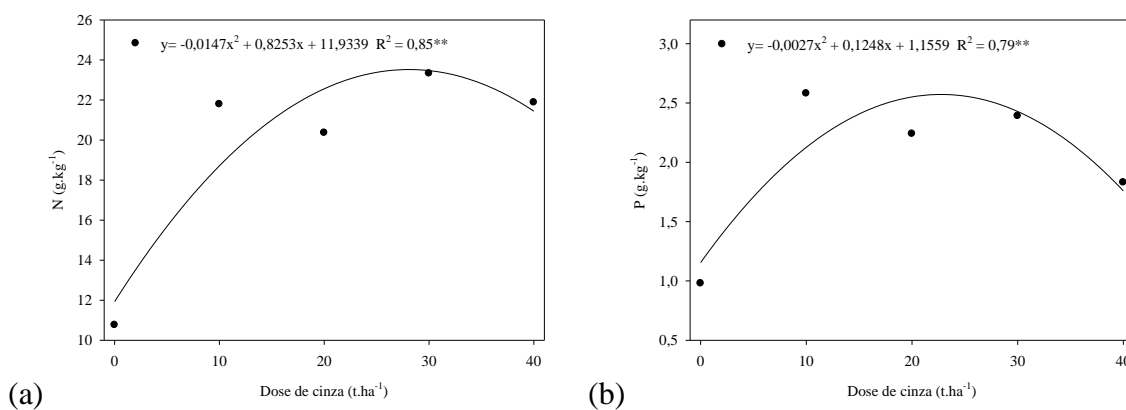
Segundo estudo realizado por Martinez et al. (1999), a faixa ideal dos teores considerados adequados para a cultura do milho são: N ($27,5\text{-}32,5 \text{ g.kg}^{-1}$), P ($2,5\text{-}3,5 \text{ g.kg}^{-1}$), K ($17,5\text{-}22,5 \text{ g.kg}^{-1}$), Ca ($2,5\text{-}4,0 \text{ g.kg}^{-1}$) e Mg ($2,5\text{-}4,0 \text{ g.kg}^{-1}$), quando comparado ao presente estudo os teores de P, Ca e Mg estão dentro da faixa adequada, porém N e K estão abaixo da faixa adequada.

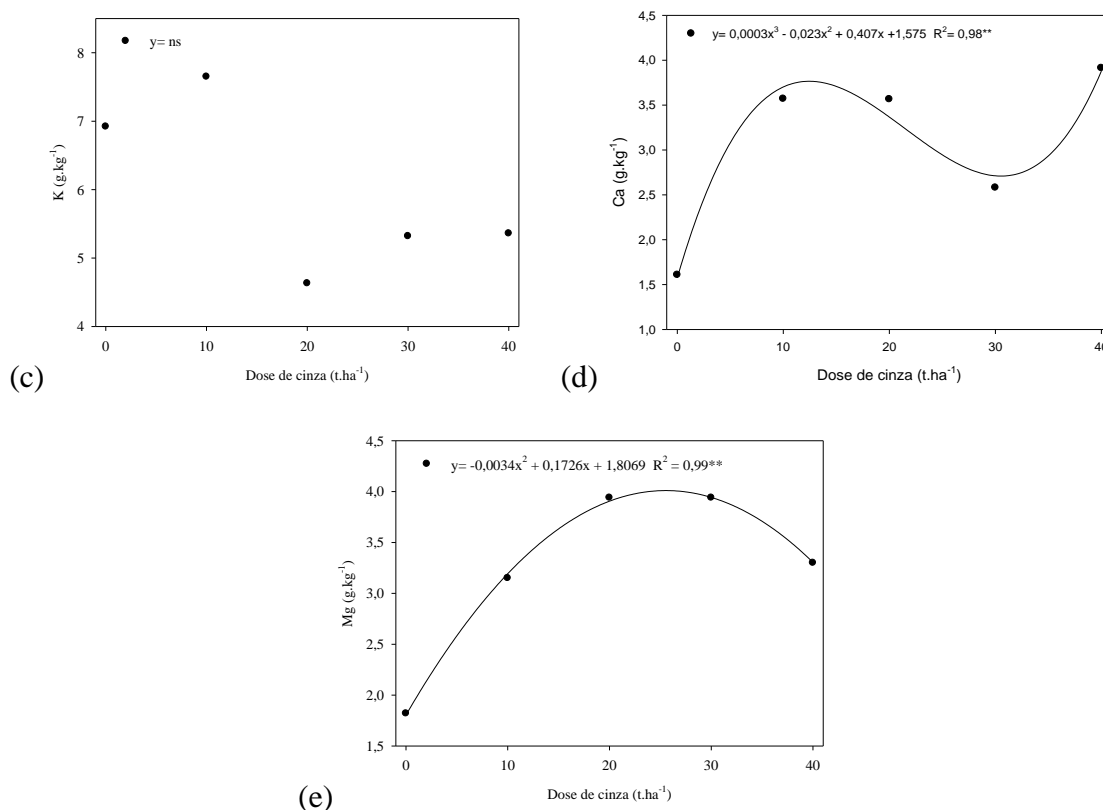
Resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, para o acúmulo e concentração de nutrientes na parte aérea, indicam aumentos significativos para N e P no capim marandu e xaraés (*Brachiaria*) (BONFIM-SILVA et al. 2014).

