

UNICESUMAR – UNIVERSIDADE CESUMAR
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIAS LIMPAS

GABRIELA MAGDALENA SARTORELLI DA SILVA MARGONAR

USO SUSTENTÁVEL DA CINZA DE EUCALIPTO NO CULTIVO
DE *Beta vulgaris*

MARINGÁ
2021

GABRIELA MAGDALENA SARTORELLI DA SILVA MARGONAR

USO SUSTENTÁVEL DA CINZA DE EUCALIPTO NO CULTIVO
DE *Beta vulgaris*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIAS LIMPAS.
Orientadora: Dr^a. Edneia Aparecida de Souza Paccola. Coorientador: Dr. Edison Schmidt Filho.

MARINGÁ
2021

GABRIELA MAGDALENA SARTORELLI DA SILVA MARGONAR


Uso sustentável da cinza de eucalipto no cultivo de
Beta vulgaris

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA



Prof.ª. Dr.ª. Edneia Aparecida de Souza Paccola
Universidade Cesumar (Presidente)



Prof.ª. Dr.ª. Francielli Gasparotto
Universidade Cesumar



Prof.ª. Dr.ª. Cristhiane Michiko Passos Okawa
Universidade Estadual de Maringá

Aprovado em: 23 de fevereiro de 2021.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M329u Margonar, Gabriela Magdalena Sartorelli da Silva.
Uso sustentável da cinza de eucalipto no cultivo de *Beta vulgaris* / Gabriela Magdalena Sartorelli da Silva Margonar. – Maringá-PR: UNICESUMAR, 2021.
49 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Edneia Aparecida de Souza Paccola.

Coorientador: Prof. Dr. Edison Schmidt Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Cesumar - UNICESUMAR, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Maringá, 2021.

1. Beterraba. 2. Fertilidade. 3. Resíduos. 4. Biomassa vegetal. I. Título.

CDD – 631.86

Roseni Soares – Bibliotecária – CRB 9/1796
Biblioteca Central UniCesumar

Ficha catalográfica elaborada de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em sua infinita bondade, que proporcionou todas as oportunidades para que o meu caminho chegasse até aqui.

Aos meus pais Mauro e Eunice, que me ensinaram valores morais e que me incentivaram por toda a minha vida, me socorrendo em cada um dos momentos que foram necessários.

Aos meus filhos Arthur, Miguel, Helena e Sophia, que foram minha força, em todas as adversidades e os motivos de chegar até o final desta trajetória.

Ao meu marido Thiago e meu amor, que se dedicou, abrindo mão de muitas coisas, para que eu pudesse realizar todo o curso e com quem devo desfrutar a realização dos sonhos gerados neste período.

A minha orientadora, Professora Dra. Edneia Aparecida de Souza Paccola, que não permitiu que eu desistisse de chegar ao fim do curso e da entrega deste trabalho com dedicação e companheirismo.

Ao meu compadre e chefe, José Willian Galacini, que me concedeu a possibilidade de realizar o mestrado, abrindo mão de algumas horas do meu dia de trabalho.

Agradeço aos meus amigos, aos mais próximos, que me aguentam no dia a dia e me ajudam, sempre que necessário, e principalmente aos mais distantes, que enviaram palavras de motivações de onde estiveram, mas que vão comemorar as vitórias junto a mim.

Agradeço aos professores do mestrado, pela força especial dada por cada um, de alguma forma durante o curso, e principalmente aos presentes neste banca, à quem possuo extremo carinho.

Por fim, agradeço à BSBIOS, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa com as cinzas de caldeira.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

Roberto Shinyashiki

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo textural para classificação granulométrica.....	14
Figura 2 – Valores médios do número de folhas, diâmetro de raiz e massa seca da parte aérea de <i>Beta vulgaris</i> L. cultivadas sob solo argiloso e arenoso.....	35
Figura 3. Diâmetro e comprimento da raiz de beterraba, em função das doses de cinza de cavaco de eucalipto.....	37
Figura 4. Massa verde e seca da parte aérea das plantas de beterraba, sob diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto.....	38
Figura 5. Massa verde e massa seca da raiz das plantas de beterraba, sob diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto.....	40
Figura 6. Massa verde e massa seca da raiz das plantas de beterraba, sob diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto, em solo argiloso e arenoso.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização da cinza de cavaco de Eucalipto utilizada no experimento.....	29
Tabela 2. Característica física dos solos utilizados no experimento (%).	30
Tabela 3. Características químicas do Latossolo Vermelho Distrófico e do Argissolo Vermelho Amarelo.....	30
Tabela 4. Análise química dos solos arenoso e argiloso, incorporados com diferentes doses de cinza.....	32
Tabela 5. Valores das estimativas dos contrastes para as variáveis analisadas na cultura da beterraba sob aplicação de diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 GERAL.....	11
2.2 ESPECÍFICOS.....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1 A produção de alimentos e o aumento da população mundial.....	12
3.2 O solo e seus atributos.....	13
3.3 Fertilizantes.....	19
3.4 Cinza de Biomassa Vegetal.....	20
3.5 A cultura da beterraba.....	23
4 METODOLOGIA.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6 CONCLUSÃO.....	42
7 REFERÊNCIAS.....	43

RESUMO

A preocupação com a origem e o modo de produção agrícola sustentável tem despertado interesse na realização de pesquisas com produtos oriundos da agroindústria, que gera grande volume de resíduos orgânicos. Estima-se uma produção anual no mundo de 750 milhões de toneladas de cinza e apenas metade deste volume tem reutilização de uma forma sustentável. A presente dissertação teve como objetivo avaliar diferentes dosagens de cinza de cavaco de eucalipto, 0; 7; 14; 21; 28 e 35 g/dm³, no desenvolvimento da beterraba (*Beta vulgaris* L.), em dois tipos de solo, um argiloso e outro arenoso. O delineamento experimental foi realizado em blocos inteiramente casualizados, com arranjo fatorial de 2X6, sendo dois tipos de solos e seis tratamentos, tendo sete repetições cada arranjo. Os atributos físicos e químicos dos dois solos e da cinza de eucalipto foram avaliados. As variáveis analisadas foram números de folhas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz, massa verde da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa verde da raiz, massa seca da raiz de beterraba. Os resultados foram submetidos a análise de variância (5%) , ao Teste de Tukey (5%) e teste de regressão de probabilidade a 5%. A cinza utilizada apresentou quantidade razoável de nitrogênio (N) e cálcio (Ca) e apenas traços de Magnésio (Mg), com alta relação Ca/Mg e pH alcalino. Observou-se um aumento nos teores dos nutrientes no solo, assim como reduziu a disponibilidade de Al, elemento tóxico para a planta, com aumento de pH, deixando os nutrientes essenciais em melhor disponibilidade para serem absorvidos no sistema radicular da planta. Os teores de MO, P, K, Ca, Mg no solo sofreram elevação, de acordo com o aumento das doses aplicadas, melhorando o pH, CTC, SB e V%, proporcionando melhor desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da planta de beterraba. O solo argiloso foi o que demonstrou melhores respostas com a incorporação da cinza vegetal, tanto nas características químicas do solo, quanto no desenvolvimento da beterraba. Os resultados indicaram que a cinza vegetal como corretivo e fertilizante, melhora as características químicas do solo. O fornecimento de cinzas proporcionou um maior acúmulo de nutrientes nas raízes da beterraba e, conseqüentemente, contribuiu para maior diâmetro destas raízes, característica desejada do ponto de vista comercial. A dose de cinza vegetal que proporcionou melhores características biométricas e acarretou em maior produção de beterraba foi de 28 g/dm³.

Palavras-chave: Beterraba, fertilidade, resíduos, biomassa vegetal.

ABSTRACT

The preoccupation about the origin and the mode of sustainable agricultural production has aroused interest in conducting research with products from the agribusiness that generates a large volume of organic waste. Annual production in the world is estimated at 750 million of tons of ash and only half of this volume is reused in a sustainable way. The present dissertation aimed to evaluate different dosages of eucalyptus chip ash, 0; 7; 14; 21; 28 and 35 g/dm³, in the development of beet (*Beta vulgaris* L.), in two types of soil, a clayey and another sandy. The experimental design was developed in completely randomized blocks, with a 2X6 factorial arrangement, with two types of soil and six treatments, with seven repetitions each arrangement. The physical and chemical attributes of the two soils and the eucalyptus ash were evaluated. The variables analyzed were leaf numbers, root diameter, root length, green mass of the aerial part, dry mass of the aerial part, green mass of the root, dry mass of the beet root. The results were submitted to an analysis of variance (5%), the Tukey test (5%) and a 5% probability regression test. The ash utilized had a reasonable amount of nitrogen (N) and calcium (Ca) and only traces of Magnesium (Mg), with a high Ca / Mg ratio and alkaline pH. It was possible observe an increase in the levels of nutrients in the soil, as well as reduced availability of Al, a toxic element for the plant, with an increase in pH, leaving the essential nutrients in better availability to be absorbed in the plant's root system. The levels of MO, P, K, Ca, Mg in the soil increased, according to the increase of the applied doses, improving the pH, CTC, SB and V%, providing better development of the root system and the aerial part of the plant beetroots. The clayey soil was the one that agreed with the best responses with the incorporation of vegetable ash, as in the chemical characteristics of the soil as in the development of the beet. The results indicated that vegetable ash like a corrective and fertilizer improves the chemical characteristics of the soil. The supply of Ashes provided a greater accumulation of nutrients in the roots of the beet and, consequently, contributed to greater roots of these roots, a wanted characteristic from the commercial point of view. The dose of vegetable ash that offers the best biometric characteristics and leads to greater beet production was 28 g/dm³.

Keywords: Beet, fertility, waste, vegetable biomass.

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo são gerados milhões de toneladas de resíduos provenientes de atividades agroindustriais, sendo o Brasil uma das maiores potências agrícolas, e em contrapartida, um dos maiores produtores de resíduos agroindustriais do mundo. Dentre os principais culturas geradoras de resíduos agroindustriais, podemos citar no ano de 2020, a soja, com uma produção 124,8 milhões de toneladas de grãos, o milho, com 102,5 milhões de toneladas e a cana-de-açúcar, com 642,7 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Nas indústrias de papel e celulose, assim como em diversas outras indústrias processadoras, a energia gerada no processo de produção ocorre através da queima de biomassa florestal, gerando uma grande quantidade de cinza. Esta cinza, que é o resíduo gerado da produção de energia, pode ser utilizada como fertilizante na agricultura. De acordo com Izquierdo e Querol (2012), estima-se que sejam produzidos anualmente no mundo 750 milhões de toneladas de cinza e apenas metade deste volume tem reutilização de uma forma sustentável como condicionador e fertilizante para o solo.

A destinação dos resíduos gerados através das indústrias de processamento é um problema, pois o seu descarte adequado representa um custo a mais no processo, além de representar um problema ambiental devido a sua continua disposição no meio ambiente (EMBRAPA, 2014).

Neste contexto, as aplicações para agregar valor aos resíduos como a produção de plantas (TERRA et al, 2014; MARCO et al, 2012; PRADO et al, 2020) têm tornado o processo produtivo mais sustentável, impedindo o descarte irregular e a redução no custo do tratamento deste, para dispensá-lo.

Basu *et al.* (2009) em uma revisão sobre a utilização das cinzas na agricultura destacam como principais vantagens em sua utilização, sua capacidade de melhorar as propriedades físicas do solo, o controle de pH do solo e o aumento da capacidade de retenção de água pelo solo. Quanto à sua utilização para nutrição do solo, destaca que as cinzas possuem nutrientes essenciais para o solo como Cálcio, Ferro, Manganês e Potássio, além de elementos como Boro, Selênio e Molibdênio.

