

EDNA APARECIDA DE ANDRADE

ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA
FLORESTAL

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2021

EDNA APARECIDA DE ANDRADE

ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA
FLORESTAL

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior.

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Andrade, Edna Aparecida de
Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal / Edna Aparecida de Andrade; orientador(a), Luiz Antônio Zanão Júnior, 2021.
46 f.

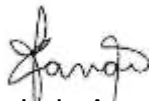
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Nutrição de plantas. 2. Fertilizantes alternativos. 3. Cultura energética. I. Zanão Júnior, Luiz Antônio. II. Título.

EDNA APARECIDA DE ANDRADE

Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal

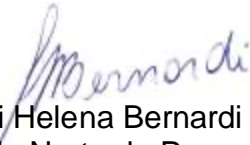
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Luiz Antonio Zanão Júnior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Francieli Helena Bernardi Baloscky
Universidade Norte do Paraná (UNOPAR)

Cascavel, 26 de fevereiro de 2021

Dedico...
A Carla Limberger
Uma pessoa de alma linda
Que nos deixou
Com o coração vazio
Pela sua partida

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar serenidade para continuar essa etapa da minha vida.

Ao meu marido Gilberto Pereira da Silva e meu filho Gilberto Junior Andrade da Silva por me ajudarem em todos os sentidos nessa trajetória.

A minha querida amiga Natalia Pereira por me incentivar, motivar e ajudar nessa caminhada, sem ela certamente não conseguiria.

Ao meu orientador que considero como um amigo, Luiz Antônio Zanão Júnior, pelo qual tenho grande admiração pelo profissionalismo, cuidado e respeito. Ele é parte fundamental dessa minha trajetória.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental. Santa Tereza do Oeste, PR, 2019..... | 10 |
| Tabela 2. Caracterização química e teor de umidade da cinza de biomassa florestal utilizada nos experimentos..... | 11 |
| Tabela 3. Caracterização química do solo da área experimental. Santa Tereza do Oeste, PR, 2019..... | 12 |
| Tabela 4. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg fornecidas pelas doses de cinzas aplicadas e pelo fertilizante mineral | 13 |
| Tabela 5. Teores de macro e micronutrientes em folhas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal e adubação mineral. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 27 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. pH em CaCl ₂ de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021 | 14 |
| Figura 2. Teores de fósforo de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 16 |
| Figura 3. Teores de potássio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 17 |
| Figura 4. Teores de cálcio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 18 |
| Figura 5. Teores de magnésio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 19 |
| Figura 6. Saturação por bases em solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 20 |
| Figura 7. Teores de ferro de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021 | 21 |
| Figura 8. Teores de cobre de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 21 |
| Figura 9. Teores de zinco de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 22 |
| Figura 10. Teores de manganês de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 23 |
| Figura 11. Altura de plantas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 24 |
| Figura 12. Vagens por planta de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 25 |
| Figura 13. Produtividade de grãos da soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021..... | 26 |
| Figura 14. Massa de mil grãos de plantas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021 | 27 |

ANDRADE, Edna Aparecida de. Ma. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2021. **Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal.** Orientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial da utilização de cinzas de biomassa florestal como corretivo da acidez do solo e fertilizante para adubação da cultura da soja. Dois experimentos foram conduzidos, um em laboratório e outro em condições de campo, em área experimental em Santa Tereza do Oeste, PR. O primeiro experimento foi um teste de incubação realizado em laboratório. Os tratamentos foram gerados por um esquema fatorial 2x5, sendo dois solos (argiloso e arenoso) e cinco doses de cinzas de biomassa vegetal: 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, com quatro repetições e delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi colocada em recipientes de polietileno com tampas, preenchidos com 0,5 kg de solo. Após a aplicação dos tratamentos, o solo foi umedecido próximo de sua capacidade de campo e os recipientes foram tampados. Após 90 dias de incubação, o solo foi seco e peneirado. O pH em CaCl₂, os teores de Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn, Zn e a saturação por bases foram determinados. No segundo experimento, conduzido em condições de campo, cinco doses de cinzas de biomassa florestal aplicadas na superfície do solo foram avaliadas um dia depois da semeadura da cultura da soja sem incorporação: 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em quatro repetições. A unidade experimental consistiu em cinco linhas de 2,5 m e 50 cm de largura. A cultivar de soja avaliada foi a variedade Nidera 5909 semiprecoce. Os teores de macro e micronutrientes nas folhas na época do florescimento foram avaliados. Na colheita, a altura das plantas, o número de vagens por planta, grãos por planta, massa de mil grãos e a produtividade de grãos foram avaliados. Os dados foram submetidos para análise de variância e o efeito das doses foi avaliado por análise de regressão, com auxílio do programa estatístico Assistat. As cinzas de biomassa florestal proporcionaram a correção da acidez do solo e o aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, manganês e zinco tanto de textura arenosa quanto na argilosa. A adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal aumentou a altura das plantas, a produção de vagens e a produtividade de grãos.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrição de plantas; fertilizantes alternativos; cultura energética.

ANDRADE, Edna Aparecida de. Ma. Western Paraná State University, February 2021.
Fertilization of soybean crop with forest biomass ash. Adviser: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior.

ABSTRACT

The objective of the present research was to evaluate the potential of using forest biomass ashes a soil acidity corrective and as a fertilizer for soybean crops. Two experiments were conducted, one in the laboratory and the other in field conditions, in an experimental area of Santa Tereza do Oeste, PR. The first experiment consisted of an incubation test, conducted in laboratory. The treatments were generated by a 2x5 factorial scheme with two soils (clayey and sandy) and five doses of forest biomass ashes: 0, 5, 10, 15 and 20t ha⁻¹, with four replications in a completely randomized design. The experimental unit was placed in polyethylene containers with lids filled with 0.5 kg of soil. After applying the treatments, the soil was moistened close to its field capacity and the containers were closed. After 90 days of incubation, the soil was dried and sieved. The pH in CaCl₂, the contents of Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn, Zn and the base saturation were determined. In the second experiment, which was conducted under field conditions, five doses of forest biomass ashes applied on the soil surface, without incorporation were evaluated one day after sowing the soybean crop: 0, 5, 10, 15 and 20t ha⁻¹. The design used was randomized blocks in four replications. The experimental unit consisted of five 2.5 m and 50 cm wide lines. The soybean cultivar evaluated was Nidera 5909 semi-early variety. The levels of macro and micronutrients in the leaves at the time of flowering were analyzed. During the harvest, the plant height, the number of pods per plant, grains per plant, the mass of a thousand grains and the grain yield were evaluated. The data were submitted to analysis of variance and the effect of doses were evaluated by regression analysis, using the statistical program Assistat. The ashes from forest biomass provided correction of soil acidity and increased the levels of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, manganese and zinc in both sandy and clayey soils. Fertilizing the soybean crop with forest biomass ashes increased plant height, pod production and grain yield.

KEYWORDS: Plant nutrition; alternative fertilizers; energetic culture.

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| RESUMO | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 CULTURA DA SOJA | 3 |
| 2.2 BIOMASSA FLORESTAL | 4 |
| 2.3 CINZAS | 6 |
| 2.4 UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL NO SOLO..... | 7 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3.1 EXPERIMENTO 1. TESTE DE INCUBAÇÃO EM SOLOS COM TEXTURAS DIFERENTES..... | 10 |
| 3.2 EXPERIMENTO 2: ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL | 12 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 14 |
| 4.1 TESTE DE INCUBAÇÃO EM SOLOS COM TEXTURAS DIFERENTES | 14 |
| 4.2. ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL | 23 |
| 5. CONCLUSÕES | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes renováveis de energia tem se tornado cada vez mais expressiva devido à degradação ocasionada pela queima de combustíveis fósseis. Assim, a queima de biomassa florestal, como o eucalipto, tem sido muito utilizada como uma alternativa para o fornecimento de energia em agroindústrias.

As cinzas já são utilizadas de maneira mais primitiva desde o princípio da agricultura. Regiões mais desprovidas de tecnologia ainda se valem das cinzas quando matas são derrubadas e posteriormente queimadas, dando início a produção de grãos ou novas pastagens. Os compostos orgânicos e inorgânicos que provém das cinzas atuam na melhoria da fertilidade do solo e, conseqüentemente, aumentam a produtividade (PRADO et al., 2002).

Na região Oeste do Paraná, as cooperativas e silos de secagens de grãos vêm gerando resíduos em forma de cinzas resultantes da queima de toras ou cavacos de biomassa florestal em suas caldeiras. Essas cinzas, principal resíduo produzido, geralmente acabam por se tornarem pouco aproveitadas.

Dessa forma, as cinzas geradas, provenientes da queima da madeira, se caracterizam como um passivo ambiental e podem causar grandes impactos ambientais se não forem destinadas corretamente. Porém, podem ser uma fonte alternativa de fertilizantes pois contém potássio, cálcio, magnésio, fósforo e outros elementos que influenciam no desenvolvimento das plantas.

O alto custo para o descarte das cinzas faz com que as indústrias não realizem a sua destinação de forma sustentável. No entanto, é possível que as cinzas sejam destinadas para a agricultura como fertilizante de baixo custo. Esse resíduo, produzido em muita quantidade e cujo conteúdo apresenta nutrientes para as culturas, pode ajudar a melhorar a fertilidade do solo e o desempenho das lavouras mesmo em baixas concentrações (SILVA et al., 2009).

Em cultivos florestais, cinzas estão sendo utilizadas como fonte de nutrientes e apresentam bons resultados em relação às suas características químicas e têm efeitos benéficos na qualidade do solo (SILVA et al., 2009). Sua qualidade como fonte de nutrientes depende da origem da biomassa florestal e da intensidade da carbonização em que ela foi submetida. Esses fatores podem influenciar na liberação dos nutrientes contidos nessa biomassa carbonizada (MAEDA et al., 2007).

Fontes de liberação de nutrientes como cálcio e magnésio são importantes ferramentas agrícolas para correção da acidez do solo. Corrigir a acidez do solo de forma satisfatória, eliminando barreiras químicas de modo que haja um pleno desenvolvimento das raízes, garante o aproveitamento de nutrientes e água pelas culturas, o que é fundamental para a sustentabilidade agrícola. Muitos são os materiais utilizados para esse fim, sendo o calcário o mais comum. No entanto, cinzas de eucalipto, por exemplo, também têm apresentado poder de neutralização do pH do solo de forma tão eficiente quanto o calcário (MELO; FURTINI NETO, 2003).

Além disso, segundo Nolasco et al. (2000), as cinzas disponibilizam gradualmente macro e micronutrientes para as plantas, aumentando a fertilidade do solo. Por melhorar essas propriedades químicas do solo, a utilização desse resíduo como fertilizante resolve grande parte desse problema ambiental que advém da grande geração desses resíduos e que preocupam as indústrias que os geram (PRADO et al., 2002).

No entanto, a utilização de cinzas para adubar e ou corrigir o solo ainda é realizada de forma imprecisa ao serem aplicadas doses sem critérios agrônômicos. Elas podem trazer benefícios se aplicadas na dose adequada ou acarretar um desequilíbrio nutricional caso sejam aplicadas em excesso. Porém, ao buscar a dose ideal, há dificuldade em encontrá-la devido ao baixo número de pesquisas relacionadas a esse tema. Assim, o uso de cinzas para adubação se restringe ao conhecimento comum.