Ao contrário do observado no presente estudo, onde os teores de K diminuíram com o aumento das doses aplicadas, Bonfim-Silva et al. (2014) encontraram aumento nos teores de K no capim marandu e xaraés (*Brachiaria*).

O teor de nutrientes nas folhas depende da cultura analisada. Para Silva et al. (2009), utilizando cinza na cultura do eucalipto, demonstraram que houve aumento dos teores de K e P no tecido vegetal, porém não aumentaram os teores de Ca e Mg.

Figura 9. Teor foliar de N (a), P (b), K (c), Ca (d) e Mg (e) na folha bandeira da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho. **significativo a 1%.





4.3.4 Análises de contrastes para produtividade de MS total e área foliar da cultura do milho.

As análises de contrastes realizadas para a área total de milho mostram que foi observada diferença significativa entre o solo contra a cinza e a adubação mineral, o que comprova que a cinza e a adubação mineral tem capacidade de alterar a produtividade de grão feijão, porém nos contrastes realizados entre as diferentes doses de cinza de biomassa florestal e a adubação mineral, não foi possível observar diferença estatística, o que comprova nas condições em que o estudo foi realizado, que a cinza não difere da A.M. (Tabela 16).

Tabela 16. Valor das estimativas dos contrastes para área foliar da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Teste t	Pr (t)
S. vs C. e A.M.	-1314,581	67,71	-19,42	0,000**
10 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-122,455	87,408	-1,401	0,171
20 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-88,302	87,408	-1,010	0,320
30 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-56,385	87,408	-0,645	0,524
40 t.ha ⁻¹ vs A.M.	110,418	87,408	1,263	0,216
TOTAL	5			

As análises de contrastes realizadas para a produtividade de MS total da planta milho mostram que foi observada diferença significativa entre o solo contra a cinza e a adubação mineral, o que comprova que a cinza e a adubação mineral tem capacidade de alterar a produtividade de grão feijão, porém nos contrastes realizados entre as diferentes doses de cinza de biomassa florestal e a adubação mineral, foi possível observar diferença estatística somente no contraste entre a dose de 40 t.ha⁻¹ e a adubação mineral, onde a cinza teve maior produção de MS que a adubação mineral. Nas demais doses não foram encontradas diferenças significativas entre a cinza e a adubação mineral (Tabela 17).

Tabela 17. Valor das estimativas dos contrastes para produtividade de MS total da cultura do milho sob aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa florestal em um Nitossolo Vermelho.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Teste t	Pr (t)
S. vs C. e A.M.	-37,94	1,989	-19,07	0,000**
10 t.ha ⁻¹ vs A.M.	0,448	2,568	0,175	0,863
20 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-5,020	2,568	-1,955	0,060
30 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-2,485	2,568	-0,968	0,341
40 t.ha ⁻¹ vs A.M.	-7,143	2,568	-2,782	0,009**
TOTAL	5			

4.4 CONCLUSÃO

A aplicação de cinza aumentou a produção de massa seca, sendo a melhor dose de 29,00 t.ha⁻¹, altura das plantas após os 21 DAS e a dose que melhor respondeu foi a de 24 t.ha⁻¹ e também aumentou a área foliar da cultura do milho na dose de 18 hnt.ha⁻¹.

O teor de N, P, Mg e Ca na folha bandeira da planta de milho aumentaram com a adubação com cinza e o teor de K diminuiu com o aumento das doses de cinza aplicadas.