A utilização de cinzas na agricultura é considerada por muitos como ambientalmente correta, devido à utilização de todos os resíduos no processo de produção, mas uma grande

barreira para a utilização das cinzas como nutriente no cultivo de plantas, é o baixo nível de Nitrogênio, nutriente essencial na agricultura (AHMARUZZAMAN, 2010).

A sugestão da utilização agrícola da cinza vegetal como uma alternativa viável e ecologicamente correta, possibilita o aproveitamento do resíduo, além de devolver ao ambiente parte dos nutrientes extraídos pelas plantas e armazenados na biomassa que foram retirados na queima. (BONFIM-SILVA, et al. 2013).

Assim acredita-se que a incorporação da cinza de cavaco de eucalipto contribuirá para diminuir os problemas ambientais oriundos do acúmulo desse material no meio, promoverá a sustentabilidade das cadeias produtivas, melhorará a disponibilidade de nutrientes no solo incrementando a produtividade das culturas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar diferentes dosagens de cinza de cavaco de eucalipto no desenvolvimento de beterraba (*Beta vulgaris* L.), em dois tipos de solo, um argiloso e outro arenoso.

2.2 Específicos

- Caracterizar a composição química da cinza de cavaco de eucalipto e a composição físico-química de dois tipos de solos, um argiloso e outro arenoso.
- Analisar o efeito das cinzas sobre as seguintes propriedades do solo: CTC (capacidade de troca catiônica), SB (saturação de bases=V%), MO (Matéria Orgânica), Al (alumínio), pH e teores de nutrientes em dois tipos diferentes de solo.
- Avaliar por meio de indicadores biométricos, a produtividade comercial da beterraba produzida com o uso da cinza, em dois diferentes tipos de solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A produção de alimentos e o aumento da população mundial

O alimento é o melhor remédio, escreveu Hipócrates, o pai da Medicina, há 2.500 anos (NITZKE, 2012). Brito & Freitas (2004), afirma que todas as pessoas devem ter direitos a alimentação segura, saudável, em quantidade e qualidade suficientes para garantir a vida. Haja visto que a insegurança alimentar se encontra associada ao acelerado processo de degradação das bases econômicas, sociais, biológicas e culturais da agricultura familiar ocorrido nas últimas décadas.

O aumento exponencial da população humana e as políticas agrárias desenvolvidas têm afetado a produção de alimentos com a agricultura tradicional, na qual predominam as técnicas intensivas, como o incentivo no uso de agrotóxicos, apresentando consequências graves como poluição do ambiente e o esgotamento dos recursos naturais (COSTA, 2010).

Os fatores que se caracterizam por apresentarem um grande potencial de ocasionar impactos substanciais no sistema agroalimentar, destacam-se além do aumento populacional, a crescente urbanização, o êxodo rural e a expansão da renda per capita. São ainda relevantes as mudanças climáticas globais, os avanços da ciência, tecnologia e inovação agropecuária; a tecnologia da informação e comunicação e a crescente inter-relação entre mercados agrícolas e de energia limpa (EMBRAPA, 2014).

Projeções já conhecidas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura indicam que a população mundial alcançará cerca de 9,5 bilhões de pessoas em 2050, estimando que haverá necessidade de aumentar em 70% a produção de alimentos, não sendo esta produção justificada apenas pelo aumento populacional, mas por diversos outros fatores (FAO, 2012).

Como um dos principais candidatos a atender essa demanda, o Brasil se destaca por ser o país que apresenta as condições mais favoráveis para o aumento de sua produção, sem comprometer outros fatores da produção. Entretanto, a oferta suficiente de alimentos não assegura a sua disponibilidade para a população, visto que, segurança alimentar está diretamente relacionada à distribuição de renda (EMBRAPA, 2014).

Maluf et al. (2015) discutem o papel dos modelos e contribuem para o que denominam "Agricultura Sensível à Nutrição", como um conceito que promove a alimentação saudável, e com ela a garantia de segurança alimentar e nutricional, derivando de sistemas alimentares mais

justos socialmente e ambientalmente sustentáveis. Portanto, a importância da diversidade de alimentos produzidos e consumidos ganha reconhecimento, unindo as pontas entre produção e consumo de uma dieta saudável.

A produção de alimentos requer considerações sobre os elementos necessários para que se promova a sua sustentabilidade, ou seja, o atendimento às demandas de ordem econômica, ambiental e social da geração presente sem afetar o suprimento das gerações futuras (EMBRAPA, 2014).

3.2 O solo e seus atributos

O solo é essencial para a produção de alimentos, sendo que 99% da produção de alimentos e biomassa é dependente deste. (FAO, 2004). Muitas características do solo afetam diretamente a produtividade das culturas quando em desordem, sendo um fator limitante no caso de cultivos seguidos e de monocultivos, que tendem a diminuir a fertilidade do solo. Entretanto, as pessoas têm atitudes de pouca consciência e sensibilidade em relação ao solo, o que contribui para a sua degradação, seja pelo seu mau uso, seja pela sua ocupação desordenada (MUGGLER, 2006).

Solo é a camada superficial da crosta terrestre, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas, originado pelo intemperismo de rochas e minerais. Possui fase sólida, líquida, gasosa e biológica, sendo meio para o desenvolvimento de plantas através da absorção radicular de ar, água e nutrientes, sofrendo influência de matéria orgânica e microrganismos presentes no mesmo. (RAIJ, 1991).

Entre as principais finalidades do solo, é possível destacar (BLUM, 1998):

- meio de suporte para a produção de biomassa – sendo substrato para o sistema radicular de plantas;
- regulador ambiental – funcionando como filtro, acumulador e transformador de compostos;
- reserva de biodiversidade – banco de sementes e habitat de microrganismos;
- fonte de matérias-primas – extração de argila, areia, minerais e outros;
- suporte de infraestrutura humana – base para construção de edificações;

- suporte de patrimônio natural e cultural – áreas protegidas, vestígios arqueológicos.

O solo é constituído por partículas unitárias que podem ser orgânicas ou inorgânicas, tendo tamanhos, quantidade e formas diferentes. A quantidade das partículas define sua textura, que designa a proporção das frações de areia, silte e argila presentes no solo e permite sua classificação granulométrica, de acordo com as classes texturais, como apresentado na figura 1 (LOPES, 1998).

Em geral, os solos podem ser considerados como arenosos (leves/ partículas grossas), argilosos (pesados/partículas finas) e de textura média. Também possui partículas finas a matéria orgânica, sendo que estas possuem alta atividade de superfície (retenção de cátions, água e adsorção de fósforo) (RAIJ, 1991).

As pequenas partículas do solo levam o nome de colóides. Os colóides possuem carga negativa e atraem e retêm partículas com cargas positivas, como um ímã. Um elemento com carga elétrica é denominado íon; os íons que possuem cargas positivas, são chamados de cátions (potássio, sódio, hidrogênio, cálcio e magnésio) e os que possuem cargas negativas, são chamados de ânions (nitrato e sulfato). A agregação dos colóides no solo de diferentes tamanhos, que ocorrem por atração entre as partículas e através de agentes cimentantes, determinam a estrutura do solo (LOPES, 1998).

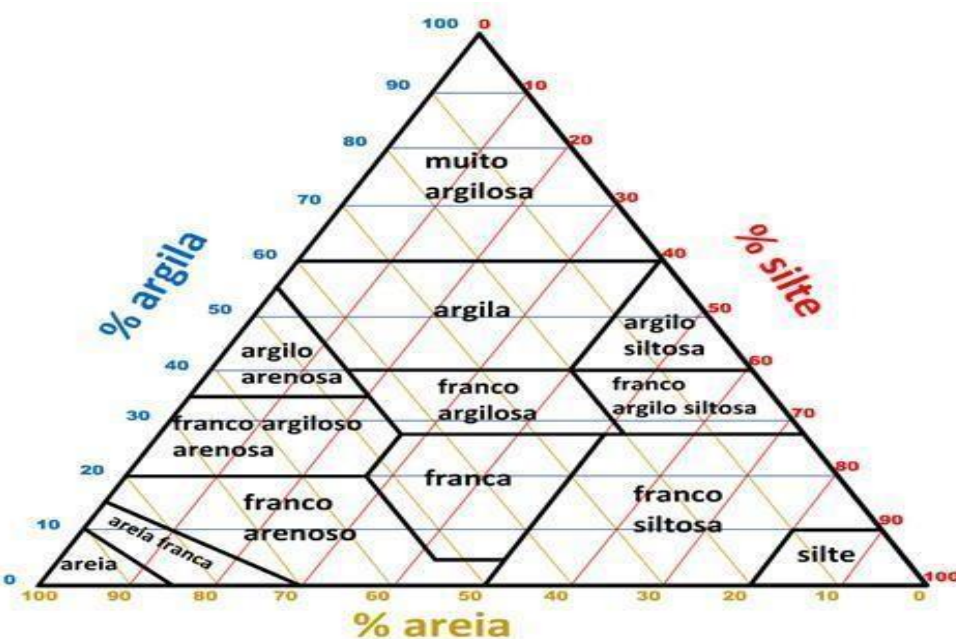


Figura 1 - Triângulo textural para classificação granulométrica. Fonte: Quoos, 2021.

Os espaços existentes entre as partículas, devido ao tamanho variado dos colóides, podem ser preenchidos por água e ar, determinando a porosidade do solo e são designados de acordo com sua dimensão, em macroporo ou microporo (RAIJ, 1981). Solos argilosos, devido ao tamanho de suas partículas, possuem pequenos poros, e os arenosos, poros maiores; assim, solos arenosos retêm pouca água por drenar mais facilmente a água presente nos poros, entretanto os argilosos, embora retenham mais fortemente água e contra as forças da gravidade, encontram-na indisponível (LOPES, 1998).

Miranda et al. (2006) afirmam que o solo não é preenchido por água pura, mas por diversos solutos que constituem a fase líquida do solo, denominada solução do solo. É na solução que ocorre a absorção de elementos químicos pelas raízes, sendo que a disponibilidade dos íons é controlada por várias reações na própria solução.

A quantidade de água presente no solo, após o fluxo gravitacional, é definida como capacidade de campo. Em relação a água contida no solo, quando as plantas já secaram definitivamente é denominado de ponto de murcha permanente; neste ponto, a água está tão retida, que as plantas não conseguem utilizá-la. A água disponível para as plantas é a quantidade presente no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (LOPES, 1998).

Camargo e Alleoni (1997) afirmam que quando os colóides sofrem rearranjo, por pressão, os poros são reduzidos e substituídos pelas próprias partículas, elevando a densidade do solo e provocando a compactação. Quando há compactação, a porosidade diminui, interferindo na permeabilidade do solo e disponibilidade dos nutrientes e da água.

Em relação a aeração do solo, os poros ainda apresentam oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2), sendo este último produzido pela respiração das raízes das plantas e microrganismos presentes no meio. A respiração das raízes é essencial para processos metabólicos das plantas, principalmente para absorção de íons (RAIJ, 1991).

Os solos apresentam ainda em sua composição a matéria orgânica (MO), que são resíduos da decomposição, em diferentes graus, de plantas e animais. É importante ao solo para melhorar suas condições físicas, melhorar a capacidade de infiltração, fornecer nutrientes para as plantas, atuar na agregação das partículas do solo, é responsável pela capacidade de troca catiônica e indicador de qualidade do solo. E embora seja tão importante para o solo, a matéria orgânica é encontrada em pequenas quantidades, estando mais disponível nas camadas superficiais do solo, variando de solo para solo, devido a mineralização, que transforma moléculas orgânicas em compostos inorgânicos (GOEBEL et al. 2011; CARTER, 2001).