As cinzas apresentam quantidades razoáveis de macro e micronutrientes e características químicas que lhe permitem o uso como corretivo de acidez do solo e como fertilizante. Dessa forma, estudos detalhados para determinar as quantidades adequadas que devem ser aplicadas para sua viabilidade tornam-se necessários.

Neste contexto, a cinza de biomassa florestal apresenta-se como uma alternativa ao produtor, com grande oferta na região Oeste do Paraná, repondo nutrientes, contribuindo para uma alta na produtividade das culturas e reduzindo custos com fertilizantes minerais e corretivos de acidez do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização das cinzas de biomassa florestal na agricultura, tanto como corretivo da acidez do solo quanto como fertilizante na cultura da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max*) faz parte da família Fabaceae e tem sua origem e domesticação na região nordeste da Ásia e em regiões adjacentes (CHUNG; SINGH, 2008). Ela teve sua disseminação através dos continentes orientais para os ocidentais através de navegações. Relatos do aparecimento da soja no Brasil indicam que seu cultivo iniciou em 1882 na região da Bahia (BLACK, 2000). A partir dessa década, imigrantes japoneses a levaram para regiões de São Paulo, nas quais se fixaram.

A cultura da soja foi introduzida na região Sul, mais precisamente no estado do Rio Grande do Sul, somente a partir do ano de 1914. Foi então que as cultivares dessa cultura foram adaptadas para as condições edafoclimáticas da região, ou seja, características definidas pelo clima, tipologia, temperatura e outros fatores, como o fotoperíodo (BONETTI, 1981).

A soja sempre esteve associada a avanços tecnológicos e científicos, tal como como a criação de cultivares resistentes e produtivos. Aliados a esses incrementos tecnológicos, há também o manejo do solo, a adubação, a calagem, o manejo de pragas e doenças e a infraestrutura com soluções em diversos fatores responsáveis por perdas na cultura (VECANTO et al., 2010).

Dentre os grandes produtores de soja no mundo, o Brasil se destaca como maior produtor mundial e a expectativa é que supere os Estados Unidos, o segundo maior produtor da oleaginosa, em 28,5 % em 2020 (USDA, 2020). Nesse cenário o Centro-Oeste e o Sul do país são responsáveis por quase 70 % da produção desse grão, segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2018).

Entretanto o Norte e o Nordeste estão se tornando regiões promissoras de produção da cultura. A região chamada de Matopiba é composta por regiões do Cerrado brasileiro que compõem o sul do Maranhão, o sul do Piauí, o norte do Tocantins e o oeste da Bahia. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), a projeção para a safra de 2019/2020 é que a área cultivada com soja no Matopiba alcance 4,5 milhões de hectares, o que representa pouco mais de 12 % de toda a área plantada da oleaginosa no Brasil. Estima-se que em dez anos a

produção da soja no Matopiba represente de 30 % a 38 % da soja a ser exportada pelo Brasil (MAPA, 2019).

A produção brasileira de soja vem se destacando desde a década de 1980 na qual diversos fatores contribuíram para a adaptação da cultura em diversas regiões. Com o manejo e a correção do solo, fatores vêm contribuindo para o seu equilíbrio e a adubação balanceada de macro e micronutrientes tem permitido produtividades expressivas em todas as condições territoriais do Brasil. O avanço no controle de pragas também contribuiu para que a cultura tivesse êxito econômico, passando a ter uso frequente de tratamentos de fungicida nas sementes, principalmente das doenças (VECANTO et al. 2010).

Um setor que também contribuiu de forma satisfatória para o avanço da cultura da soja foi a modernização e o aperfeiçoamento dos maquinários agrícolas, tornando o plantio e a colheita mais ágil e eficiente (VECANTO et al., 2010). A biotecnologia também obteve avanços na criação de cultivares resistentes às pragas e ao herbicida. Porém, seu cultivo só teve liberação efetiva a partir da safra de 2006/2007 após sua proibição no ano de 1998 com fortes alegações que consideravam os estudos ineficientes a seu respeito, principalmente nos impactos ambientais e nas normas de segurança alimentar (FREITAS, 2011). Países de continentes como a Ásia e a Europa inicialmente não aceitavam soja geneticamente modificada dando preferência à soja convencional. A Noruega, a Bélgica e a Finlândia são países que não importam derivados dessas origens geneticamente modificadas, eles optam por pagar um valor mais alto e obter a soja convencional (FREITAS, 2011).

No Brasil a soja é destinada às indústrias esmagadoras e é transformada em farelo para o consumo animal. Referente à produção de biodiesel, aproximadamente 80 % do óleo de soja é destinado à produção de bicomcombustível (ANP, 2010). Com isso, a soja é consolidada como uma das maiores culturas exploradas no Brasil e apresenta uma expressiva importância econômica.

2.2 Biomassa florestal

O uso de biomassa florestal é indispensável para geração de energia sustentável tendo em vista sua versatilidade em várias formas de utilização. Como fonte de energia, a biomassa florestal desempenha um papel importante para as indústrias de vários seguimentos (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

Nos anos entre 1960 e 1975, houve a necessidade de investimento tecnológico para o crescimento da silvicultura no Brasil. Assim sendo, houve o surgimento das primeiras escolas de engenharia florestal (FLOELKEL, 2005). O fomento do cultivo de florestas plantadas pelos produtores rurais a fim de aumentar programas que promovam o equilíbrio socioeconômico, transferindo ao produtor práticas sustentáveis com benefícios conceituados aos ecossistemas, foi bastante difundido (FLOELKEL, 2005).

Uma das vantagens da biomassa florestal é a matéria prima ser totalmente renovável, minimizando os impactos ambientais. As espécies de árvores mais representativas utilizadas para o fornecimento de energia em formas de toras, cavacos e carvão são espécies exóticas, especificamente o eucalipto e o pinus. Existem espécies menos representativas como a acácia, o paricá, entre outras. O eucalipto é destaque nas indústrias de celulose que o têm como fonte principal de sua matéria prima (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

Para a produção de espécies de biomassa florestal, áreas com baixa aptidão para agricultura são utilizadas em sua grande maioria. A extração de nutrientes pelas árvores não é maior que algumas culturas como o café, o algodão, a soja, o milho e pastagens. Na cultura florestal, as copas das árvores acumulam nutrientes como forma de prevenção, podendo ser utilizadas caso alguma interrupção no fornecimento desses nutrientes aconteça (BELLOTE; SILVA, 2000).

O plantio de florestas comerciais não está sendo realizado com o objetivo de conservar a biodiversidade. No entanto, Brockerhoff et al. (2008) afirmam que há evidências de que florestas plantadas promovem habitat para algumas espécies ameaçadas ou com algum perigo e contribuem com a biodiversidade. Segundo Horák et al. (2019), a denominação de deserto verde se refere à monocultura de árvores em grandes extensões de terra, sobretudo povoamento florestais de eucalipto, pinus e acácias.

A substituição de combustíveis fósseis por outras matérias-primas para geração de energia, como a madeira, tem aumentado. As madeiras de florestas naturais estão sendo substituídas por madeiras de plantações florestais comerciais. Essa mudança é muito positiva, torna os produtos bem vistos no mercado e reduz a pressão nas florestas naturais (EMBRAPA FLORESTA, 2015).

2.3 Cinzas

Os resíduos sólidos oriundos de diversos materiais começaram a ter evidência e serem colocados para população como um problema de ordem continental a partir da conferência Rio-92. O reaproveitamento de resíduos sólidos visando estabelecer diretrizes para atuações futuras foi discutido, dentre tantos assuntos relacionados à proteção do meio ambiente (JACOB; BESEN, 2011).

As cinzas vegetais se enquadram no grupo dos resíduos que são mais comuns e que possuem potenciais riscos de contaminação ao meio ambiente (ANVISA, 2006). A busca por diversos tipos de reutilização se constitui na atual preocupação em relação às políticas ambientais. A reutilização desses resíduos como materiais alternativos representa sua incorporação em novos processos produtivos, como a agricultura. A busca de empresas em financiar pesquisas que levem a procura por tecnologias para soluções sustentáveis em consideração e que agreguem o desenvolvimento social e econômico tem se tornado um fator importante para novos empreendimentos (MOREIRA; VERMELHO; ZAANI, 2017).

As cinzas são um resíduo sólido de origem industrial que provêm da queima de madeira sob a forma de toras e cavacos. A queima da madeira produz energia térmica, através da produção de vapor (GONÇALVES; MORO, 1995). O processo de carbonização determina maior ou menor capacidade de liberar componentes químicos, tais como os nutrientes (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008). As características das cinzas são muito distintas e fatores como o tipo de solo, biomassa, formas de colheita e formas de combustão podem interferir nelas (MORUJO, 2011).

A gestão apropriada desses resíduos é importante do ponto de vista econômico e ambiental. Sá (2013) afirma que formas viáveis da utilização dessas cinzas devem ser consideradas porque, de certa forma, elas trazem problemas para as indústrias que são detentoras do seu resíduo e têm, portanto, a responsabilidade de destinar adequadamente o que produzem.

A aplicação das cinzas no solo tem se mostrado satisfatória devido à boa qualidade da mesma. Porém, deve-se ter cuidado para que metais pesados ou poluentes orgânicos não sejam acumulados. Deste modo, somente cinzas consideradas de alta qualidade pode ser aplicadas no solo. Ensaio de longa duração utilizando cinzas aplicadas em ecossistemas florestais nos países do norte da Europa mostraram que elas se destacaram positivamente (INSAM; KNAPP, 2011).

As cinzas apresentam formas distintas de valorização. Destacam-se a diminuição de custos destinados à sua eliminação, a liberação de espaços em indústrias, o retorno financeiro por sua venda e valorização para outros fins, tal como a produção de cimento, substituindo recursos naturais já em escassez, e o relativo valor comercial (MORUJO, 2011). A utilização da cinza de biomassa pode se mostrar uma alternativa ecologicamente correta para a devolução de nutrientes para o solo, sendo economicamente viável como insumo no processo produtivo agrícola (BRUNELLI; PISANI JR, 2006).

As cinzas de biomassa florestal, mais especificamente de eucalipto, também podem contribuir com aumento da disponibilidade de silício no solo devido à sua composição química caracterizada com 16,9 % de SiO_2 (BORLINI et al., 2005). Para Nolasco et al. (2000), as cinzas de biomassa proporcionam benefícios por causa da sua composição química e solubilização lenta de macro e micronutrientes quando utilizadas como fertilizante.

2.4 Utilização de cinzas de biomassa florestal no solo

A queima da biomassa florestal que origina as cinzas é uma prática comum, principalmente por cooperativas, empresas e silos na região Oeste do Paraná. Atualmente, as cinzas resultantes são destinadas apenas para a produção de cimento e concreto.

O cálcio está presente nas cinzas na forma de CaO (cal viva) que lhe confere características de ação alcalina, podendo ser aproveitado como corretivo da acidez do solo (CAMPANHARO et al., 2008). Sbruzzi (2017) caracterizou as cinzas de biomassa florestal quimicamente e verificou os seguintes parâmetros: Poder de Neutralização (PN) = 12,50%; pH = 7,20; N = 1,8 g kg^{-1} ; P = 2,9 g kg^{-1} ; K = 12,8 g kg^{-1} ; Ca = 30,4 g kg^{-1} ; Mg = 29,5 g kg^{-1} ; S = 0,4 g kg^{-1} ; Fe = 13,0 g kg^{-1} ; Mn = 2,27 g kg^{-1} ; Cu = 57,04 mg kg^{-1} ; Zn = 28,92 mg kg^{-1} .