Os teores de K, P e Mn no solo aumentaram de acordo com o aumento das doses aplicadas, porém Mg e CTC efetiva diminuiram com o aumento das doses de cinza.

5. CONCLUSÃO GERAL

A cinza pode ser utilizada como uma alternativa para complementar a fertilidade do solo para o cultivo das culturas de feijão e milho, onde a mesma contribuiu para o aumento na produtividade de grãos de feijão e de massa seca do milho sem causar nenhum dano ao solo em que foi aplicada.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, M.V.; SKORONSKI, E. **Aplicação de cinzas de combustão de biomassa vegetal proveniente em solos agrícolas.** In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. Vitória – ES, Anais, p.4, 2011.

ARRUDA, J. A.; AZEVEDO, T. A. O.; FREIRE, J. L. O.; BANDEIRA, L. B.; ESTRELA, J. W. M.; SANTOS, S. J. A. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, João Pessoa, n.30, p. 13, 2016.

BALBINOT Jr., A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **R. Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p.9-15, 2006.

BALBINOT Jr., A. A.; VEIGA, M.; FONSECA, J. A. Aplicação de resíduo de reciclagem de papel em solo ácido: I - Fertilidade e teores de metais pesados no solo. **Agropecuária Catarinense**, v.23, p.60-65, 2010.

BALBINOT Jr., A. A.; VEIGA, M.; FONSECA, J. A.; VOGT, G. A.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, E. R. O. Aplicação de resíduo de reciclagem de papel em Cambissolo Háplico e seu efeito no solo e no cultivo de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.336-344, 2014.

BARRETTO, V.C.M. **Resíduos de Indústria de Celulose e Papel na Fertilidade do Solo e no Desenvolvimento de Eucalipto.** Tese - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. p.64, 2008.

BEZERRA, M. D. L. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante no cultivo de capim-marandu em solos do cerrado mato-grossense.** p.63 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

BLANCO; M.R.D.V.; NETO ZAMBON, F.R.A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v.11, p.38-40, 1993.

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza Vegetal: Características Produtivas e Teor de Clorofila do Capim-Marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E.M.; SANTOS C.C.; SILVA, T.J.A.; SCARAMUZZA, L.W.M.P. Concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in tropical grasses fertilised with wood ash in cerrado oxisol. **African Journal of Agricultural Research**. v.9, p. 549-555, 2014.

BONFIM-SILVA, E. M.; CARVALHO, J. M. G.; PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em Latossolo Vermelho do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21, p.523, 2015a.

BONFIM-SILVA, E. M.; FREITAS, D. C.; BATISTA, E. R.; LIMA, M. A. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 33, p. 3253-3264, 2015b.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influencia de época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, n.19, p.66-78, 2012.

Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola (CEPA). Boletim Agropecuário n° 37. Epagri, jun. 2016. Disponível em <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/Boletim_agropecuario/boletim_agropecuario.pdf>. Acesso em 19 de dezembro de 2016.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas/MG, n.78, p.10, 2006.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO – CTSBF. **Informações técnicas para o cultivo do feijão na região Sul brasileira**. 2 ed. Florianópolis: Epagri, p.157, 2012.

CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P.H.; RIBEIRO, G.; PINHO, L.G. DA R. **Utilização de cinza de madeira como corretivo de solo**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: anais. Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR, UEL, p.4, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, p.400, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos**. Safra 2015/2016, v.3, n.8, 2016.

DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o estado do Espírito Santo**. 4ª aproximação. Vitória/ES, SEEA/INCAPER, p. 266, 2001.

DALLAGO, J. S. **Utilização da cinza de biomassa de caldeira como fonte de nutrientes no crescimento de plantas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 2000. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2. ed., p.627, 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 3 ed. p.353, 2013.

FERREIRA, E. P. B.; FAGERIA, N.K.; DIDONET, A. D. Chemical properties of an Oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.2, p.228-236, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in manipulate comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, p.109-112, 2014.

GOMES, F. P. **Adubos e adubação**. Ed. Melhoramento, São Paulo, 1986. 188 p.

GONÇALVES, J.L.M & MORO, L. **Uso de cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis***. IPEF, Piracicaba, 48/49, p28-37. 1995.