A matéria orgânica em seu grau maior de decomposição se torna escurecida e estável, não podendo ser identificada a origem, sendo denominada húmus, que incorpora carbono e nitrogênio ao solo, inexistentes no material de origem, tendo ainda em sua composição hidrogênio (H), oxigênio (O), enxofre (S) e fósforo (P). Outros elementos minerais podem ser encontrados no solo em menor quantidade e vão sendo liberados gradualmente, à medida que a decomposição ocorre; entretanto, alguns minerais ficam imobilizados temporariamente. (DORES-SILVA et al., 2013; CARTER, 2001). A matéria orgânica contém praticamente todos nutrientes necessários, aumentando sua fertilidade e melhorando a estrutura do solo (RONQUIM, 2000).

Um critério importante na utilização da MO é a relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo. MO com alta relação C/N faz com que os microrganismos utilizem o nitrogênio do solo para degradar o excesso de carbono. Assim, o nitrogênio ficará indisponível nos microrganismos temporariamente.

Os organismos que vivem no solo dependem diretamente da matéria orgânica presente no meio, como fonte de alimento e energia, principalmente por estarem presentes nos primeiros 30 cm de profundidade, constituindo a fração biológica do solo (KENNEDY e DORAN, 2003).

Eles são de vários tamanhos (macro ou micro) e de vários grupos diferentes, podendo ser bactérias, nematóides, fungos, minhocas, larvas e outros insetos. Sobre os fatores que interferem na presença dos microrganismos no solo, destacam-se a umidade, temperatura, aeração, presença de nutrientes, pH do solo e cultura presente no meio (LOPES, 1998; MOREIRA, 2006).

Alguns organismos podem ocasionar doenças em plantas e animais, já outros, trazem benefícios, atuando como indicadores de qualidade do solo, biomassa microbiana, atividade enzimática, taxas de respiração do solo (oxidação biológica de matéria orgânica em gás carbônico), na decomposição da matéria orgânica e acelerando a ciclagem de nutrientes (ARAÚJO, 2007).

A ciclagem de nutrientes, segundo Larcher (2005), é um processo de movimentação no ecossistema, no qual os minerais são retirados do solo através das raízes, sendo absorvidos pelas plantas, atuam no metabolismo destas e retornam ao meio através da serrapilheira originada das plantas, que devolvem à superfície do solo os nutrientes antes absorvidos. Estes nutrientes são degradados, permitindo que novas plantas que crescem nesse ambiente, utilizem estes nutrientes.

O fluxo de nutrientes é regulado por fatores bióticos e abióticos, sofrendo influência da água no solo, interferindo na atuação da atividade microbiana, translocação e absorção dos nutrientes pelas plantas. Este processo também é conhecido como ciclo biogeoquímico (TROEH; THOMPSON, 2007).

A absorção de nutrientes químicos, que estão presentes nas formas de íons, acontece através da solução do solo, por meio das raízes das plantas. São inúmeros os nutrientes que podem ser encontrados no solo; entretanto, alguns elementos químicos são considerados essenciais às plantas, ou seja, quando ele está envolvido em processos metabólicos, nenhum outro elemento pode ser substituído neste processo e a planta é incapaz de completar seu ciclo sem o mesmo (MALAVOLTA et al. , 2002).

Entre os nutrientes essenciais às plantas e que são os mais importantes destacam-se o carbono (C), o oxigênio (O) e o hidrogênio (H), sendo estes adquiridos através da água e da absorção de CO₂ e incorporados às plantas por fotossíntese. Os demais nutrientes essenciais fazem parte dos minerais presentes no solo (MALAVOLTA et al. , 2002).

De acordo com a concentração necessária para o desenvolvimento das plantas, sendo classificados em dois grupos: os macronutrientes - nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e os micronutrientes – ferro (Fe), cloro (Cl), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Alguns elementos não são considerados essenciais, mas benéficos em algumas situações para as plantas, como o sódio (Na), silício (Si), cobalto (Co), selênio (Se), alumínio (Al) e vanádio (V) (EPSTEIN, BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 1980).

Entretanto, para torná-los disponíveis, é necessário manejo do solo e quando os nutrientes estão ausentes, é preciso recompô-los. A reposição dos nutrientes é feita com fertilizantes químicos minerais, matéria orgânica, minerais retirados de jazidas ou do ar, (no caso da fixação biológica do nitrogênio) (RONQUIM, 2000).

Sem contar que a má nutrição também cria predisposição para a susceptibilidade de pragas e doenças nas plantas. Deste modo, os fertilizantes, quando usados adequadamente, preconizando a eficiência e a sustentabilidade, poderão proporcionar bons níveis de produtividade, bem como, contribuirá para a qualidade do solo, da água, para a saúde vegetal e humana (DE CAMARGO, 2012).

Para a realização da adubação, é necessário conhecer a situação inicial do solo, em relação às suas características físicas e propriedades químicas. Os atributos do solo exercem

relação uns com os outros e estão relacionados à fertilidade do solo e diretamente ligados ao desenvolvimento das plantas e sua produtividade e no desenvolvimento de microrganismos no solo (TAIZ et al., 2017).

Entre as principais propriedades do solo, pode-se destacar o pH, a CTC e CE. Segundo Malavolta et al (2002), cada planta possui pH específico necessário para se desenvolver da melhor maneira, e na maioria dos casos, os valores são próximos à neutralidade, pois os elementos estão postos em solução de forma mais favorável.

A escala de pH varia de zero a 14. Em solos podem ser encontrados valores de 3 a 10, com variações mais comuns em solos brasileiros entre 4 a 7,5, segundo Lopes et al. (1991). Os solos que apresentam pH abaixo de 7 são considerados ácidos e com pH acima de 7 são alcalinos. O valor de 7 é atribuído à neutralidade.

O pH do solo exerce influência sobre a solubilidade dos nutrientes e sobre a disponibilidade dos mesmos nas plantas. Desempenha um papel importante na fisiologia das plantas: controla a quantidade e a concentração de minerais do solo necessários para o crescimento das plantas (MALAVOLTA et al., 2002).

O pH é controlado por colóides do solo que são teor de argila, matéria orgânica e óxidos (DELGADO, 2016). Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à pobreza em bases do material de origem ou devido aos processos de formação do mesmo, sendo que uma pequena parte de sua acidez se encontra dissociada na fase líquida. Esta representa a atividade dos íons H^+ na solução do solo, podendo ser medida através do pH (LOPES et al, 1991). A correção será através da calagem (aplicação de calcário).

A CTC de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Al^{3+}) e representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por longo período e reduzindo ou evitando os efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes (RONQUIM, 2000).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é a caracterização pedológica para a avaliação da fertilidade do solo. Solos com pequenas partículas tendem a ter alta CTC, devido à elevada relação superfície/volume. Solo com alta CTC, em geral, possui grande reserva mineral (SILVA, 2018).

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H^+ e Al^{3+} ($SB = Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+$). A saturação por bases é um indicativo das condições de fertilidade do solo. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases e complementam a nomenclatura do tipo do solo: solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$ (RONQUIM, 2000). Os métodos adotados para obtenção dos valores envolvem titulações e outras operações (SILVA, 2018).

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade que um material possui em conduzir corrente elétrica e uma das suas utilidades na agricultura é que, a massa do solo com sua variabilidade na composição físico-química apresenta diferentes níveis de condutividade elétrica (MOLIN, 2011).

Corwin e Lesch (2005), trazem aplicações onde ela tem sido utilizada como um indicador no monitoramento de características do solo, textura, estratificação, umidade, densidade, matéria orgânica e derivados, CTC, lixiviação, entre outras, mas principalmente em relação a salinidade do solo.

3.3 Fertilizantes

Fertilizantes são substâncias com composição variada entre minerais e orgânicos, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas, conforme a Lei Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (BRASIL, 1980). Sua finalidade é elevar o teor nutricional do solo, através da reposição dos nutrientes, comumente, com alta solubilidade e alta concentração de substâncias químicas e de alto custo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2009).

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo, respondendo por 7% do consumo global, sendo as culturas de commodities as maiores consumidoras de fertilizantes minerais (ANDA 2018).

De Camargo (2012) relata que os fertilizantes são classificados quanto à natureza da sua composição, à quantidade de nutrientes que o compõem e quanto ao tipo de macronutriente primário que o caracteriza. Em relação à composição, podem ser minerais, orgânicos e organominerais.

Os fertilizantes minerais são sais inorgânicos de diferentes solubilidades, com altas concentrações de nutrientes. Podem ser simples (que contém um único composto químico, com um ou mais nutrientes), misto (mistura de dois nutrientes primários) ou complexo (dois ou mais

compostos químicos, processado). Em relação ao estado, podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, sendo a forma sólida a mais predominantes, sob a forma de pó, farelo ou granulado e podem variar entre baixa (menor que 25% de nutrientes), média (entre 25 e 40% de nutrientes) e alta concentração (acima de 40% de nutrientes). São fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos (CAVALCANTI, 2008).

Este autor destaca ainda que os fertilizantes orgânicos são de fontes orgânicas e precisam ser mineralizados, para serem absorvidos pelas plantas. Os principais fertilizantes orgânicos são o esterco de granja, esterco de curral, torta de mamona, torta de algodão, resíduos industrializados e vermicompostos.

De Camargo (2012) afirma que os fertilizantes orgânicos possuem utilidade para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos e reciclagem dos nutrientes. Os fertilizantes são fluidos ou líquidos, divididos em soluções e suspensões, aplicados através de adubos foliares e fertirrigação. O único fertilizante gasoso de aplicação direta é a amônia anidra, mas sua aplicação é rigorosa.

Os nutrientes presentes nos fertilizantes são elementos tão importantes, sem os quais, as plantas não completam o seu ciclo e morrem (DE CAMARGO, 2012). Além disso, os fertilizantes, quando em doses inferiores ou excessivas podem acarretar efeitos prejudiciais às plantas, afetando diretamente seu desenvolvimento e consequentemente, a produtividade (MALAVOLTA et al, 1997).

A avaliação da fertilidade química dos solos é de utilidade para a definição das quantidades e tipos de fertilizantes, corretivos e manejo geral, que devem ser aplicados ao solo visando à manutenção ou à recuperação de sua produtividade (RONQUIM, 2000).

Cabe destacar que os compostos minerais não são aceitos em cultivos agroecológicos e orgânicos, instigando a procura por fertilizantes alternativos, nos últimos anos (ZANÃO JÚNIOR et al., 2009). Entende-se por fertilizantes alternativos, aqueles de origem natural, com baixa solubilidade e fácil acesso.

3.4 Cinza de Biomassa Vegetal

O uso de resíduos industriais na produção vegetal tem se mostrado vantajoso e sustentável, uma vez que interfere diretamente como incremento na produtividade, e dá destino ao grande volume de resíduos industriais, o que constitui um problema ambiental e também dos

resíduos como fertilizantes, mitigando a dependência indireta de rochas calcárias, fosfatadas ou mesmo do petróleo (BONFIM-SILVA et al., 2013).

A normatização do uso de resíduos sólidos é formulada com base nas alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, para os mais variados climas (CONAMA, 2006). No Brasil, o uso e aproveitamento na agricultura de resíduos da indústria estão regulamentados pela ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos Classificação, de 30 de novembro de 2004.

Bellote *et al.* (1998) define como resíduo, as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporados ao produto final. A cinza produzida durante a queima da biomassa florestal em muitos destes processos agroindustriais é um destes resíduos e possui em sua composição compostos que podem ter efeitos favoráveis ao solo e a planta, com potencial para aplicação como fertilizante.

A cinza vegetal é um resíduo sólido industrial, que obtém energia da queima de biomassa vegetal, principalmente eucalipto, com possibilidade de utilização como fertilizante. Sendo as indústrias grandes produtoras, também é difícil a destinação deste resíduo em locais adequados. Além disso, o uso deste resíduo diminui a dependência dos recursos naturais explorados pela indústria de fertilizante (BONFIM-SILVA et al., 2013).