As cinzas originárias de biomassa florestal proveniente de indústrias de celulose têm sua totalidade estimada em aproximadamente 750 milhões de toneladas, sendo essa uma quantidade muito significativa. Desse total, 50 % são utilizados como substrato e fontes de fertilizantes (IZQUIERDO; QUEROL, 2012).

Os minerais derivados de rochas são conhecidos como fertilizantes minerais. Eles são responsáveis pela melhora de produtividade devido ao aumento da fertilidade do solo que estes conferem, concentrando, portanto, alta demanda no mercado (BONFIM-SILVA, et al. 2013).

Segundo Osalki e Darolt (1991), o poder relativo de neutralização total (PRNT) das cinzas é, em média, 43 %. Esse valor baixo, comparado com o calcário, se dá porque as cinzas de biomassa florestal possuem partículas mais grossas e necessitam de mais tempo para reagir no solo. Entretanto, ao utilizá-las sem nenhum critério, pode-se prejudicar a fertilidade do solo pois, segundo Osalki e Darolt (1991), as cinzas têm relação Ca/Mg superior a 3. Orlando Filho et al. (1996) alertam que se essa relação não estiver balanceada, a absorção desses dois elementos pode ser prejudicada.

A agricultura moderna exige muito do solo a ponto de exaurir sua fertilidade natural e, assim, a constante reposição de nutrientes é fundamental devido à retirada de nutrientes pelas plantas durante as safras. Os solos brasileiros em sua grande maioria exigem muito em relação à nutrição por apresentarem baixa fertilidade natural (DADALTO; FULLIN, 2001). Alguns fatores são importantes para obtenção de altas produtividades das culturas, tais como a correção do solo e adubação das culturas. No entanto, fertilizantes e corretivos devem ser utilizados de forma criteriosa e equilibrada.

Souza et al. (2013) destacam que aplicações de cinza variando entre 0 a 16 t ha¹ aumentaram a produção de biomassa de alface. Esse resultado foi atribuído ao pH mais elevado com concentrações de Ca, Mg, P e K e mostrou respostas favoráveis às doses de cinzas utilizadas.

Latossolo Vermelho distroférico é um solo intemperizado com fertilidade variável e se caracteriza como um solo ácido, presente em 19.585,88 km² do estado do Paraná (SANTOS et al., 2008). Por ser um solo consideravelmente ácido, geralmente apresenta toxicidade de alumínio e de manganês. Se associadas às deficiências de cálcio, magnésio e fósforo, comprometem o enraizamento e diminuem a absorção de água e nutrientes, levando a uma produção defasada (WEIRICH NETO et al., 2000).

Maiores produtividades dos cultivos extraem maiores quantidades de nutrientes e contribuem para empobrecer e acidificar ainda mais o solo. A utilização das cinzas

de biomassa vegetal se torna uma alternativa para a recuperação nutricional desses desequilíbrios. Além disso, em contrapartida, contribui para a destinação adequada desse resíduo produzido em grande escala (GUARIZ et al., 2009).

Estudos sobre a destinação de cinzas a consideram uma alternativa relativamente benéfica e viável para a utilização no solo. Entretanto, alguns critérios devem ser observados, tal como a dose de aplicação, para que não se torne prejudicial tanto para as plantas como para o solo (SILVA et al., 2013).

Segundo Gonçalves e Moro (1995), o solo não pode ser considerado um depósito permanente de nutrientes pois, além de serem lixiviados, as plantas extraem e exportam nutrientes a cada safra. Assim, deve-se haver a reposição dos nutrientes extraídos e, como qualquer solo agricultável, deve ser manejado corretamente, suprimindo suas necessidades químicas e físicas.

A forma mais utilizada para repor tais nutrientes são os fertilizantes minerais, que possuem várias formulações, cabendo ao engenheiro agrônomo responsável interpretar a análise do solo, calcular as necessidades e recomendar as quantidades apropriadas. A questão é que estes insumos totalizam de 15 a 25 % dos custos de produção (TRANI; TRANI, 2011). Se esses gastos forem reduzidos, pode-se aumentar a lucratividade do produtor.

A composição química das cinzas lhe proporciona um potencial para ser considerada fertilizante por conter macronutrientes como potássio, cálcio, magnésio e fósforo. Entretanto, deve-se considerar que nem todos os nutrientes contidos nas cinzas estão solubilizados e prontamente disponíveis para as plantas (SÁ, 2013).

Além disso, as cinzas podem ser utilizadas no solo para correção do pH e para a neutralização do Al tóxico. A toxidez do alumínio está diretamente relacionada com o pH do solo. O alumínio não está solúvel no solo e não é absorvido pela planta em pH em CaCl_2 superior a 5,0. As propriedades alcalinas das cinzas aumentam o pH nos solos e, conseqüentemente, podem ser utilizadas como corretivo da acidez do solo por aumentarem o pH e neutralizarem o Al tóxico (LOO; KOPPEJAN, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na área experimental, localizada no município de Santa Tereza do Oeste, PR, com latitude 25° 05' 18,0" S e longitude 53° 34' 57,0" W.

3.1 Experimento 1. Teste de incubação em solos com texturas diferentes

Este experimento foi conduzido em laboratório na Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico (textura argilosa – 600 g kg⁻¹ de argila) e um Neossolo Quartzarênico (textura arenosa – 140 g kg⁻¹ de argila) coletadas na profundidade de 0-20 cm foram utilizadas. Os resultados da análise química das amostras são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental. Santa Tereza do Oeste, PR, 2019

| Solo | pH | MO | P | Al | H+Al | K | Ca | Mg | CTC | V |
|----------|-------------------|--------------------|---------------------|--|------|------|-------|-----|------|----|
| | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | ----- | | % | |
| Argiloso | 5,8 | 49,7 | 3,6 | 0 | 4,3 | 0,49 | 6,4 | 4,7 | 15,8 | 73 |
| Arenoso | 5,6 | 18,8 | 24,8 | 0 | 3,3 | 0,33 | 2,2 | 0,6 | 6,4 | 49 |

Extrator: P e K = Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = acidez potencial (acetato de cálcio); T = CTC pH 7,0; V = saturação por bases; MO = matéria orgânica (Walkley-Black).

Os tratamentos foram gerados por um esquema fatorial 2x5, sendo dois solos de diferentes texturas (argilosa e arenosa) e cinco doses de cinzas de biomassa florestal: 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, com quatro repetições, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

As cinzas utilizadas no experimento foram obtidas no silo Moinho Iguaçu, localizado na região de Cascavel, que utiliza madeira de eucalipto para combustão e secagem de grãos. Análises químicas foram realizadas nas cinzas para determinar os teores de macro e micronutrientes e umidade, conforme metodologia descrita por Sá (2013) (Tabela 2).

As cinzas também foram analisadas conforme o corretivo da acidez do solo e os métodos oficiais do Ministério da Agricultura do Brasil foram adotados (1988). Elas apresentavam poder de neutralização em relação ao CaCO₃ (PN) de 90,23%,

reatividade das partículas (ER) de 96,37%, poder relativo de neutralização total (PRNT) de 86,95%, teor de óxido de cálcio (CaO) de 37,38% e óxido de magnésio (MgO) = 3,65%. Em relação à classificação e de acordo com o teor de MgO do corretivo, as cinzas utilizadas se equivaleriam a um calcário calcítico e cerca de 96% das partículas reagiriam em até 3 meses após a aplicação no solo.

Tabela 2. Caracterização química e teor de umidade da cinza de biomassa florestal utilizada nos experimentos

| Determinação | Resultado | Unidade |
|-----------------|-----------|---------------------|
| Umidade á 105°C | 2,56 | % |
| Nitrogênio | 1,31 | g kg ⁻¹ |
| Fósforo | 4,31 | g kg ⁻¹ |
| Potássio | 18,98 | g kg ⁻¹ |
| Cálcio | 92,43 | g kg ⁻¹ |
| Magnésio | 10,90 | g kg ⁻¹ |
| Enxofre | 3,99 | g kg ⁻¹ |
| Boro | 36,97 | mg kg ⁻¹ |
| Cobre | 28,80 | mg kg ⁻¹ |
| Ferro | 5927,30 | mg kg ⁻¹ |
| Manganês | 2179,41 | mg kg ⁻¹ |
| Zinco | 43,69 | mg kg ⁻¹ |

As amostras de solos coletadas foram destorroadas e secas em estufa de circulação forçada de ar por 48 h. Posteriormente, elas foram passadas por uma peneira de 2 mm. Amostras de 500 g de solo foram pesadas e colocadas em recipientes de polietileno com tampa e capacidade para 0,8 dm³. As cinzas, também passadas por peneira de 2 mm, foram pesadas nas quantidades para os respectivos tratamentos, adicionadas aos solos e homogeneizadas.

Após a homogeneização, água destilada foi adicionada em cada recipiente na quantidade de 150 mL para o solo arenoso e 240 mL para o argiloso, de acordo com a capacidade de retenção de água de cada. A umidade foi mantida próxima à capacidade de campo por 60 dias.

Depois do período de incubação, o solo foi seco, peneirado e encaminhado para realização das análises químicas. O pH em CaCl₂ e os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu,

Mn e Zn foram determinados e a saturação por bases foi calculada (V%), segundo a metodologia descrita pela Embrapa (2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O efeito das doses de cinzas foi avaliado por análise de regressão com auxílio do programa estatístico Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016).

3.2 Experimento 2: Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal

O experimento foi conduzido em condições de campo. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distroférico. Cinco doses de cinzas foram avaliadas: 0, 5, 10, 15, 20 t ha⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Antes da instalação do experimento, a amostragem do solo na área experimental foi realizada na profundidade de 0-20 cm. Análises químicas foram realizadas e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química do solo da área experimental. Santa Tereza do Oeste, PR, 2019

| Profundidade | pH | MO | P | Al | H+Al | K | Ca | Mg | CTC | V |
|--------------|-------------------|--------------------|---------------------|--|------|------|-------|------|-------|----|
| cm | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | ----- | | | % |
| 0-20 | 5,00 | 54 | 4,10 | 0,00 | 4,96 | 0,69 | 5,93 | 4,09 | 15,68 | 68 |

Extrator: P e K = Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = acidez potencial (acetato de cálcio); T = CTC pH 7,0; V = Saturação por bases; MO = matéria orgânica (Walkley-Black).

De posse dos dados da composição química das cinzas (Tabela 2), do fertilizante mineral e dos tratamentos avaliados, as quantidades de macronutrientes aplicados foram calculadas (Tabela 4).

A semeadura foi realizada mecanicamente com semeadora de precisão, com espaçamento de 40 cm entre linhas em sistema de plantio direto sobre a palhada de trigo. As parcelas apresentavam comprimento e largura de 2,5 m. A aplicação das cinzas foi realizada a lanço, um dia depois da semeadura.

Durante o desenvolvimento da cultura, aplicações de produtos fitossanitários com pulverizador costal com capacidade de 12 L de calda foram realizadas. As aplicações de herbicidas, fungicidas e inseticidas ocorreram de acordo com a necessidade e recomendações para a cultura da soja.