GUARIZ, H.R.; PICOLI, M.H.S.; CAMPANHARO, W.A.; RODRIGUES, B. P. **Uso de cinzas de fornos de cerâmica como fonte de nutrientes para aproveitamento na agricultura**. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Vitoria – ES, 2009.

HORTA, C.; LUPI, S.; ANJOS, O.; ALMEIDA, J. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Ver. De Ciências Agrárias**, Lisboa, v.33, n.2, p.147-159, 2010.

HANISCH, A. L; FONSECA, J. A. Efeito da adubação com cinza de biomassa sobre uma pastagem de hemátria cv. Flórida cultivada em solo ácido. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.26, n.3, p.68-73, 2014.

IGNATIEFF, V. & PAGE, H.J. **El uso eficaz de los fertilizantes**. 2a.ed., FAO, Roma, p.101-102, 1959.

IZQUIERDO, M.; QUEROL, X. Leaching behaviour of elements from coal combustions fly ash: Na overview. **International Journal of Coal Geology**, vol. 94, p. 54-66, 2012.

KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R; VIDAL TORRADO, P. **Fundamentos de pedologia** .SBCS. 1ª Edição. Viçosa, p.343, 2012.

KISSINGER, M.; FIX, J.; REES, W. E. Wood and non-wood pulp production: comparative ecological foot printing on Canadian prairies. **Ecological Economics**, New York, v. 62, p. 552-558, 2007.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Clima e solo**. Sistemas de Produção 1, Embrapa Milho e Sorgo. Ed. 6, set. 2010.

LOUÉ, A. Potassium Research. **Research and Trends**. Bern, International Potash Institute, 1978. p. 407-433.

MAEDA, S; SILVA, H. D; BELLOTE, A. F. J; SANTANA, D. L. Q; SALDANHA, I. A. A; DEDECEK, R. A; LIMA, E. A. **Cinza de Biomassa Florestal como Insumo para Plantio de Pinus taeda em Cambissolo e Latossolo em Vargem Bonita, SC**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Comunicado Técnico, v. 187, ISSN 1517-5030, Colombo, PR. 2007a.

MAEDA, S.; SILVA, H.D. da; MAGALHÃES, W.L.E. **Aplicação de Cinza de Biomassa Florestal para Plantio de Pinus taeda em Latossolo e Cambissolo de Pirai do Sul, PR**. Comunicado Técnico, p.6, Nov. 2007b.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 43-52, 2008.

MÄKELA, M.; WATKINS, G.; PÖYKIO, R.; NURMESNIEMI, H. & DAHL, O. Utilization of steel, pulp and paper industry solid residues in forest soil amendment: Relevant physicochemical properties and heavy metal availability. **J. Hazard. Mat.**, v.208, p.21-27, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, p.319, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação**. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.201, 1989.

MANDRE, M. et al. Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, p.349 – 357, 2006.

MARCO, L. A.; BALBINOT JR, A. A.; OLIVEIRA, T. M. N.; FONSECA, J. A.; COSTA, E. R. O.; VEIGA, M. Atributos de solo e rendimento da cultura do milho em função da aplicação de resíduo de reciclagem de papel em um Cambissolo Háplico. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.25, n.1, 2012.

MARQUES, P. J. P. **Influência da aplicação de cinza de biomassa florestal nas características do solo e na produção e constituição de plantas com interesse forrageiro**. Relatório do Trabalho de Fim de Curso, Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Castelo Branco, p.48, 1998.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5º Aproximação, Viçosa: UFV, p.143-168, 1999.

MESQUITA, F. R.; CORREA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z. L. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris*): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1114-1121, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Instrução Normativa nº 12 de 28 de março de 2008. **Estabelece o Regulamento Técnico do Feijão, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem**. Diário Oficial da União. 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA – **Feijão**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2016a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA – **Milho**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>. Acesso em: 19 de dezembro de 2016b.

NASCIMENTO, B. B. **Efeito da cinza de biomassa florestal na fertilidade e na sorção de imazetapir em solos ácidos**. Dissertação de mestrado, USP – Piracicaba, 2013. Disponível em: < file:///D:/Documentos/Downloads/Bruna_Botin_Nascimento_versao_revisada.pdf > Acesso em 17 dez. 2016.

OLIVEIRA R. F. de; FURLAN JÚNIOR, J.; TEIXEIRA, L.B. **Composição química de cinzas de caldeira da agroindústria do dendê**. Comunicado Técnico, Embrapa Amazônia Oriental, n. 155, 2006, 4p.