A indicação da cinza de caldeira para a agricultura tem sido pertinente, uma vez que a indústria não o absorve e tem como obstáculo o descarte adequado do resíduo. Assim, o uso da cinza como fertilizante passou a ser vantajoso, já que seu emprego no cultivo agrícola dispensa parte do custo com o armazenamento do resíduo e contribui para evitar a perda dos nutrientes pelo intemperismo, no caso de exposição aos fatores climáticos, se dispostos em áreas de dispersa (GOMES; CARMINHA; MEMÓRIA, 2019; SOARES, et al, 2006). Além disso, o uso de resíduos agroindustriais em sistemas de produção como o de cultivos agroecológicos e orgânicos, pode proporcionar maior valor agregado à produção obtida.

Bellote et al. (1998), diz que à medida que o potencial da água no solo foi aumentado, os tratamentos que receberam cinza aumentaram sua capacidade de retenção de água. A cinza, possibilita alta capacidade de retenção de água, melhorando o desenvolvimento das culturas. Ainda possuem uma concentração relativamente elevada de elementos minerais como o K, Na, Zn, Ca, Mg e Fe (BASU *et al.*, 2009).

O uso da cinza vegetal na produção vegetal possui a vantagem de corrigir a acidez do solo (DAROLT et al., 1989; PRADO et al., 2002). Assim, a cinza, além de fertilizante, pode

apresentar ainda, capacidade de corrigir a acidez do solo, em substituição à prática da calagem (ZIMMERMANN; FREY, 2002). Deste modo, de acordo com Bellote et al. (1998), a aplicação de resíduos de cinza de caldeiras aumenta a atividade biológica do solo, acelerando a decomposição e a ciclagem de nutrientes.

A utilização agrícola da cinza vegetal mostra-se como uma alternativa viável e ecologicamente correta, com o aproveitamento do resíduo, devolvendo ao ambiente parte dos nutrientes extraídos pelas plantas e armazenados na biomassa que fora retirada para queima. (FERREIRA et al., 2012).

A aplicação de qualquer tipo de cinza no solo deve ser feita mediante estudo para análise de sua composição e recomendação da quantidade adequada de forma segura, evitando prejuízos ao meio (ABREU Jr. et al, 2005). Albuquerque et al.(2002) recomendam identificar o potencial de uso agrícola e suas possíveis limitações, pois quando aplicado em quantidades consideradas inadequadas, pode prejudicar o solo e o meio ambiente pelo desbalanço de nutrientes.

Demeyer et al. (2001) tratam que a alcalinidade das cinzas pode ser alta, devido à formação de compostos carbonatos e bicarbonatos durante a combustão da biomassa florestal. A relação Ca/Mg das cinzas é elevada, o que indica um desequilíbrio em Mg, podendo induzir carência neste elemento.

Com relação ao potencial elevado de potássio e sódio e sua influência na condutividade elétrica, podem ocorrer efeitos negativos na fertilidade do solo, ocasionando a salinização e alcalinização – este afeta a estrutura do solo, com a dispersão dos colóides, podendo diminuir a porosidade do solo e afetando o crescimento radicular. Ainda, poderão ocorrer efeitos negativos na absorção de alguns nutrientes, como o fósforo. Estes problemas poderão ocorrer principalmente em situações de solos com capacidade de troca catiônica baixa e baixo poder tampão (HORTA, 2010).

Jokinen et al (2006) relatam que pode acontecer aumento no teor em carbono orgânico e na atividade microbiana do solo após incorporação de cinzas de biomassa vegetal. Os aumentos nos conteúdos de P, K, Ca e Mg no solo, observados nos tratamentos com maiores quantidades de cinza de caldeira e resíduo de celulose, podem ser atribuídos ao aumento dos teores de matéria orgânica e alterações positivas na microbiologia do solo, fatores que afetam diretamente a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, a disponibilidade dos nutrientes às plantas (BELLOTE et al., 1998).

Zimmermann e Frey (2002), em seu experimento com parcelas tratadas com uma única aplicação de cinza de madeira (8 t.ha⁻¹) comparando com as parcelas de controle não tratadas, em cinco tempos de amostragem (1, 4, 15, 62 e 460 d) após a adição da cinza, demonstraram uma rápida mudança na taxa de evolução de Carbono microbiano e CO₂. Parece que um aumento na atividade microbiana no solo tratado com cinza de madeira foi acompanhado por um aumento na taxa de crescimento de microrganismos do solo. A maior atividade foi associada ao aumento da mineralização da matéria orgânica, seguida pela diminuição do conteúdo total de C e N do solo no primeiro dia após o tratamento.

Entretanto, uso inadequado de cinza vegetal pode afetar negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, bem como contaminar recursos hídricos por lixiviação, devido a diversidade e diferentes concentrações de compostos químicos e minerais presentes em sua composição (BOMFIM-SILVA et al., 2013). As cinzas de caldeira, quando utilizadas indiscriminadamente no solo, mesmo em pequenas doses, podem afetar a decomposição da MO pelos microrganismos do solo, devido a sua composição (PANDEY; SINGH, 2010; NAYAK et al., 2014).

A cinza vegetal pode desempenhar um papel importante na correção do solo, crescimento e desenvolvimento das plantas, devido à disponibilidade imediata dos seus nutrientes minerais, favorecendo assim, a produção de biomassa, o que pode ser verificado com o cultivo de beterraba.

O aproveitamento do resíduo de cinza de cavaco de eucalipto é uma forma adequada de utilização, diante da necessidade de utilizar fertilizantes seguros, a fim de atender a demanda exigida pelo consumo de produtos naturais e garantir o fornecimento de alimentos para a população. Assim, a interação das formas de produção, comercialização e alimentação são essenciais para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção e consumo (CASSOL e SCHNEIDER, 2015).

Atualmente, há uma preocupação dos consumidores em relação à qualidade dos alimentos, tendo também a conscientização de que muitos problemas de saúde poderão ser evitados se forem consumidos alimentos livres de resíduos químicos e agrotóxicos. Cresce assim, a consciência da prática de uma agricultura integrada com a natureza e que preserve os recursos naturais (CAMARGO et al., 2004).

3.5 A cultura da beterraba

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é pertencente à família Chenopodiaceae. É originária de regiões europeias e norte-africanas de clima temperado e constituem o grupo denominado Wonder, com ciclos entre 70-110 dias, dependendo do sistema de plantio e variedade, mas apresenta híbridos (TIVELLI et al., 2011). Sua parte comestível é uma raiz tuberosa, pivotante, de formato globular e sabor acentuadamente doce, mesmo na beterraba olerícola (FILGUEIRA, 2000). Sua coloração vermelho-púrpura, a mais comum em cultivares comerciais, se deve ao pigmento antocianina e se destaca por possuir em sua composição química, betalaínas, substância antioxidante imprescindível na dieta humana (KANNER et al., 2001).

Há três tipos de beterraba: a beterraba açucareira, utilizada para a produção de açúcar na Europa; a beterraba forrageira, empregada na alimentação animal e a beterraba hortícola, em que suas raízes e folhas são consumidas como hortaliça, sendo a mais conhecida no Brasil. Além disso, podem se apresentar de formatos variados e colorações diversas (LANA E TAVARES, 2010).

Apresenta melhor produção nas estações outono/inverno. A produção desta olerícola no Brasil oscila entre 20 e 35 t ha, onde a área plantada pode chegar até 16.000 hectares (RESENDE; CORDEIRO, 2007).

Essa cultura tem sido implantada habitualmente por semeadura direta ou por meio do transplante de mudas de raiz nua (FILGUEIRA, 2000). Segundo Nunes (1995) o sistema de plantio mais recomendável é a semeadura direta em canteiros definitivos com 30cm de altura e 1 metro de largura. O mesmo autor recomenda semear em sulcos transversais, distanciados de 30cm e com 2cm de profundidade, colocando-se uma semente a cada 5cm.

O sistema radicular da beterraba é pivotante, podendo atingir profundidade de até 60 cm, com poucas ramificações laterais. Além de possuir substâncias químicas importantes e substâncias corantes, a beterraba vem se destacando entre as hortaliças pelo seu conteúdo em vitaminas do complexo B e os nutrientes potássio, sódio, ferro, cobre e zinco (TIVELLI et al., 2011).

Recomenda-se solos friáveis e bem drenados, pois em solos muito argilosos, as raízes podem ficar deformadas em razão da maior dificuldade imposta ao crescimento, sendo necessário o preparo adequado do solo, quando for realizada a semeadura direta. No sistema de plantio por mudas em canteiros, estas devem ser transplantadas cerca de 20 a 30 dias após a semeadura, quando tiverem de cinco a seis folhas definitivas e cerca de 10 a 15 cm de altura.

Para mudas formadas em bandeja, o transplante ocorre em torno de 21 dias após a semeadura. O ponto de colheita é atingido quando as raízes estão com tamanho comercial, ou seja, de 6 a 8 cm de diâmetro transversal para consumo in natura. A produtividade de beterraba é muito variável, estando normalmente entre 500 e 1800 caixas por hectare do tipo K de 22 kg (raízes lavadas) (TIVELLI et al., 2011).

Há inúmeras cultivares comercialmente interessantes, mas poucas delas desenvolvidas no Brasil, devido à exigência de luz da cultura da beterraba.

Uma cultivar muito utilizada é a Early Wonder (Feltrin, Horticeres, Isla), apresentando como características principais a precocidade, raízes globulares e de coloração púrpura, interna e externamente. As folhas são eretas, alongadas e possuem um tamanho uniforme e coloração verde escura; essas folhas são comestíveis, sendo mais ricas em nutrientes que a raiz (FONTES, 2019).

A cultivar Itapuã (Isla) possui formato da raiz globular; cor da raiz vermelho intenso; altura da folhagem 40 a 50 cm; tamanho da raiz 6 a 8 cm de diâmetro; tolerância à cercosporiose; tem o início da colheita aos 60 a 75 dias. Já a Maravilha (Isla), possui formato da raiz globular; folhagem vigorosa com 45 a 55 cm; diâmetro comercial 6 a 8 cm; cor vermelho intenso e com pouca incidência de anéis brancos internos, apresentando alta produtividade com alto percentual de produto apto ao mercado, ótima uniformidade, bom desenvolvimento foliar e fácil formação de maços; seu início de colheita se dá entre 65 a 80 dias (TIVELLI et al., 2011).

A Kestrel (Sakata), um híbrido, de formato redondo, de coloração vermelho intenso, é uma planta com excelente adaptação para semeio o ano todo, sendo cultivo direto ou por mudas; possui uniformidade nas raízes, apresentando folhas vigorosas e eretas com 45-50 cm, de pequena inserção foliar com boa tolerância às doenças foliares, como cercospora, míldio, oídio e rizoctonia; com início da colheita de 60-70 dias no verão e 80-90 dias no inverno; apresenta diâmetro entre 6-7 cm e peso de 180-200 g (TIVELLI et al., 2011). Todas as cultivares acima, são do tipo hortícolas, de coloração avermelhada.

Com indicação de solos arenosos ou mistos, friáveis e bem drenados, exige preparo adequado do solo, devido às baixas reservas, em especial, em solos arenosos e em semeadura direta. Típica de clima temperado, produz bem em temperaturas amenas ou baixas, com melhor desenvolvimento em cerca de 20°C, para a parte aérea (TIVELLI et al., 2011).

Temperatura e pluviosidade elevada podem ocasionar má coloração interna, com formação de anéis de coloração mais clara e redução da concentração de pigmentos nas raízes,

sobretudo de betacianina (coloração vermelha) (SOUZA; RESENDE, 2014). Porém, a falta de água no solo é um dos fatores que mais afetam a produção da beterraba, sendo o período crítico nos primeiros 60 dias e com a colheita, onde as raízes podem ficar mais fibrosas e murchas. Já as temperaturas elevadas associadas à alta umidade relativa do ar também favorecem a ocorrência da doença mancha-das-folhas (*Cercospora beticola*), que afetam a produtividade (TIVELLI et al., 2011).