Tabela 4. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg fornecidas pelas doses de cinzas aplicadas e pelo fertilizante mineral

| Dose de cinzas | N | P | K | Ca | Mg |
|--------------------|---------------------------------|------|-------|--------|-------|
| t ha ⁻¹ | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | | |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5 | 6,5 | 21,5 | 94,5 | 462,0 | 54,5 |
| 10 | 13,0 | 43,0 | 189,0 | 924,0 | 109,0 |
| 15 | 19,5 | 64,5 | 283,5 | 1386,0 | 163,5 |
| 20 | 26,0 | 86,0 | 378,0 | 1848,0 | 218,0 |

Quando as plantas se apresentavam em estágio fenológico de pleno florescimento, 30 folhas recém-maduras, sem pecíolo, foram coletadas em cada parcela. Após a coleta, elas foram lavadas com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h, para secar. Em seguida, foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de malha 0,84 mm. A matéria seca foi mineralizada pela mistura nítrico-perclórica (3:1 v v⁻¹), os teores de K foram determinados por fotometria de emissão de chama e os de P por colorimetria. Para determinar o teor de N, o método semi micro Kjeldahl foi utilizado, com mineralização das amostras com ácido sulfúrico. As análises químicas dos tecidos foliares foram realizadas conforme Tedesco et al. (1995).

Quando as plantas estavam no estágio fenológico R6 (vagens verdes com volume de enchimento máximo), avaliações de altura de plantas e a determinação do número de vagens por planta foram realizadas. Para tal, dez plantas de cada parcela experimental foram selecionadas, determinando as médias para cada parcela posteriormente. Após a maturação, a avaliação de massa e a contagem de grãos dessas mesmas plantas foram realizadas. A colheita foi realizada manualmente e a produtividade de grãos foi determinada na área útil de cada parcela, transformada em kg ha⁻¹ e corrigida para 13 % de umidade.

A massa de mil grãos foi determinada em balança de precisão (0,01 g), com teor de água dos grãos corrigido para 13 %. Oito repetições por unidade experimental foram realizadas. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão para avaliar o efeito das doses de cinzas com auxílio do programa estatístico Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de incubação em solos com texturas diferentes

As cinzas de biomassa florestal aplicadas tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso promoveram elevação no valor do pH (Figura 1). Os valores aumentaram quadraticamente em função do aumento das doses de cinzas aplicadas nos solos. Houve um aumento mais significativo com a aplicação de 5 t ha⁻¹ de cinzas em comparação com a testemunha. À medida que as doses aumentaram, a elevação do pH foi ficando menos acentuada.

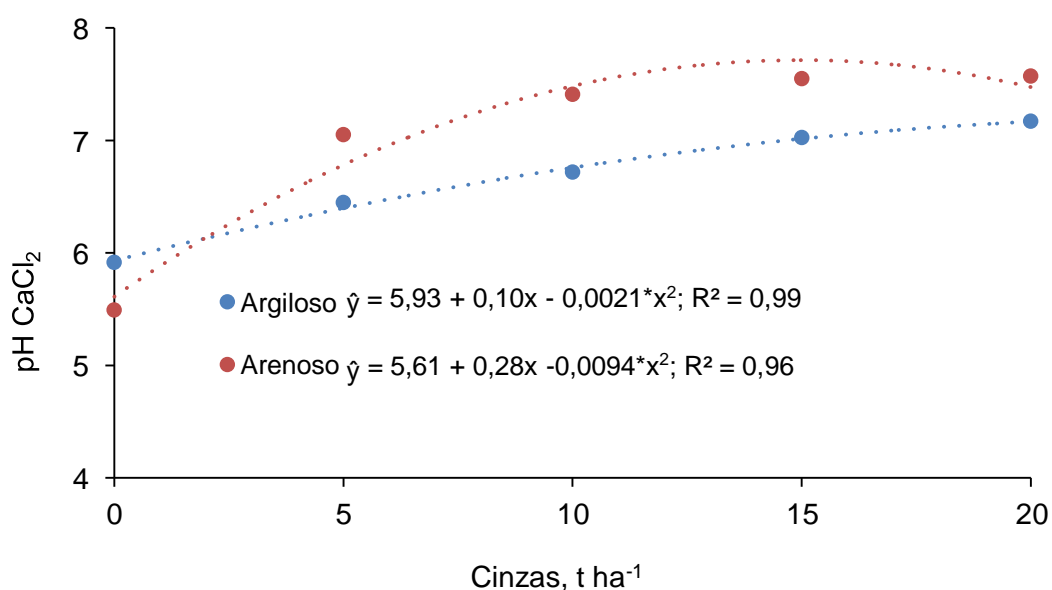


Figura 1. pH em CaCl₂ de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Segundo Chirenje e Ma (2002), o Ca está sob a forma de cal viva (CaO) nas cinzas de biomassa florestal. Aos poucos, ele se transforma em carbonato de cálcio (CaCO₃). Ao adicionar água ao CaO, forma-se hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂]. Além disso, pela reação das cinzas no solo ocorre a formação de carbonatos de magnésio (MgCO₃) e de potássio (K₂CO₃) (PRADO et al., 2002). Todos esses componentes conferem às cinzas uma composição característica de corretivo de acidez do solo. Os carbonatos, por exemplo, ao regirem no solo formam ácido carbônico (HCO₃⁻) e hidroxila (OH⁻). Quando reagem com o hidrogênio (H⁺), que representa a acidez ativa

do solo, formam CO_2 e H_2O . Ao reduzir a quantidade de H^+ na solução do solo, há elevação do pH.

Miranda et al. (2005) também verificaram aumento significativo no pH do solo com aplicação de cinzas, o que foi também evidenciado por Silva et al. (2013), Magela (2015) e Sbruzzi (2017). Arruda et al. (2017) e Moreira e Siqueira (2002) acrescentam que o aumento do pH provocado pela aplicação das cinzas de biomassa florestal promovem aumento da atividade microbiana no solo.

Tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso, o pH em CaCl_2 , segundo a classificação proposta pela SBCS/NEPAR (2017), estava muito alto no tratamento que não recebeu aplicação de cinzas. Com a aplicação de 5 t ha^{-1} de cinzas nos dois solos, foi atingido um pH em CaCl_2 que deve ser evitado, ou seja, acima de 6,0. Acima desse pH pode haver indisponibilização de micronutrientes catiônicos, principalmente Mn, o que pode diminuir a produtividade das culturas. Terra et al. (2014), por exemplo, avaliando o efeito das cinzas em mistura com solo em proporção de 1:1, observaram que o pH do substrato formado se elevou para 10,51, sendo muito prejudicial para a cultura da alface. Porém, quando utilizadas em doses menores, houve estímulo na germinação dessa cultura, com resultados superiores ao de substrato comercial, como verificado por Silva et al. (2012). Assim, deve-se tomar cuidado com a dose de cinzas para não elevar demasiadamente o pH do solo.

Houve elevação linear dos teores de P em função da aplicação das doses de cinzas de biomassa florestal no solo (Figura 2). As cinzas de biomassa florestal mostraram ser uma boa fonte de P para as plantas pois os teores desse elemento aumentaram significativamente após sua aplicação. Prado et al. (2002) também observaram que houve aumento significativo dos teores de P no solo com a aplicação de cinzas.

Os teores iniciais de P no solo arenoso (23 mg dm^{-3}) e no argiloso (4 mg dm^{-3}) aumentaram 1100 % e 350 %, respectivamente, após a aplicação de 20 t ha^{-1} de cinzas. Segundo a classificação proposta pela SBCS/NEPAR (2017), os teores iniciais de P estavam baixos no solo argiloso e altos no solo arenoso. Com aplicação de 20 t ha^{-1} de cinzas, esses teores se elevaram bastante e foram classificados como muito altos no solo argiloso e como uma condição a ser evitada no solo arenoso.

O solo arenoso apresentou valores maiores de P em relação ao solo argiloso devido ao maior efeito tampão que faz com que esse elemento seja mais retido nos

coloides. Segundo Brady e Weil (2013), o solo arenoso possui menor fator de capacidade ou efeito tampão em relação ao fósforo quando comparado com o solo argiloso. Machado et al. (2011) verificaram maior retenção de P em solos argilosos do que em arenosos em todas as doses de fertilizante fosfatado avaliadas devido à maior adsorção de P pelas argilas do solo.

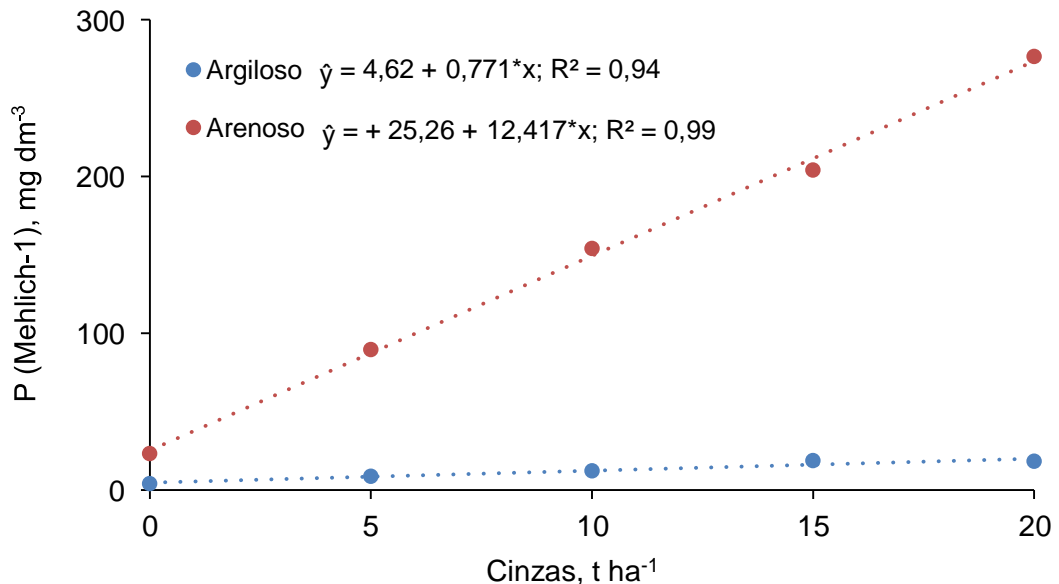


Figura 2. Teores de fósforo de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Falcão e Silva (2004) também verificaram menor retenção de P em solos arenosos do que em solos com maior teor de argila, apresentando correlação positiva com o teor de argila. A disponibilidade de P alcançada com a dose mais alta avaliada foi maior no solo arenoso. Souza et al. (2017) relataram diferença de 44,3 % na disponibilidade de P entre os solos arenoso e argiloso, mostrando a interação dos íons de fosfato com as argilas presentes no solo. Segundo Klein (2014), quanto menor o teor de argila no solo, menor a sua adsorção e maior sua quantidade na solução do solo.

Houve aumento linear nos teores de K no solo com aplicação das cinzas de biomassa florestal nos dois solos (Figura 3). Como a quantidade de K nas cinzas é relativamente alta, houve aumento significativo desse elemento em ambos os solos. Silva (2017) também verificou que a aplicação de cinzas foi suficiente para elevar os teores de K no solo. Segundo Campanharo et al. (2008), a adubação potássica na

agricultura era feita com a aplicação de cinzas até a produção de fertilizantes potássicos minerais.