OLIVEIRA A. C.; REIS, S. M. P. M.; LEITE, E. C.; VILELA, E. S. D.; PÁDUA, E. A.; TASSI, E. M. M.; CÚNEO, F.; JACOBUCCI, H. B.; PEREIRA, J.; DIAS, N. F. G. P.; GONZALEZ, N. B. B.; ZINSLY, P. F. Uso doméstico da maceração e seu efeito no valor nutritivo do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Revista Nutrição Campinas**, 12(2), p. 191-195, maio/ago. 1999.

OSAKI, F. M. R. DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 197-205, 1991.

PARK, N. D.; RUTHERFORD, P. M.; THRING, R. W.; HELLE, S. S. Wood pellet fly ash and bottom ash as an effective liming agent and nutrient source for rye grass (*Lolium perenne* L.) and oats (*Avena sativa*). **Chemosphere**, v.86, n.4, p.427-432, 2012.

PEDRINHO, E. A. N, GALDIANO JÚNIOR, R. F, CAMPANHARO, J. C, ALVES, L. M. C, LEMOS, E. G. de. M. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho. **Bragantia**, v.69, p.905-911, 2010.

PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "ouro negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.75-84, 2000.

PEREIRA, L. de. M.; PEREIRA, E. de. M.; REVOLTI, L. T. M.; ZINGARETTI, S. M.; MÔRO, G. V. Seed quality, chlorophyll content index and leaf nitrogen levels in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.3, p.630-637, 2015.

PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa**. p. 120, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; PEREIRA, L.; CINTRA, A. C. O. e NATALES, W.; Cinza da indústria de cerâmica na produção de mudas de goiabeira, efeito no crescimento e na produção de matéria seca. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.78, n.1, 2003.

RAM, L. C.; MASTO, R. E. Fly ash for soil amelioration: A review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. **Earth-Science Reviews**, vol.128, p.52-74, 2014.

RAMIREZ-CARDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciênc Tecnol Aliment**, Campinas, v.28, n.1, p.200-213, 2008.

RAPOSO, H- **As três adubações**. 2- Edição. Rio de Janeiro, p.19, 1963.

SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILAMEN, M.; SARAMAKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.278, p.63-70, 2012.

SILVA, F. R. da; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; COSTA, A. da. Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.12, n.3, p.304-313, 2013.

SILVA, F. R. da; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.6, p.475-482, 2009.

SOLLA-GULLÓN, F. et al. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.237, p.312–321, 2006.

SOUZA, C. L. **Teores de arsênio, bário, cádmio e níquel para solos do estado de Santa Catarina**. p. 147, 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 2015.

SOUZA, R. A. B. M. C.; MONÇÃO, O. P.; SOUZA, H. B.; OLIVEIRA, J. S.; REIS, T. C. Efeito da cinza de caldeira sobre as características químicas de um solo do Cerrado baiano e produtividade da alface. **Revista Cultivando o Saber**. Cascavel, v. 6, n. 4, p. 60 -73, 2013.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico n°5, Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2.ed, p.174, 1995.

TERRA, M. A.; LEONEL, F. F.; SILVA, C. G.; FONSECA, A. M. Cinza vegetal na germinação e no desenvolvimento da alface. **Revista Agrogeoambiental**, v.6, n.1, 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. September (1994). Disponível em: < <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-3051.pdf>> Acesso em: 16 dez. 2016.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; SILVA, J. V. M.; ROSS, G. P. D.; MOREIRA, E. S. **Utilização de cinza de caldeira de biomassa como fonte de nutrientes em Acacia mearnsii De Wild**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. Benefícios, Produtos e Serviços da Floresta: Oportunidades e Desafios do Século XXI. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.

YOKOYAMA, L.P. **Aspectos conjunturais da produção de feijão**. In: AIDAR, H. et al. (Ed.). Produção do feijão comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.249-292, 2002.

WANG, P.; OLSSON, B.A.; ARVIDSSON, H.; LUNDKVIST, H. Short-term effects of nutriente compensation following whole-tree harvesting on soil and soil water cheistry in a young Norways pruce stand. **Plant and Soil, Dordrecht**, v.336, n.1, p.323-336, 2010.

WILCOX, E. J.; WAIN, R. L. Studies on plant growth-regulating substances. **Annals off Applied Biology**. 1976.