A absorção de nutrientes da cultura é contínua dos 40 dias até a colheita, se intensificando a partir dos 60 dias após a semeadura. A cultura da beterraba está entre as hortaliças mais sensíveis à acidez do solo, sendo necessário, dependendo do caso, corrigir o solo até obter 80% de saturação por bases, além de pH (em água) em torno de 6,5 (TIVELLI et al., 2011).

Dentre os macronutrientes deve ser destacado o nitrogênio, sendo um dos mais importantes por sua relação nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA et al., 1997), que contribui para o aumento da produtividade da beterraba por promover a expansão foliar e o acúmulo de massa. Quanto aos micronutrientes, deve ser destacado o boro, o qual tem ação sobre a qualidade da beterraba, pois a deficiência de boro inibe o alargamento da célula da raiz, causa o desenvolvimento anormal das células do xilema e floema e inibição da expansão das folhas, afetando indiretamente a capacidade fotossintética das plantas, ou seja, possui relação direta com a incidência de lesões nas raízes (DELL; HUANG, 1997).

Tivelli et al. (2011) afirma que, de acordo com amplas revisões literárias, as seguintes quantidades de nutrientes podem ser extraídas pela beterraba hortícola (produtividade entre 20 e 65 t de raízes + folhas por ha): macronutrientes em kg por ha: N = 78 a 275; P = 18 a 40; K = 83 a 476; Ca = 20 a 74; Mg = 27 a 62. Sobre os micronutrientes, a exportação de micronutrientes (em g por ha) pelas raízes considerando-se uma produtividade de 20 t de beterraba por ha, pode ser de: B = 44; Cu = 22; Fe = 406; Mn = 24; Mo = 0,3 e Zn = 62.

Ainda, no caso da beterraba, para análise química, recomenda-se a amostragem durante o desenvolvimento das plantas, de preferência no período entre 40 e 60 dias após o plantio, coletando-se o limbo das folhas recém-maduras centrais, de 30 plantas representativas da lavoura. De acordo com revisões, entre os macronutrientes, o nitrogênio e entre os micronutrientes, o boro, são os nutrientes que causam mais prejuízos para as plantas de beterraba, se estiverem abaixo do ideal (TRANI et al., 2013).

4. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental da Fazenda BIOTEC, UniCesumar, Maringá-PR, a uma altitude de 502 m e coordenadas geográficas 23°20'43.03" de latitude sul e 51°52'28.16" de longitude oeste. O clima da região segundo a classificação de Köppen é Cfa, isto é, clima subtropical úmido, temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco, apresentando precipitação pluviométrica anual com média de 1.800 mm e umidade relativa de 70%.

. O experimento utilizou o delineamento experimental com blocos inteiramente casualizados, com arranjo fatorial de 2 x 6, com 7 repetições cada. Composto por dois tipos de solo, um Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa e outro, um Argissolo Vermelho Amarelo, de textura arenosa, além de seis diferentes dosagens de cinza de cavaco de eucalipto, sendo elas 0, 7, 14, 21, 28 e 35 g/dm³

A cinza vegetal de cavaco de eucalipto foi recolhida na caldeira de indústria regional de biocombustível, no Norte Central Paranaense, entre as coordenadas 23°28'45"S e 51°49'37"W, sendo analisada em laboratório, para caracterização química.

Os solos foram coletados na camada superficial (0 - 20 cm), peneirados em malha de 4 mm, analisados em laboratório para análise em relação aos seus parâmetros físicos e químicos. Na sequência, foram adicionadas às respectivas dosagens de cinza, sendo a mesma incorporada, até a mistura ficar homogênea, colocado em vasos de 9 L (9 dm³) e umedecidos controlando a umidade através de um tensiômetro digital Kkamoon. Em cada vaso foi transplantada uma muda de beterraba com 5 cm, adquirida em viveirista idôneo, da cultivar Kestrel, compondo as unidades experimentais.

Os tratos culturais realizados foram as capinas manuais e irrigação por aspersão mantendo a capacidade de campo, não foi necessário realizar controle de pragas e doenças.

Transcorridos 93 dias do transplântio as beterrabas foram colhidas, lavadas e colocadas para secar em temperatura ambiente. Foram avaliados os parâmetros biométricos (número de folhas, comprimento e diâmetro da raiz e matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, matéria fresca da raiz e matéria seca da raiz), de acordo com a metodologia descrita em Benincasa (1988).

O número de folhas foi definido como o somatório das folhas de cada exemplar. O comprimento da raiz foi determinado medindo-se a distância desde o colo da planta até o ápice

do sistema radicular, através de fita métrica e o diâmetro determinado utilizando-se um paquímetro, medidas estas expressas em milímetros (mm).

Foram separadas a massa fresca da parte aérea, das raízes das plantas, pesando em balança de precisão (0,001g), colocando-se cada parte separadamente em sacos de papel para posterior secagem em estufas de circulação forçada de ar com temperatura de 60 °C, até atingir massa constante.

Após a colheita foi realizada a amostragem do solo de cada tratamento e encaminhadas ao laboratório de fertilidade de solos da Sociedade Rural de Maringá, para análise física para e avaliação textural e química determinando os teores de nutrientes presentes, bem como o pH, a CTC e a SB.

Os resultados obtidos em todo o experimento foram submetidos ao Teste Tukey (5%) e teste de regressão de probabilidade a 5% processados com auxílio do software estatístico Sisvar, versão 5.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontra-se na tabela 1 os resultados da análise química, caracterizando a composição da cinza de cavaco de eucalipto utilizada neste experimento.

Tabela 1. Caracterização da cinza de cavaco de Eucalipto utilizada no experimento

pH	CTC cmol _c /dm ³	SB	N	P	K g/kg ¹	Ca	Mg	Al
9,3	7,77	6,65	1,8	2,6	1,6	15,0	0,1	0,0

Fonte: Laboratório de Solos da Sociedade Rural de Maringá

Na tabela 1, além do P e K, a cinza utilizada neste experimento apresentou quantidade razoável de nitrogênio (N) e cálcio (Ca) e apenas traços de Magnésio (Mg). A relação Ca/Mg das cinzas é elevada, o que indica um desequilíbrio em Mg, podendo induzir carência neste elemento. Possui um pH alcalino e não há presença de alumínio, indicando que provavelmente aumentará o pH dos solos onde a mesma for incorporada.

Demeyer et al. (2001) afirmam que a alcalinidade das cinzas pode ser alta, devido à formação de compostos carbonatos e bicarbonatos durante a combustão da biomassa florestal. GUARIZ et al. (2009) relatam que o incremento de cinzas alcalinas no solo pode elevar a produtividade dos cultivos com o aumento do pH do solo. Ainda, MAEDA et al. (2008) e TERRA et al. (2014) reforçam o papel corretivo da cinza no solo.

Muitos trabalhos demonstram que a aplicação de cinza pode alterar significativamente o pH e neutralizar a acidez do solo (BONFIM-SILVA et al., 2015; MAEDA et al., 2008; SOUZA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al. 2006; BALBINOT Jr. et al. 2010; MÄKELA et al. 2012; TERRA et al. 2014; MAGRO et al. 2012).

Em geral, cinzas vegetais apresentam baixas concentrações de N e S (enxofre) devido a volatilização sofrida durante a combustão (ZIMMERMANN; FREY, 2002). Malavolta et al. (2002), relatam que a cinza proveniente de biomassa florestal possui uma grande quantidade de fósforo (P) e potássio (K), o que foi verificado na cinza utilizada neste experimento. Estes

mesmos autores, salientam que os teores de macro e micronutrientes presentes na cinza são resultados dos diferentes materiais de origem vegetal.

Além disso, as cinzas contribuem para melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo (FERREIRA; et al., 2012). Yunusa et al. (2006) avaliaram que as cinzas vegetais foram eficientes para correção de solos degradados, devido a presença de cálcio e magnésio, que causam interferência no pH e disponibilidade de nutrientes. Ademais, este resíduo melhora a fertilidade do solo, pois envolve diminuição do teor de H⁺/Al e dos teores de magnésio, fósforo e potássio (DAROLT & OSAKI; 1991; MAEDA et al., 2008; FERREIRA et al., 2012).

Analisando os dados apresentados na tabela 2, referente a análise física dos solos, certifica-se que o solo 1 se trata de um Latossolo Vermelho Distrófico e o solo 2 como Argissolo Vermelho Amarelo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), sendo o primeiro muito argiloso e o segundo areia franca. Na tabela 3, são apresentadas as características químicas destes solos.

Tabela 2. Característica física dos solos utilizados no experimento (%)

Tipos de solo	Areia	Silte	Argila
1	15	14	71
2	86	2	12

Fonte: Laboratório de Solos da Sociedade Rural de Maringá.

Tabela 3. Características químicas do Latossolo Vermelho Distrófico (1) e do Argissolo Vermelho Amarelo (2)

Tipos de solo	pH	CTC	V	P	K	Ca	Mg	Al	MO
		Mg/dm ³	%	Mg/dm ³		cmol _c /dm ³			%
1	4,3	11,68	38,78	5,24	0,13	3,43	0,97	0,40	2,63
2	6,2	5,76	63,37	34,37	0,23	2,57	0,85	0,00	1,76

Fonte: Laboratório de Solos da Sociedade Rural de Maringá

Prado, Corrêa e Natale (2002) afirmam que a cinza aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo pode alterar significativamente as características químicas do solo, tanto na presença quanto na ausência de calagem.

A cinza de biomassa aplicada a um solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico poderá elevar consideravelmente o valor do pH e dos teores de K, Ca e Mg trocáveis e P disponível e a redução do Al trocável (MORO; GONÇALVES; 1995).

O pH é controlado por colóides do solo que são teor de argila, matéria orgânica e óxidos (DELGADO, 2016). Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à pobreza em bases do material de origem ou devido aos processos de formação do mesmo, sendo que uma pequena parte de sua acidez se encontra dissociada na fase líquida. Esta representa a atividade dos íons H^+ na solução do solo, podendo ser medida através do pH (LOPES et al, 1991). A correção será através da calagem (aplicação de calcário).

Os teores de nutrientes presentes no solo de cada unidade experimental são apresentados na tabela 4, onde observa-se um aumento nos teores dos nutrientes no solo, assim como reduziu a disponibilidade de Al, elemento tóxico para a planta. Houve aumento de pH, deixando os nutrientes essenciais em melhor disponibilidade para serem absorvidos no sistema radicular da planta. Assim, além de proporcionar melhor desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da planta de beterraba, o uso da cinza incorporada ao solo, também se destacou na otimização das características químicas do solo.

Tabela 4. Análise química dos solos argiloso e arenoso, incorporados com diferentes doses de cinza.

Tratamentos	pH		CTC		SB		MO		P		K		Ca		Mg		Al	
Solos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
T1 – 0 g/d ³	4,3	6,2	8,2	5,7	4,5	3,6	2,6	1,7	5,24	34,37	0,1	0,2	3,4	2,5	0,9	0,8	0,4	0,0
T2 – 7 g/dm ³	4,7	6,7	11,55	5,7	5,7	3,9	3,7	2,2	25,7	35,75	0,4	0,2	4,0	2,8	1,2	0,9	0,0	0,0
T3 – 14 g/dm ³	5,2	6,8	11,73	6,3	7,2	4,7	3,7	2,3	45,6	41,01	0,7	0,2	5,0	3,5	1,4	0,9	0,0	0,0
T4 – 21 g/dm ³	5,6	6,9	12,27	5,4	8,6	3,8	3,6	2,3	73,7	48,25	1,0	0,2	5,9	3,7	1,6	0,9	0,0	0,0
T5 – 28 g/dm ³	5,7	6,9	14,23	6,1	10,76	4,6	4,4	2,3	80,1	60,23	1,3	0,3	7,3	3,6	2,1	0,9	0,0	0,0
T6 – 35 g/dm ³	6,1	7,1	13,42	6,3	10,56	4,8	3,1	2,7	146,29	68,08	1,7	0,3	6,9	3,6	1,8	0,9	0,0	0,0

CTC, SB, Al, Ca, Mg e K (cmol_e/dm³); P (mg/dm³); MO (%), 1-Solo argiloso, 2- Solo arenoso

Fonte: Laboratório de Solos da Sociedade Rural de Maringá.