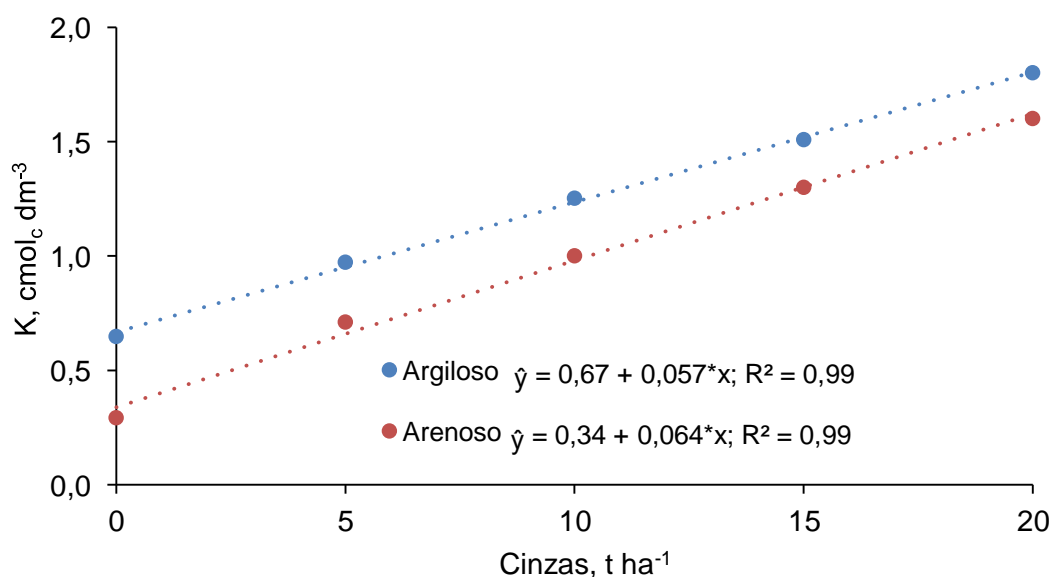


Figura 3. Teores de potássio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

A diferença entre o aumento de P e do K no solo com a aplicação das cinzas foi considerável. Os teores iniciais de K no solo arenoso (0,3 cmol_c dm⁻³) e no argiloso (0,6 cmol_c dm⁻³) aumentaram 433 % e 195 %, respectivamente, após a aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas. Segundo a classificação proposta pela SBCS/NEPAR (2017), os teores iniciais de K estavam altos nos dois solos e com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas, esses teores se elevaram e foram classificados como muito altos.

Além de alguns outros fatores, a quantidade de argila, em menor intensidade como no caso do P, é determinante para uma maior ou menor relação de K-trocável e K na solução do solo, conforme Werle et al. (2008). Ribeiro et al. (2014) constataram maior concentração de K no solo argiloso quando comparado ao solo arenoso. Eles também observaram maior mobilidade do K em solo arenoso, com carreamento desse elemento até 70 cm de profundidade, comprovando menor adsorção de K em solos arenosos.

A elevação linear dos teores de Ca e Mg tanto no solo argiloso quanto no solo arenoso foi observada com a aplicação das doses de cinza de biomassa florestal (Figuras 4 e 5).

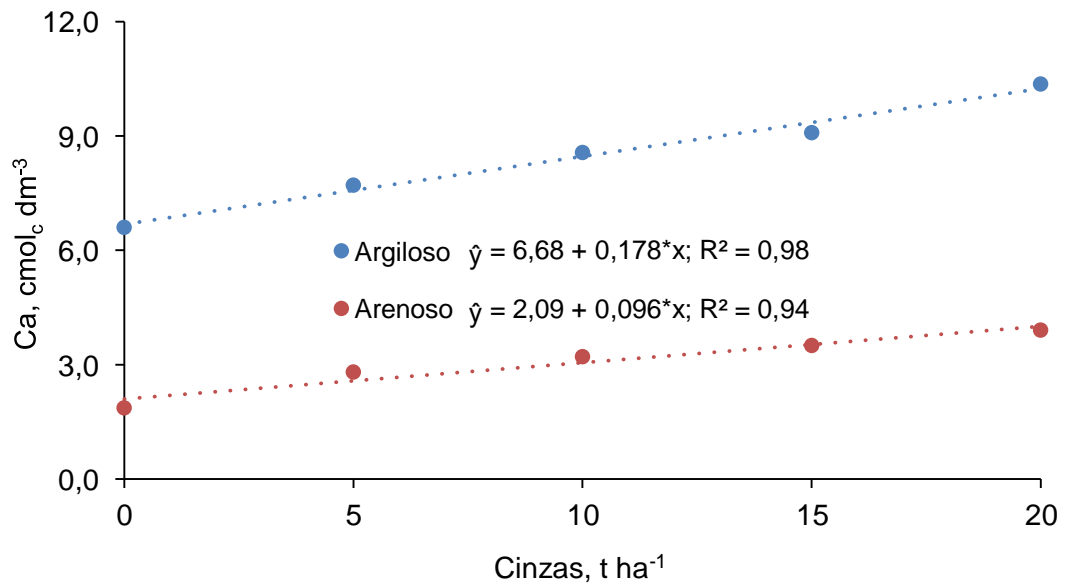


Figura 4. Teores de cálcio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Os teores de Ca se elevaram de 6,6 para 10,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo argiloso e de 1,9 para 3,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo arenoso, representando aumento de 58 % e 105 %, respectivamente. No caso do Mg, os teores de aumentaram de 3,5 para 4,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (37 %) no solo argiloso e de 0,5 para 1,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo arenoso (160 %). Os aumentos se referem ao teor inicial desses elementos no solo e aos teores obtidos após a aplicação de 20 t ha^{-1} de cinzas de biomassa florestal.

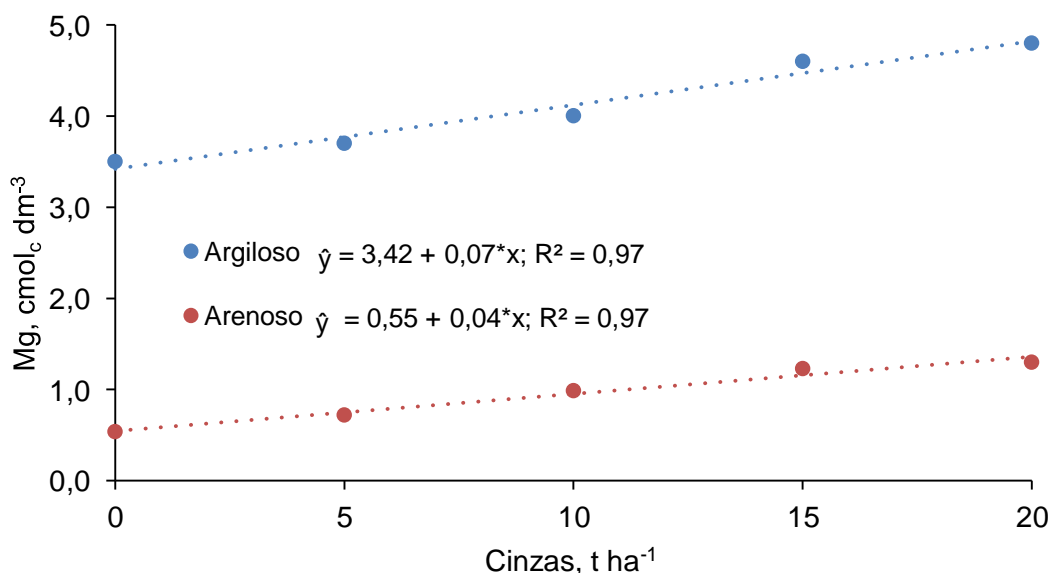


Figura 5. Teores de magnésio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

A elevação linear e significativa dos teores de Ca e Mg do solo com a aplicação de cinzas de biomassa florestal está relacionada à composição destas. As cinzas utilizadas possuem quase 10 % de Ca e cerca de 1 % de Mg (Tabela 2), o que representa grandes quantidades aplicadas desses dois macronutrientes (Tabela 4).

Bambolim et al. (2015) verificaram que aplicações crescentes de calcário resultaram em aumento linear no teor de Ca do solo. Isso mostra que a cinza de biomassa possui efeito semelhante no teor de Ca do solo em função da aplicação de calcário. Ainda, Maraschin et al. (2020) observaram elevação nos teores de Ca e Mg do solo com aplicação de Ca por esse corretivo possuir esses dois elementos em sua composição, assim como as cinzas utilizadas no experimento.

Magela (2015), ao analisar tipos de cinzas de origem de caldeiras industriais (madeira de origem desconhecida, bagaço de cana de açúcar, eucalipto e pinus), verificou que todas disponibilizaram Mg ao solo, destacando-se as de madeira de origem desconhecida e eucalipto.

A saturação por bases também aumentou em ambos os solos em função da aplicação das cinzas de biomassa florestal (Figura 6). Vargas e Marques (2017) verificaram a mesma tendência em dois tipos de solos em função da aplicação de doses de calcário.

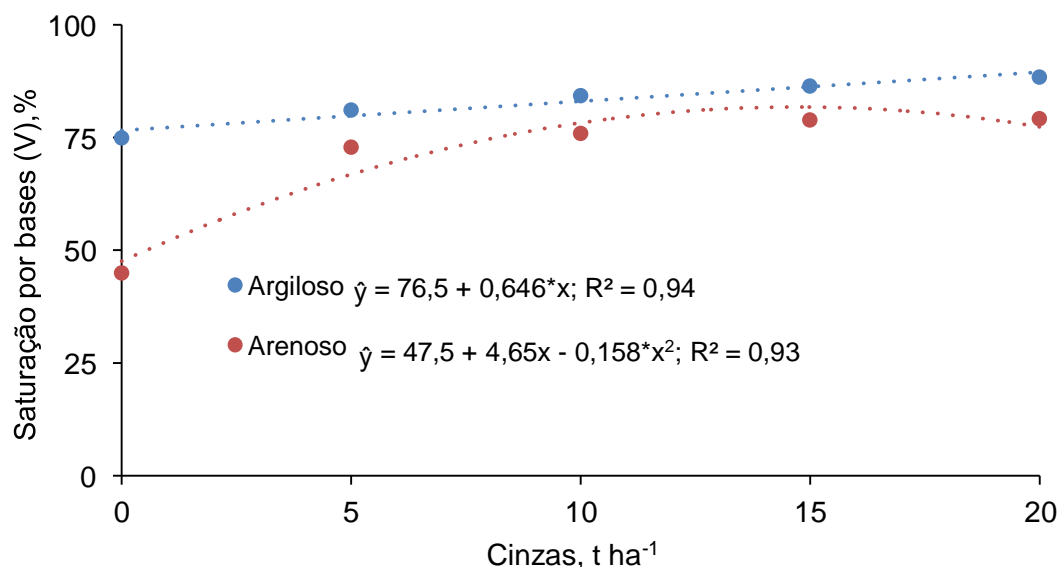


Figura 6. Saturação por bases em solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

O solo argiloso, que não recebeu aplicação das cinzas, estava com saturação por bases (Ca, Mg e K) na CTC em torno de 75 % e o arenoso, 45 %. No caso do solo argiloso, essa saturação por bases estava adequada para o cultivo da maior parte das culturas produtoras de grãos (cereais e leguminosas). No entanto, não estava adequada no solo arenoso. Segundo a SBCS/NEPAR (2017), o ideal para essas culturas é uma saturação por bases de 70 %. No solo arenoso, através de cálculo com auxílio da equação ajustada (Figura 6), 6,2 t ha⁻¹ de cinzas de biomassa florestal seriam necessárias para atingir a saturação por bases ideal de 70 %.