Observa-se que com aumento da dosagem de cinza incorporada ao solo, tanto no solo argiloso, como no arenoso houve elevação do pH, atingindo 6,1 no argiloso e 7,1 no arenoso. Em revisão realizada por Trani et al. (2013), a beterraba encontrou-se entre as hortaliças mais sensíveis à acidez do solo, com referências de diversos autores a valores de pH do solo entre 6,5 e 7,0 como mais adequados ao seu desenvolvimento.

A interação entre solos e doses de cinza exerceu efeito significativo sobre os valores de pH, P extraível, K, Ca e Al trocável, situação que evidencia interdependência entre os fatores estudados para estas variáveis, conforme demonstra a tabela 4. Com esta análise, fica evidente o papel da cinza como agente melhorador dos atributos químicos do solo, e inclusive, como fonte de nutrientes para as plantas, corroborando com trabalhos de Moro e Gonçalves (1995).

Em ambos os solos, o maior valor de pH foi observado na dosagem de 35 g/dm³ (Tabela 4), sendo que estes tiveram acréscimos a cada dose. O efeito da correção do pH dos solos avaliados está associado às substâncias alcalinas presentes na cinza, as quais provocam a diminuição da acidez potencial, de acordo com o relato de Ferreira, Fageria e Didonet (2012).

De acordo com Guariz et al. (2009), a incorporação da cinza no solo pode promover mudanças nas características do mesmo, tais como elevação nos níveis de pH e nos teores de Ca, Mg, B (Boro), Mn (manganês), CTC, além de elevar a saturação por bases e atuar na redução dos níveis de Al e Fe (ferro). Já em relação ao efeito na diminuição da acidez potencial do solo é mais influenciado pelo aumento da dose da cinza do que pela seu tipo (FERREIRA; FAGERIA; DIDONET, 2012).

É possível modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo através da aplicação de cinzas de caldeira, mas a qualidade nutricional e as alterações por ele sofridas estão relacionadas com o tipo de solo, características e quantidade da cinza utilizada e das condições climáticas (RAM; MASTO, 2014).

Lembrando que é preciso conhecer a solubilidade das substâncias presentes na cinza, pois as que são pouco solúveis, como o cálcio, o magnésio, o fósforo e o sódio, podem elevar os sais e não estarão disponíveis na solução do solo para absorção das plantas, sendo que as muito solúveis, como o potássio, o enxofre, o cloro, o ferro, o zinco, mesmo em pequenas quantidades, podem ser extremamente tóxicas (LOO 2010; AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008).

Zhang et al. (2002) realizaram pesquisas em casa de vegetação e em condições de campo, sendo possível demonstrar que a reciclagem dos nutrientes contidos na cinza, por meio de uso agrícola, oferece praticidade, mas tem necessidade da análise química do resíduo, para

determinação da recomendação por cultura, evitando-se deficiências ou toxicidade devido ao excesso de alguns nutrientes.

De modo geral, esses pesquisadores observaram melhorias significativas no solo, obtidas pela adição da cinza nos solos, com ganhos de produtividade relevante; sendo que a disponibilidade dos nutrientes na cinza, poderia ser um dos fatores responsáveis para os bons resultados obtidos pelo incremento nutricional, entretanto, devido à solubilidade, parte dos nutrientes estão mais sujeitos à perda por lixiviação. O restante é liberado lentamente pela decomposição da matéria orgânica ou pela solubilização gradativa dos compostos químicos, o que torna os nutrientes menos sujeitos à lixiviação e favorece o melhor aproveitamento dos mesmos pelas plantas (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008).

O teor de alumínio presente no solo argiloso foi neutralizado totalmente com dosagens de cinza acima de 14 g/dm^3 . Silva et al. (2013) reportam que a cinza pode diminuir os teores de Al, aumenta Mg, K e a CTC no solo, outros trabalhos relatam que a incorporação de cinza ao solo agrícola, aumenta os teores de Ca e P (SILVA et al., 2013; BALBINOT Jr. et al., 2014; MAGRO et al., 2012). Pesquisadores observaram aumento nos teores de K com aplicação de cinza na quantidade de 15 t/ha até doses de até 80 t/ha (ARRUDA et al. 2016; SILVA et al. 2009; MAEDA et al; 2008).

A redução da acidez potencial do solo, através do uso de cinzas de biomassa foi relatada por Pandey e Singh (2010), mas esta condição está dependente da quantidade de Ca e Mg, sob forma de óxidos ou carbonatos presentes na cinza (YUNUSA et al., 2006).

Lopes et al. (1991) comentam que o cálcio é um nutriente de grande importância para a conservação pós-colheita e firmeza de raiz da beterraba. Ele compõe as paredes celulares, reforçando consequentemente, as estruturas das plantas. Este elemento foi um dos encontrados em maiores proporções nas cinzas, com teores de 15 g/kg , atuando, desse modo, diretamente no melhor desenvolvimento radicular da cultura da beterraba. Ainda segundo o mesmo autor, além do cálcio, outro elemento essencial para a formação das raízes é o potássio, pois irá influenciar nos teores de sólidos solúveis dos vegetais e no aumento da quantidade de açúcar na beterraba.

Embora o aumento nos teores de macronutrientes com incorporação da cinza de cavaco de eucalipto tenha ocorrido em ambos os solos, no solo argiloso em comparação com o solo arenoso, o aumento nos teores destes macronutrientes foi maior, com exceção da matéria orgânica que no solo arenoso houve um incremento de 56%, enquanto no argiloso apenas 19% com a maior dosagem testada. Isto se explica pela maior fertilidade natural do solo argiloso com uma CTC inicial de $8,22 \text{ cmol/dm}^3$ e após a maior dosagem de cinza de cavaco de eucalipto

incorporada, uma CTC de 13,42 cmol/dm³, enquanto o solo arenoso apresentou uma CTC de 6,39 cmol/dm³ após a maior dosagem de cinza de cavaco de eucalipto ter sido incorporada.

Em relação às análises estatísticas realizadas, os resultados de variância e do teste de regressão para as variáveis estudadas foram organizados na tabela 5. A análise de variância demonstrou interação significativa entre os tipos de solo e as doses utilizadas para os parâmetros massa verde da parte aérea, massa verde da raiz e massa seca da raiz, enquanto para os parâmetros, número de folhas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e massa seca da parte aérea não apresentaram interação significativa entre doses de cinza e tipos de solo.

Analisando os coeficientes de variação verifica-se que houve uma dispersão dos dados em torno da média, quanto menor foi o valor do coeficiente, mais homogêneos são os dados. Diante disso, o coeficiente de variação é uma forma de expressar a variabilidade dos dados excluindo a influência da ordem de grandeza da variável. Além disso, embora algumas características tenham apresentado significância utilizando-se os dados reais, optou-se pelo ajuste quadrático devido ao elevado coeficiente de determinação obtido, facilitando a análise.

Tabela 5. Valores das estimativas dos contrastes para as variáveis analisadas na cultura da beterraba sob aplicação de diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto. NFA (Número de Folhas); DRA (Diâmetro das Raízes); CRA (Comprimento Radicular); MVPA (Massa Verde Aérea); MVRA (Massa Verde Radicular); MSPA (Massa Seca da Parte Aérea); MSRA (Massa Seca das Raízes).

Fontes de Variação	NFA	DRA	CRA	MVPA	MVRA	MSPA	MSRA
Solos	101,34*	51,103*	2,12	13,70*	205,06*	84,52*	220,20*
Doses	3,087	7,89*	3,69*	2,99*	14,28*	2,50*	12,04*
Doses*Solos	1,592	1,64	0,918	2,43*	7,26*	1,57	3,54*
CV (%)	14,17	18,68	16,92	20,00	20,50	7,34	24,82

*A 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância, pelo menos um dos tratamentos difere significativamente dos demais para a variável analisada.

Fonte: O autor

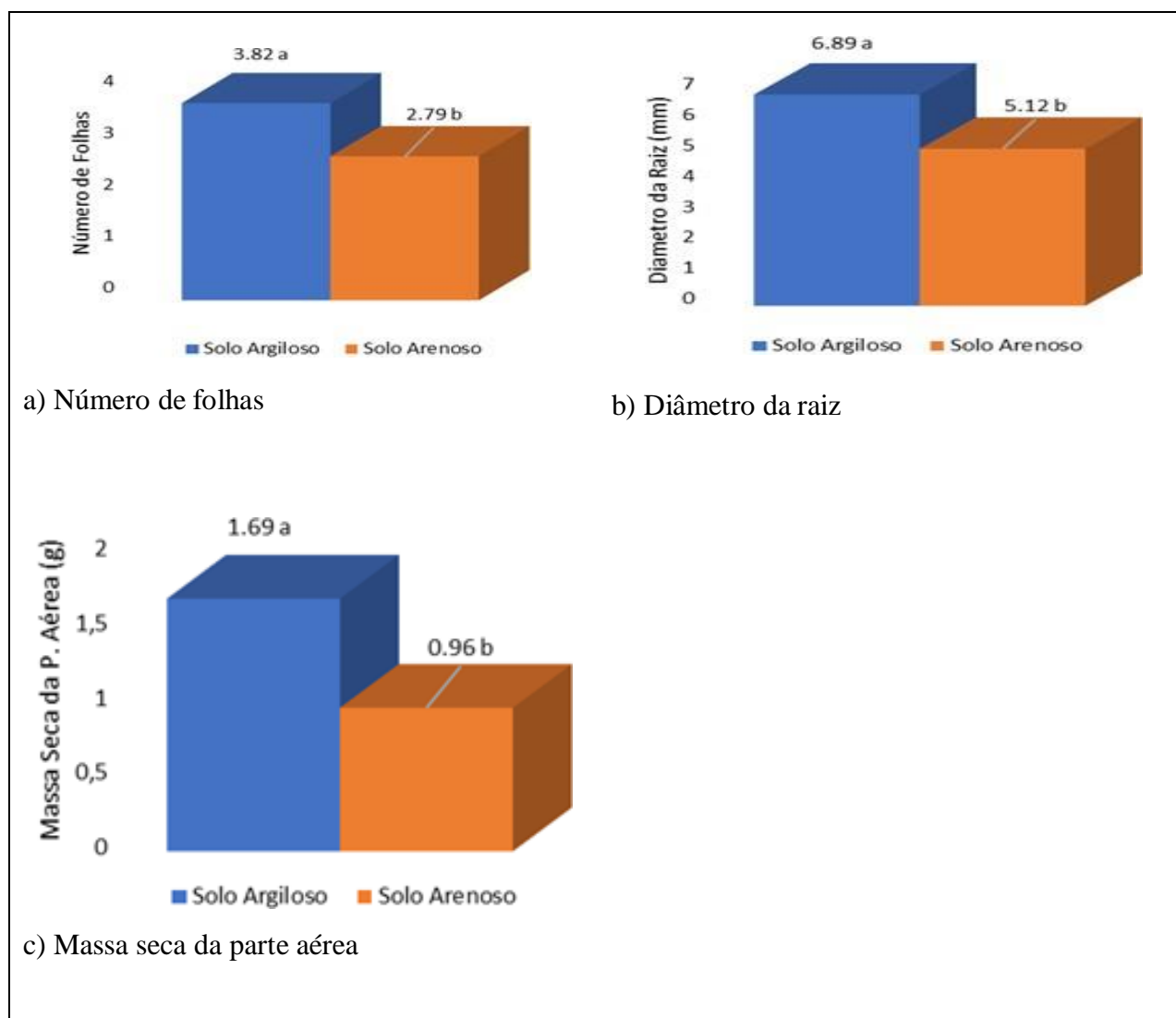


Figura 2 – Valores médios do número de folhas, diâmetro de raiz e massa seca da parte aérea de *Beta vulgaris* L. cultivadas sob solo argiloso e arenoso. Fonte: O autor.