Araújo et al. (2006) destacam que a qualidade de um corretivo de acidez do solo depende de seu valor neutralizante (VN) e da granulometria de suas partículas (reatividade – ER). No presente trabalho, as cinzas utilizadas apresentavam valor neutralizante de 90,23 % e reatividade de 96,37 %. Se fosse um corretivo, seria de boa qualidade. Assim, como as cinzas são resíduos com muita variabilidade, os efeitos de sua utilização na correção da acidez do solo certamente dependerão dessas duas variáveis (VN e ER).

Em relação aos micronutrientes, os teores de Fe e Cu não foram alterados pela aplicação das cinzas de biomassa florestal em ambos os solos avaliados (Figuras 7 e 8). Os teores de Fe foram, em média, de 133 mg dm⁻³ no solo argiloso e 53 mg dm⁻³ no solo arenoso.

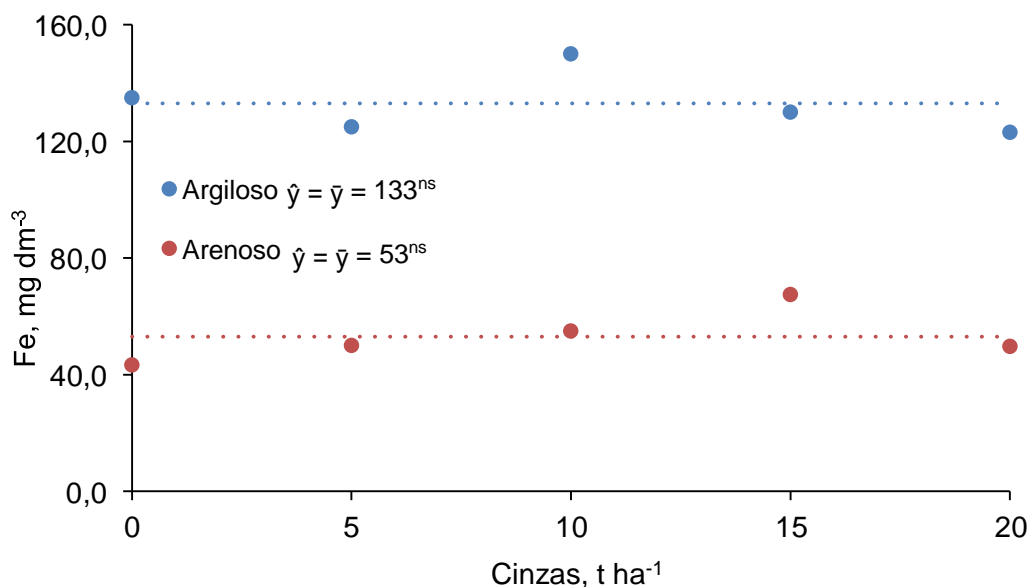


Figura 7. Teores de ferro de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

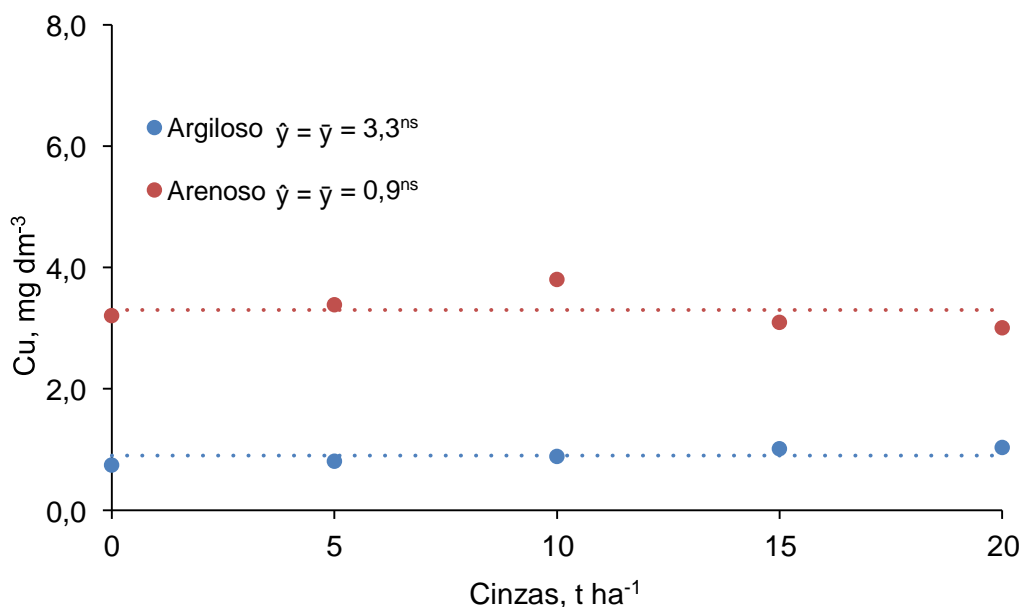


Figura 8. Teores de cobre de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

De um modo geral, o teor de Fe é elevado em solos tropicais, mas sua disponibilidade pode ser reduzida à medida que o pH e os teores de P são elevados no solo, conforme reportado por Prezotti e Guarçoni (2013). Esse fato não foi observado no presente trabalho, mesmo com pH e teores de P mais elevados,

principalmente nas doses mais elevadas de cinzas de biomassa florestal. No entanto, Sandrini (2010) verificou decréscimo nos teores de Fe no solo devido à aplicação de cinzas de casca de arroz.

Maeda et al. (2008) constataram que a aplicação de cinzas de biomassa florestal diminuiu os teores de Cu no solo à medida que havia aumento das doses e concluíram que isso poderia ter acontecido pelo efeito do pH mais elevado nesses casos. No entanto, Prado et al. (2002) observaram um efeito contrário e observaram aumento nos teores de B no solo com aplicação de cinzas. Assim, o efeito parece depender do tipo de solo e do tipo das cinzas avaliadas.

Nos dois solos avaliados os teores de Zn e Mn aumentaram com aplicação das doses de cinzas de biomassa florestal, ajustando-se ao modelo quadrático (Figuras 9 e 10). Apesar do alto valor do pH no experimento, o Zn se manteve elevado em todas as doses no solo argiloso. Conforme a classificação proposta por SBCS/NEPAR (2017), os teores de Zn estão altos nos dois solos. Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), pode ocorrer deficiência de Zn em pH elevado e ele poder ser retido pelas argilas, podendo dificultar a absorção pelas plantas.

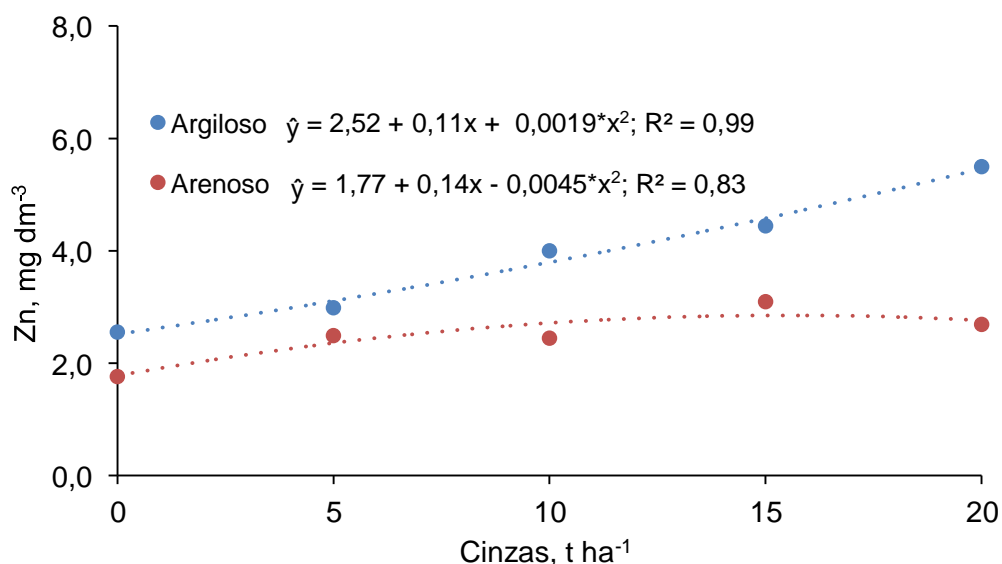


Figura 9. Teores de zinco de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Prado et al. (2002) verificaram que houve aumento nos teores de Mn na parte aérea das mudas de goiabeira com a aplicação de cinzas de biomassas no solo, o que

mostra maior disponibilização desse micronutriente no solo. Chirenje (2006) destaca que o uso da cinza aumentou substancialmente a alcalinidade e os níveis dos micronutrientes como Mn, Cu e Zn no solo.

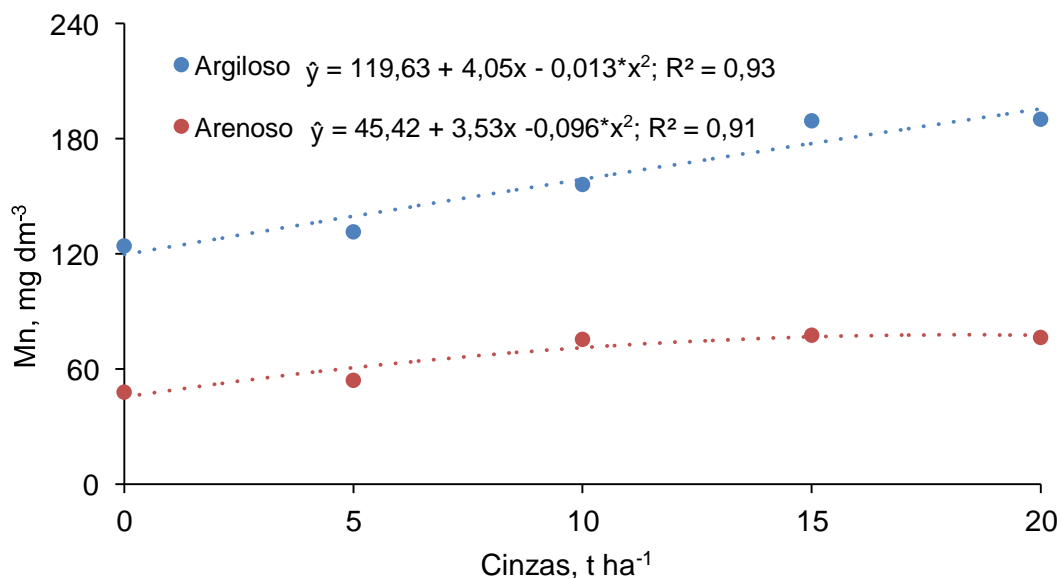


Figura 10. Teores de manganês de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Houve maior efeito no solo arenoso com a aplicação das cinzas do que no argiloso para a maioria dos atributos químicos e pH avaliados. Tal fato deve-se ao chamado efeito tampão que, segundo Prochnow (2014), é a capacidade que o solo possui em resistir ao aumento do pH e na liberação de nutrientes de sua fase sólida para a fase líquida. Esse poder tampão varia com a quantidade de matéria orgânica, teor e tipo de argila. Assim, solos com maiores teores de argila e matéria orgânica possuem maior poder tampão e resistem mais à mudança de pH, como é o caso. Dessa forma, uma maior quantidade de material corretivo, como as cinzas, é necessária para elevação do pH, correção da acidez do solo e liberação de nutrientes como o P e o K.

4.2. Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal

Avaliando o efeito das doses de cinzas de biomassa florestal na altura de plantas, verifica-se que a altura máxima das plantas, 86,7 cm, foi obtida com aproximadamente

11,2 t ha⁻¹ de cinzas (Figura 11). Arruda et al. (2017) constataram aumento de altura de plantas de girassol ornamental e Barreto (2008) constatou o aumento em plantas de eucalipto, ambos com a aplicação de doses de cinzas de eucaliptos.

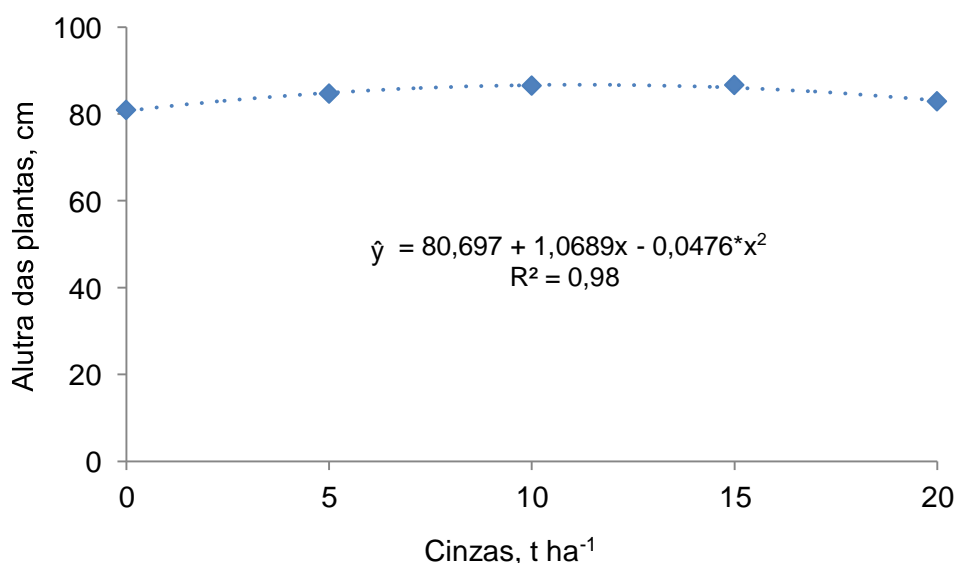


Figura 11. Altura de plantas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Bezerra (2013) verificou que a aplicação de cinzas como corretivo e fertilizante proporcionou maior desenvolvimento e crescimento na produção do capim-marandu cultivado em dois tipos de solo, sendo que a dose de 30 t ha⁻¹ de cinzas foi a melhor para o Argissolo Vermelho-Amarelo, enquanto em Latossolo Vermelho as melhores doses foram de 18 a 30 t ha⁻¹.

Jansone et al. (2020) ressaltam que a cinza é um corretivo e fertilizante com efeito de longo prazo, sobretudo com liberação de P e K no primeiro ano após a aplicação. O efeito perdurou no solo após dez anos do plantio das mudas de duas espécies florestais de clima temperado e as doses de 5 e 10 t ha⁻¹ de cinzas aplicadas antes do plantio aumentaram a produção da biomassa e a altura das árvores.

Dallago (2000) verificou incrementos de altura de plantas de acácia negra em cerca de 34 % com doses de 15 a 20 t ha⁻¹ de cinzas. Bonfim-Silva et al. (2013) verificaram aumento na altura de plantas de feijão guandu ao utilizarem 30 t ha⁻¹ de cinzas como alternativa de melhoria da fertilidade do solo. Sbruzzi (2017), avaliando o efeito das cinzas nas culturas de feijão e de milho, observou efeito positivo da aplicação em relação à testemunha.

O número de vagens e o aumento da produção em relação à testemunha foram observados na variável, com máxima produção alcançada com a dose na dose de 15,7 t ha⁻¹ (Figura 12).

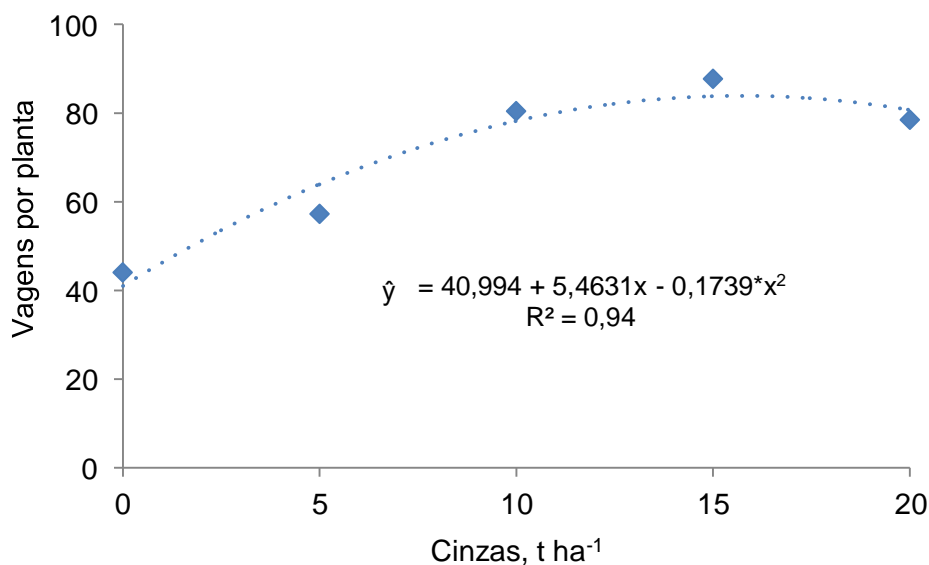


Figura 12. Vagens por planta de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Piva et al. (2014) observaram incremento significativo na produção de cachos de uva bordô com efeito linear para doses de cinzas aplicadas. Takenaka (2019) não verificou efeito das cinzas aplicadas no número de vagens por planta de amendoim, porém houve aumento significativo na massa seca das vagens.

A produtividade de grãos da soja foi significativamente influenciada pelas doses de cinzas de biomassa florestal. A produtividade máxima de 3926 kg ha⁻¹ foi alcançada com 17,6 t ha⁻¹ de cinzas (figura 13).

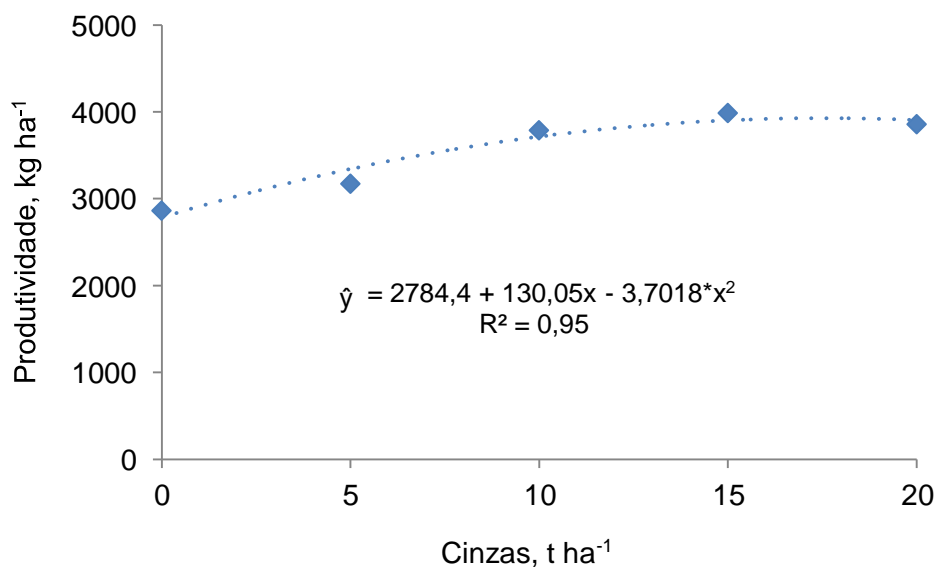


Figura 13. Produtividade de grãos da soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Souza et al. (2013) observaram o aumento de produção de biomassa fresca e seca de alface, constatando que as doses de cinza de 11,35 a 12,4 t ha⁻¹ proporcionaram os maiores valores, respectivamente. Kätterer et al. (2019) desenvolveram estudos a longo prazo sobre a aplicação de cinzas em condições de campo e aumentos de produtividade em oito de dez safras de milho e em cinco de oito safras de soja foram verificados com a aplicação das cinzas. Vääläinen et al. (2011), usando cinzas de madeira granuladas em comparação ao fertilizante químico, relataram que houve maior lucro com a utilização do resíduo, estimulando a reciclagem de nutrientes.

Sbruzzi (2017) obtiveram máxima produção de grãos de feijão com 15,5 t ha⁻¹ de cinzas. Bonfim-Silva et al. (2020) relatam que as cinzas de biomassa vegetal foram eficientes em proporcionar aumento na produção de folhas de cebolinha, representando aumento de 64,7 % com doses de 21,63 g dm⁻³, comparado à testemunha (sem aplicação de cinzas). Takenaka (2019) verificou um aumento de produtividade de grãos na cultura do amendoim, com máxima produção de 44 grãos por vaso com uma dose de 22,34 g dm⁻³ de cinza vegetal.

Em relação à massa de mil grãos, não houve diferença entre os tratamentos e a média foi de 156 g (Figura 14).

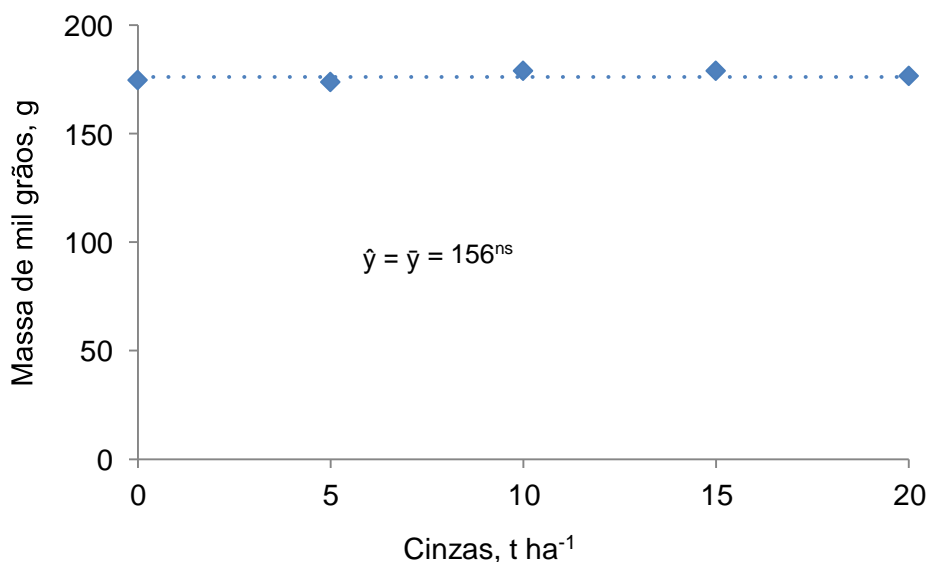


Figura 14. Massa de mil grãos de plantas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.