Na Figura 2a, a interação entre solos e doses de cinza vegetal não foi significativa sobre a variável número de folhas, entretanto, houve aumento significativo no número de folhas das plantas somente na testemunha em comparação às outras que tiveram acréscimo de cinza vegetal. Porém, entre as doses testadas não houve diferença, mas houve variação entre os tipos de solo, demonstrando maiores produções em número de folhas da beterraba em solo argiloso, com média de 3,82 folhas por planta (dados com ajuste quadrático).

A média do número de folhas nas unidades experimentais sem incorporação da cinza ficou em torno de 10 folhas por planta (dados reais) transcorridos 93 dias, enquanto, quando aplicado ao menos uma dose de cinza qualquer dentro dos níveis estudados, a produção foi de 10 para 16 folhas por planta, contribuindo, também para o aumento da massa da parte aérea da beterraba.

De acordo com Taiz et al. (2017) o número de folhas influencia diretamente na capacidade fotossintética da planta, assim, quanto maior for o número de folhas das plantas, maior será a capacidade destas em converter a energia luminosa proveniente do sol em energia química. Esta característica de número de folhas é limitada pela fisiologia da planta e por estar ligada a outros fatores como balanço hormonal, por exemplo (RAVEN et al., 2014).

Godoy et al. (2012) destacam em seu trabalho sobre adubação em couve-flor, que um dos elementos mais importantes para a produção de folhas é o nitrogênio. Malavolta et al. (1997) destaca que dentre os macronutrientes deve ser destacado o nitrogênio, sendo um dos mais importantes por sua relação nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, que contribui para o aumento da produtividade por promover a expansão foliar e o acúmulo de massa. A incorporação da cinza de cavaco de eucalipto disponibilizou macronutrientes (Tabela 1) para a cultura de beterraba, dentre eles o nitrogênio, na quantidade 1,8 g/kg, o que pode justificar este aumento no número de folhas.

Não houve interação significativa entre solos e doses na variável diâmetro da raiz tuberosa (Tabela 5), porém observa-se nas Figuras 2b, que houve uma diferença significativa entre os solos, demonstrando maiores diâmetros das raízes no solo argiloso com média de 6,89 mm (dados com ajuste quadrático).

Na análise de variância da massa seca da parte aérea constatou-se que não houve interação significativa entre solos e doses aplicadas, porém houve variação significativa entre os solos e entre as doses de cinza incorporadas no solo, como se observa na Figura 2c.

A incorporação de diferentes doses de cinza aos solos, proporcionou aumento significativo da massa seca da parte aérea da cultura da beterraba entre os solos demonstrando maiores quantidades, sendo 1,69 g no solo argiloso em relação ao arenoso com produção média de 0,96 g (dados com ajuste quadrático).

Em relação às variáveis ligadas ao desenvolvimento radicular da planta, foram avaliados o diâmetro e o comprimento da raiz tuberosa, características diretamente ligadas ao interesse comercial, sendo os resultados das regressões apresentados na Figura 3.

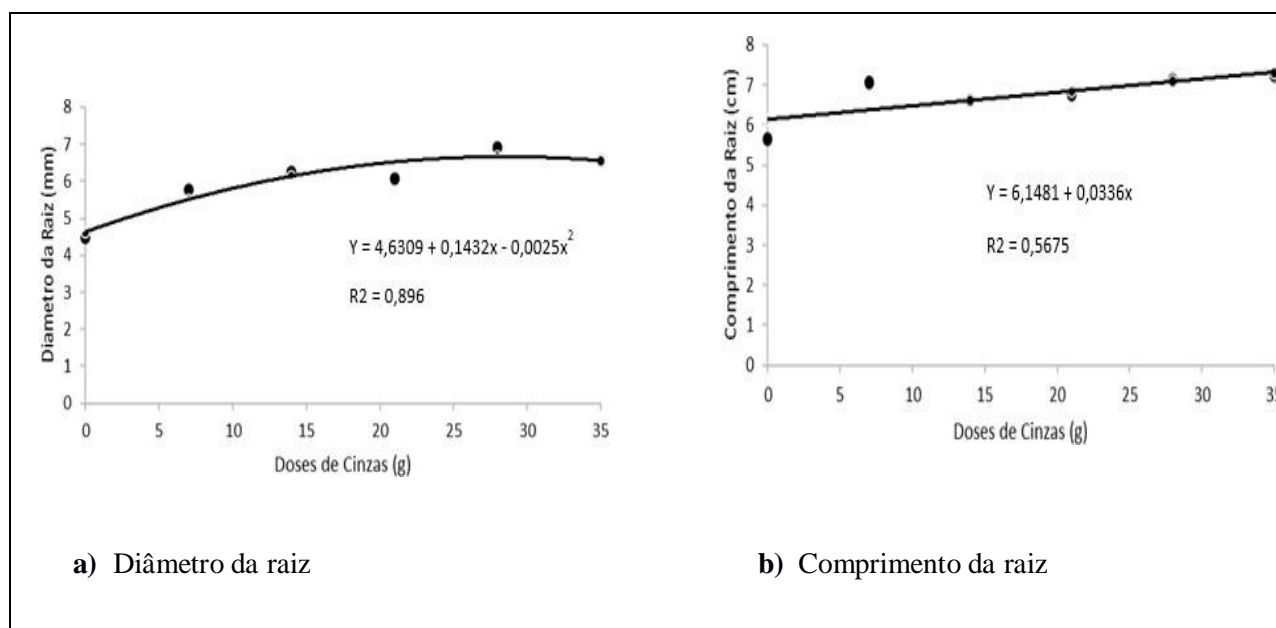


Figura 3. Diâmetro e comprimento da raiz de beterraba, em função das doses de cinza de cavaco de eucalipto. Fonte: O autor.

O fornecimento de cinzas proporcionou um maior acúmulo de nutrientes nas raízes da beterraba e, conseqüentemente, contribuiu para maior diâmetro destas raízes, característica desejada do ponto de vista comercial. Pode-se observar pelo modelo matemático de $Y = 4,6309 + 0,1432x - 0,0025x^2$, que a dose ideal para o diâmetro das raízes é de 29 g/dm³, sendo que, doses superiores a esta, proporcionaram uma redução no diâmetro da raiz, surgindo a hipótese de desequilíbrio entre os nutrientes fornecidos.

Damasceno et al. (2011) observaram aumentos no diâmetro das raízes de plantas de beterraba devido ao aumento da matéria verde da parte aérea, provavelmente pela maior capacidade de realização de fotossíntese das plantas.

Observa-se na Figura 3b, a relação entre a dose de cinza fornecida para a planta e o comprimento das raízes, sendo uma regressão linear positiva em que, quanto maior for a dosagem de cinza fornecida, maior será o comprimento das raízes. O modelo matemático de regressão linear $Y = 6,1481 + 0,0336x$ permite observar que, a cada 1 g/dm³ fornecida para a planta de beterraba, seu comprimento radicular aumenta proporcionalmente em 0,0336 cm (dados com ajuste quadrático).

Segundo Arruda et al. (2016) a disponibilidade dos nutrientes presentes na cinza proporciona um melhor desenvolvimento do sistema radicular, resultando no crescimento das raízes, isto não ocorre somente por conta da disponibilidade dos nutrientes para as plantas, mas, também, devido ao fato da incorporação da cinza melhorar também a capacidade de retenção de água, por conseguinte, elevando a reserva de umidade no solo a disposição dos vegetais.

O comprimento radicular está diretamente relacionado à capacidade da planta em absorver água e nutrientes em profundidade no perfil do solo. Logo, quanto maior o comprimento radicular, melhor será o desenvolvimento da cultura da beterraba.

No que diz respeito à massa verde da parte aérea, pode-se observar na Figura 4a, que o modelo de regressão adotado foi o quadrático devido a seu maior grau de significância. Constatou-se pelo modelo matemático de $Y = 3,5734 + 0,13x - 0,003x^2$ que a dose ideal para produção de massa verde da parte aérea é de 22 g/dm³, conforme ocorre aumento na dose das cinzas incorporadas ao solo, o peso fresco da parte aérea aumenta significativamente até 22 g/dm³ de cinzas, ocorrendo uma diminuição desta massa quando incorporado dosagens maiores de 22 g/dm³ de cinzas, surgindo a hipótese de desequilíbrio entre os nutrientes fornecidos. Pelo coeficiente de determinação de 0,78, pode-se verificar a precisão do modelo matemático em explicar o fenômeno biológico, tendo como a melhor dose 22 g/dm³, o que levará a uma produção de massa verde da parte aérea de 4,98 gramas por planta (dados com ajuste quadrático).

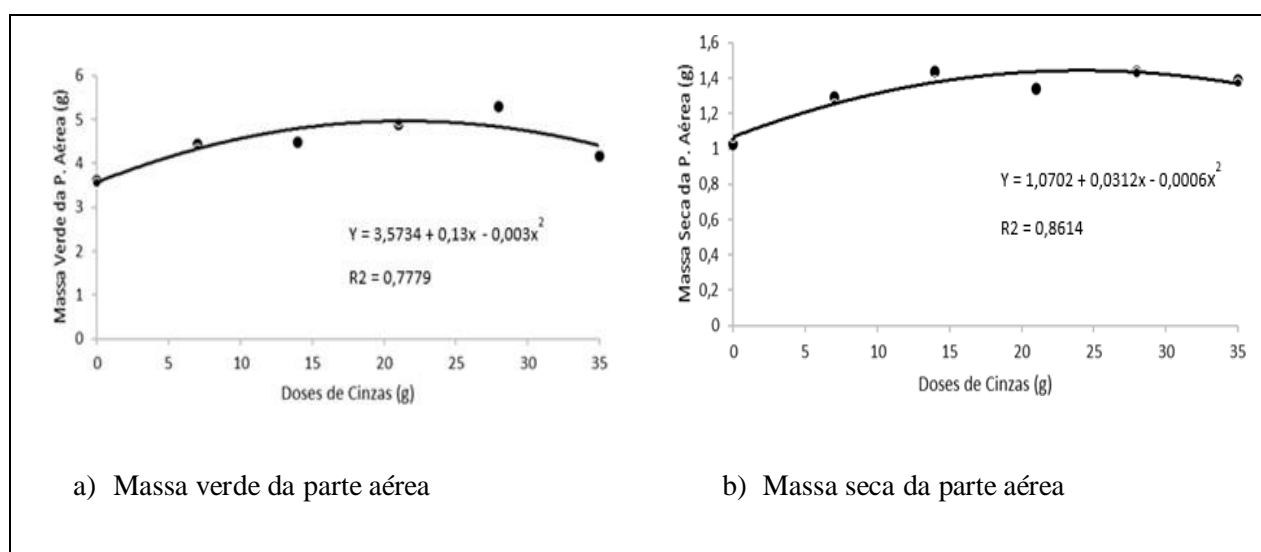


Figura 4. Massa verde e seca da parte aérea das plantas de beterraba, sob diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto. Fonte: O autor.

Taiz et al. (2017) explica que esta diminuição da massa verde da parte aérea depois de atingir o pico em uma determinada dosagem assemelha-se ao que acontece na Lei dos Elementos Decrescentes, pois acima do nível ótimo de determinado nutriente no solo, este mesmo nutriente começa a limitar o desenvolvimento da planta.