Em relação aos teores de macro e micronutrientes nas folhas da soja, os teores foram considerados adequados para a cultura em todos os tratamentos, conforme a SBCS/NEPAR (2017) (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de macro e micronutrientes em folhas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal e adubação mineral. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021

| Dose de cinzas | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | B | Mn |
|--------------------|--------------------|-----|------|------|-----|---------------------|------|------|------|
| t ha ⁻¹ | g kg ⁻¹ | | | | | mg kg ⁻¹ | | | |
| 0 | 48,0 | 2,8 | 20,2 | 12,0 | 4,8 | 9,3 | 27,7 | 49,7 | 66,1 |
| 5 | 48,3 | 2,9 | 18,3 | 10,7 | 3,9 | 8,2 | 28,5 | 46,8 | 59,9 |
| 10 | 51,7 | 3,0 | 20,7 | 11,9 | 4,7 | 9,6 | 32,5 | 47,1 | 63,6 |
| 15 | 50,0 | 2,9 | 19,5 | 10,5 | 4,2 | 8,2 | 32,9 | 45,6 | 60,8 |
| 20 | 49,3 | 2,8 | 18,5 | 10,2 | 4,1 | 8,1 | 27,8 | 46,8 | 60,1 |
| Média | 49,5 | 2,9 | 19,4 | 11,1 | 4,3 | 8,7 | 29,9 | 47,2 | 62,1 |

5. CONCLUSÕES

As cinzas de biomassa florestal proporcionaram correção da acidez do solo e aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, manganês e zinco tanto no solo de textura arenosa quanto no de textura argilosa. A adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal aumentou a altura das plantas, a produção de vagens e a produtividade de grãos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. Manual de gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. **Ministério da Saúde**, 2006. Disponível em:

<https://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf>. Acesso em junho de 2019.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PRETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTIVEL. **Anuário Estatístico 2010** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=31286>>. Acesso em: abril de 2020.

ARRUDA, A. J.; AZEVEDO, O. A. T.; FREIRE, O. L. J.; BANDEIRA, B. L.; ESTRELA, M. de W. J.; SANTOS, A. de J. S. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, n. 30 p. 1-13, 2016.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. de T. Fosforo. In: FERNADES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Vicósa: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 2006. p. 327-354.

BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N. F.; SEBEN-JUNIOR, G. F.; FERBONINK, G. F. Calcário líquido e calcário convencional na correção do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 34-38, 2015.

BARRETO, V. C. M. **Resíduo de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento do eucalipto**. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em eucaliptos spp. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, p. 105-134, 2000.

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

BEZERRA, M. L. B.; FILHO, M. L. de L. R.; GENTIL, O. de F. D. Adubação de agrião-da-terra e de rúcula com cinza vegetal. **Revista Agraria Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 85-93, 2019.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 1-18

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**. Brasília: LANARV, 1988. 104p.

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**, v. 29, p. 1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, M. E.; PINTO, F. R. M.; FERRAZ, F. P. A.; NONATO, J. J.; SILVA, A. J. T. Produção e eficiência no uso de água da cebolinha adubada com cinza vegetal em vasos Leonard adaptados. **Revista Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 37347-37373, 2020.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Ed). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 1-6.

BORLINI, C. M.; SALES, F. H. VIEIRA, F. M. C.; CONTE, A. R.; PINATTI, G. D.; MONTEIRO, N. S. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha, parte 1: características da cinza. **Cerâmica**, v. 51, p. 192-196, 2005.

BROCKERHOTF, E. G.; JACTEL, H.; PARROTA, J. A.; QUINE, C.; SAYER, J. Plantation forest and biodiversit: oxymoron or opportunity? **Biodiversity and Conservation**, v. 17, n. 5, p. 925-951, 2008.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JUNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutrientes e corretivo de solo. In Congresso Internacional de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, **Anais**. Asociación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, Punta del Leste, v. 1, p. 1-9, 2006.

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.

CETENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUZA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CHIRENJE, T. MA, L. Q. Impact of high- volume wood- fired bolier ash amendment on soil propertiesand nutrients. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 1-2, p. 1-17, 2002.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetic base of soybean: A multidiciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciencies**, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.

CONAB. **Série histórica das safras, 2019**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em setembro de 2020.

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

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)**. 64 f Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** (SIBCS). Rio de Janeiro-RJ. EMBRAPA-SPI, 2009.

EMBRAPA FLORESTA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantações Florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**, Colombo 2015. Disponível em: <<http://acr.org.br/download/biblioteca/01.pdf>>. Acesso em agosto de 2020.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v. 34, p. 337-342, 2004.

FREITAS, M. C. de M. a Cultura da soja no Brasil: O crescimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Conhecer. Centro Científico Conhecer**, v. 7, n. 12, p. 1-11, 2011.

FLOELKEL, B. E. C. Eucalipto o Brasil, história de pioneirismo. **Visão Agrícola**, n. 4, p. 66-69, 2005.

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, p. 28-37. 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. **Anais**. Vitória/ES, 2009.

HORÁK, J.; BRESTOVANSKÁ, T.; MLADENOVIC, S.; KOUT, J.; BOGUSCH, P.; HALDA, J. P.; ZASADIL, P. Green desert?: Biodiversity patterns in forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 343-348, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola 2018**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em julho de 2020.

INSAM, H.; KNAPP, B.A. **Recycling of biomass Ashes**. Vol VIII, Berlin: Springer Verlag, 2011. 164 p.

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

JACOBI, P. R. B.; BENSON, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: Desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JANSONE, B.; SAMARIKS, V.; OKMANIS, M.; KLAVINA, D.; LAZDINA, D. Effect of high concentrations of wood ash on soil properties and development of Young norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) **Sustainability**, v. 12, 9479, 2020.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Universidade de Passo Fundo, ed. 3, 2014. 263 p.

KÄTTERE, T.; ROOBROECK, D.; ANDRÉN, O.; KIMUTAI, G.; KARLTUN, E.; KIRCHMANN, H.; NYBERG, G.; VANLAUWE, B.; NOWINA de R. K. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. **Field Crops Research**, v. 235, p. 18-26, 2019.

LOO, S. V.; KOPPEJAN, J. **The handbook of biomass combustion and co-firing**. London: Routledge, 2008. 442 p.

MACHADO, J. V.; SOUZA, E. H. C.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, H. G. Curva de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato de monoamônio, **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MAEDA, S.; SILVA, D. H.; BELLOTE, J. F. A.; SANTANA, Q. L. D.; SALDANHA, A. A. LL.; DEDECER, A. R.; LIMA, A. E. Cinza de biomassa Florestal como insumo para plantio de pinos taeda em cambissolo e latossolo em Vargem Bonita, SC. **Comunicado Técnico**, Colombo, PR, 2007.

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**, n. 56, p. 43-52, 2008.

MAGELA, M. L. M. **Cinza de biomassa vegetal como corretivo de acidez de solo fonte de cálcio, magnésio e silício**. (Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, F. J.; VIEIRA, R. C. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Revista Nativa**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020.

MELO, P. C.; FURTINI NETO, A. E. Avaliação do *Lithothanum* como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.3 p.508-519, 2003.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29**, projeções de longo prazo. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todaspublicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/>>. Acesso em abril de 2020.

MIRANDA, de N. L.; MIRANDA, de C. C. J.; REIN, A. T.; GOMES, C. A. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p.563-572, 2005.

MORUJO, A. F. **Estudos da utilização de cinza (volantes e de fundo) na remoção de fosfato**. 64 f, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente,) Universidade Nova Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625 p.

MOREIRA, A. A. A.; VERMELHO, L. C.; ZANI, M.C. Estudo da argamassa polimérica de blocos e tijolos segundo aspectos econômicos, mercadológicos e de clima organizacional. **Espacios**, v. 38, n. 53, p. 14-28, 2017.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.385-414.

OSALKI, 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**, v. 11, n. 1, p. 197-205, 1991.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PRADO, R. M.; CORREA, M. C. M.; NATALE, W. Efeitos da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1493-1500, 2002.

PREZOTTI, C. L.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Vitória ES, 2013. 104 p.

PROCHNOW, L. I. Avaliação e manejo da acidez do solo. **Informações agronômicas**. IPNI, nº 146, 2014.

PIVA, R.; BOTELHO, V. R.; MÜLLER, L. M. M.; AYUB, A. R.; ROMBOLA, D. A. Adubação de manutenção em videiras cv. Bordô utilizando-se cinza vegetais e esterco bovino em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 219-224, 2014.

RIBEIRO, P. H. P.; NETO, L. A. J.; TEIXEIRA, B.M.; GUERRA, C. O. H.; SILVA, da F. N.; CUNHA, N. F. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em latossolo Vermelho amarelo e nitossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 403-410, 2014

SÁ, G. S. **Gestão de cinza de biomassa e avaliação do potencial fertilizante**. 2013 65 p. Dissertação (Mestrado, Departamento de Ambiente Ordenado), Universidade de Aveio, 2013.

SANDRINI, C. W. **Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição de cinza de casca de arroz**. 70 f. Dissertação (Mestrado Ciências do solo) Universidade Federal de Pelotas, 2010.

SANTOS, H. G.; BHERING, S. B.; BOGNOLA, I. A. Distribuição e ocorrência dos solos no Estado do Paraná. In: BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. (Ed.). **Mapa de solos Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. p. 49-74.

SBRUZZI, E. K. **Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SBCS/NEPAR – Sociedade Brasileira de Ciências do Solo/Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SILVA, F. R.; ALBURQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARAGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal, alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 6, p. 475-482, 2009.

SILVA, C. G.; COSTA, A. B.; FONSECA, A. M.; TERRA, M. A.; LEONEL, F. F. Qualidade ideal de cinza vegetal na germinação de sementes de alface. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI). Ciências tecnologia e Inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional: **Anais**. Palmas, 2012.

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

SILVA, F. A.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, R. W. **Biocarvão de palha de café e casca de eucalipto como condicionadores do solo**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre-ES, 2017.

SOUZA, R. V. PEGORARO, R. F. REIS, S. T. Disponibilidade de fósforo e produção de biomassa de pinhão manso em solos com distintas texturas e de doses de fósforo. **Revista Agroambiente**. v. 11, p. 1-10, 2017.

SOUZA, R. A.; 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. **Cultivando Saber**, v. 6, n. 4, p. 60-73, 2013.

TAKENAKA, P. Y. **Características produtivas de cultivares de amendoim adubadas com cinza vegetal**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2019.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS – Boletim Técnico, n. 5, 1995. 174p.

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes**: Cálculo de fórmulas comerciais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2011. 29 p. (Boletim Técnico IAC, 208).

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, p. 11-17, 2014.

USDA – United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. Circular Series WAP June 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em julho de 2020.

VARGAS, G. MARQUES, R. Crescimento e nutrição de angico e canafístula sob calagem e gessagem. **Florestae Ambiente**, v. 24, p. 1-10, 2017.

VÄÄTÄINEM, K.; SIRPARANTA, E.; RÄISÄNEM, M.; TAHVANAINEM. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 8, p. 3335-3341, 2011.

VECANTO, A. Z. **Anuário Brasileiro da soja 2010**. Santa Cruz do sul: Gazeta Santa Cruz, 2010. 144p.

WEIRICH NETO, P. H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v. 30, p. 257-261, 2000.

WERLE, R.; GARCIA, A. R.; ROSOLEM, A. C. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2279-2305, 2008.