Em estudos semelhantes, utilizando doses crescentes de cinza apresentaram incremento de massa de parte aérea de azevém e aveia (PARK et al., 2012), em pinheiro (MANDRE et al.,

2006) e em algodão (BONFIM-SILVA et al., 2015). Poucos estudos têm utilizado a cinza de biomassa florestal como insumo de produção em plantações florestais, porém, alguns pesquisadores têm conseguido verificar ganhos significativos de produtividade, graças à aplicação desse resíduo (MORO, GONÇALVES; 1995). Entretanto, oferecem poucas explicações científicas para as razões que levam as árvores a responderem positivamente à adição de cinza.

Acredita-se ser mais fácil observar o efeito da cinza principalmente para aquelas culturas agrícolas muito exigentes em nutrientes e que foram plantadas em solos de baixa fertilidade. A aplicação de cinza vegetal nestes tipos de plantios terá papel de reposição dos nutrientes exportados do solo pelas colheitas. A utilização de cinza diminui o uso de fertilizantes químicos, acarretando menor acidificação do solo e aumento do suprimento de cálcio (ZIMMERMANN & FREY, 2002).

No que diz respeito à massa seca da parte aérea, pode-se observar na Figura 4b, que o modelo de regressão quadrático proporciona maior grau de significância. Neste caso, utilizando o modelo matemático $Y = 1,0702 + 0,0312x - 0,0006x^2$ determina-se que a dose ideal para produção de massa seca da parte aérea é de 26 g/dm³ de cinza, ocorrendo uma diminuição desta massa seca quando incorporado dosagens maiores que esta.

Segundo Raven et al. (2014) a produção de folhas com boa quantidade de massa têm papel essencial nas plantas. Elas são responsáveis pela produção fotossintética e posterior acúmulo de nutrientes nas raízes e no desenvolvimento da planta como um todo. Logo, quanto maior for a área fotossintética da planta, melhor será o acúmulo de nutrientes na raiz tuberosa da beterraba.

Na Figura 5a, é possível observar que houve interação significativa entre solos e doses incorporadas de cinza na produção de massa verde da raiz, sendo adotado o modelo de regressão quadrático devido a seu maior grau de significância, constatando pelo modelo matemático de $Y = 4,4848 + 0,4796x - 0,01x^2$, que a dose de cinza ideal para produção de massa seca da raiz é de 24 g/dm³.

Considerando estes modelos matemáticos, pode se afirmar que no solo argiloso a dose de cinza ideal para produção de massa seca da raiz é de 24 g/dm³ (Figura 5b), enquanto no solo arenoso, a cada incremento de uma grama na dosagem de cinza incorporada, haverá um incremento de 0,0239 g na massa seca da raiz de beterraba (Figura 5c).

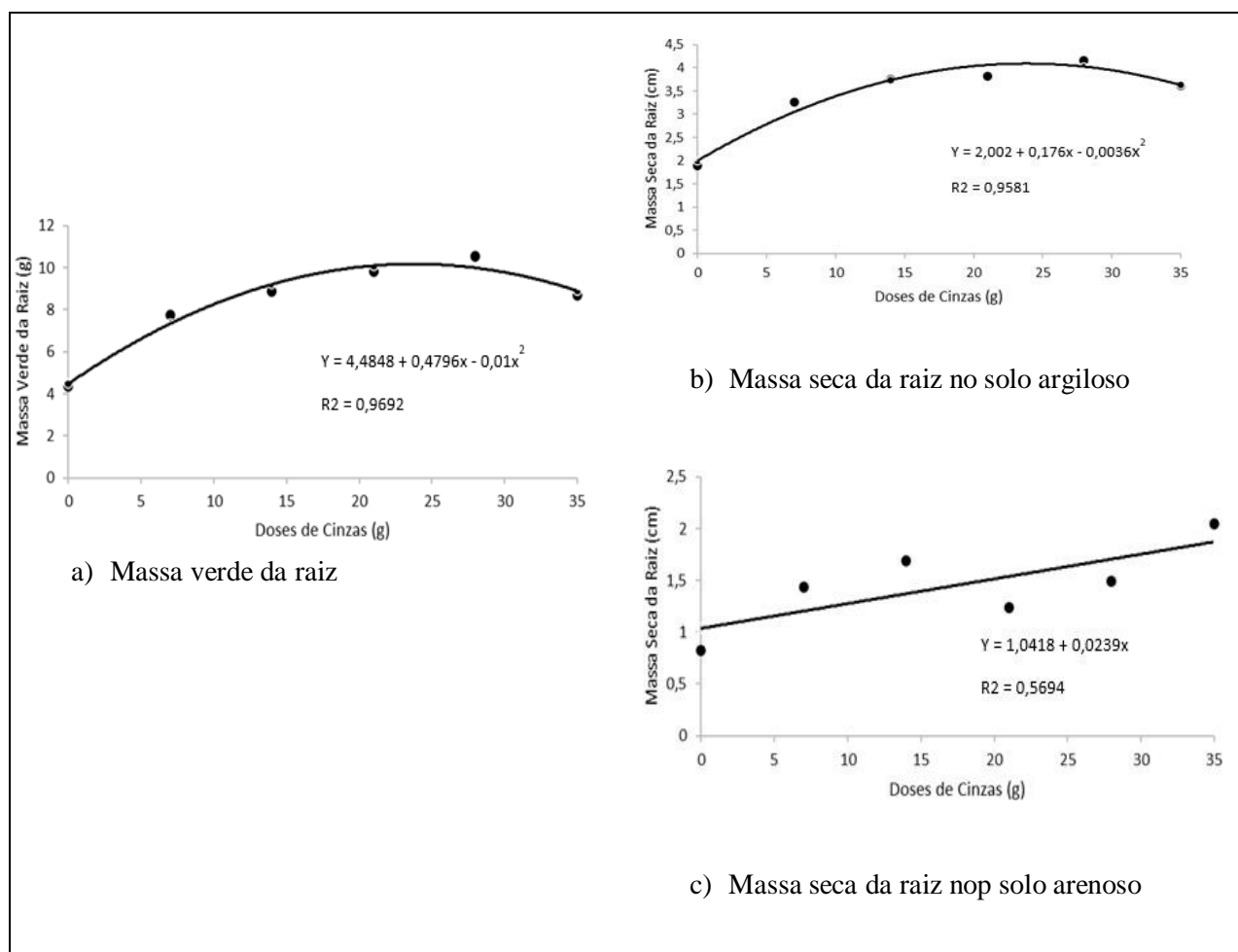


Figura 5. Massa verde e massa seca da raiz das plantas de beterraba, sob diferentes doses de cinza de cavaco de eucalipto. Fonte: o autor

Observa-se pelos dados, que além de maior diâmetro e comprimento das raízes tuberosas, houve aumento significativo das massas verde e seca da parte radicular da planta de beterraba, indicando que a incorporação nos solos das doses de cinza oportunizou um aumento significativo no desenvolvimento radicular, devido a disponibilização de nutrientes ao solo.

Analisando pelo teste de Tukey, todas as doses de cinza testadas neste experimento apresentaram diferença significativa, entre os solos argiloso e arenoso, no peso de massa seca da raiz, indicando que no solo argiloso as dosagens de cinza responderam melhor, acarretando maiores peso de massa verde e de massa seca de raiz, como demonstrado no figura 6.

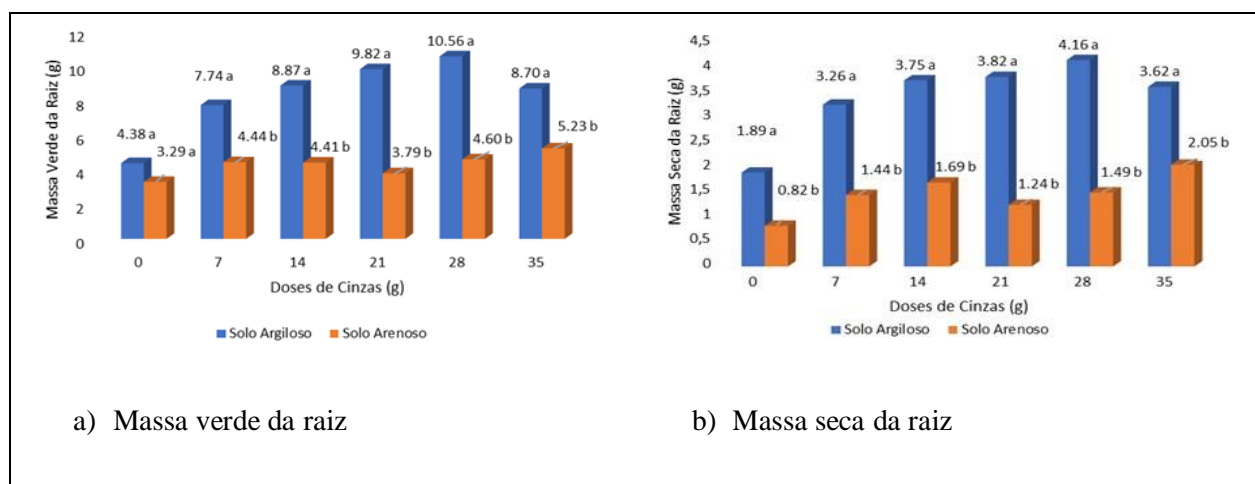


Figura 6. Massa verde e seca da raiz de beterraba, sob diferentes doses de cinza, em solo argiloso e solo arenoso. Fonte: o autor

Entre os tipos de solo houve diferença significativa em todas as dosagens de cinzas incorporadas, apresentando as melhores médias na massa verde da raiz o solo argiloso, com 10,56g na dosagem de 28 g/dm³, como pode ser observado no Figura 6a.

Esse aumento na produção da massa verde e seca tanto da parte aérea como na raiz, provavelmente foi desencadeado pelo rápido processo de liberação dos nutrientes presentes na cinza da biomassa florestal e foram mobilizados pelas raízes da planta de beterraba, sendo absorvidos e utilizados para formação de compostos orgânicos para o desenvolvimento da planta.

6. CONCLUSÃO

A aplicação da cinza vegetal alterou as características químicas dos solos analisados, os teores de nutrientes apresentaram diferença entre as doses de cinza, tendo os teores de MO, P, K, Ca, Mg no solo elevados, de acordo com o aumento das doses aplicadas, melhorando o pH, CTC, SB e V%.

O solo argiloso com a incorporação da cinza vegetal, foi o que demonstrou melhores respostas nos parâmetros analisados para o desenvolvimento da beterraba, apresentando capacidade de ser uma fonte de nutrientes para esta cultura.

Entre os resultados apresentados, o solo que obteve melhor resultado foi o solo argiloso, apresentando melhor resposta em relação a elevação de teores nutricionais e melhoria nos índices de fertilidade. Sobre as doses, destacou-se a dose de 28g/dm³, que apresentou melhor desempenho na maioria dos parâmetros analisados, indiferente ao tipo de solo analisado.

REFERÊNCIAS

- ABREU JR., C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Especiais de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p.391-479, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001829814>. Acesso em: 10 out. 2020.
- AHMARUZZAMAN, M. A review on the utilization of fly ash. **Progress in Energy and Combustion Science**, n. 36, p. 327-363, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.003>
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 4, p.1065-1073, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400024>
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, Jul/Set. 2007. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684#:~:text=Os%20principais%20indicadores%20microbiol%C3%B3gicos%20s%C3%A3o,em%20curto%20e%20longo%20per%C3%ADodo>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n30p18-30>
- AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R.; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems: potential benefits and drawbacks. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 306, n. 1-2, p. 181-198, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9570-z>
- BALBINOT JR., A.A.; TÔRRES, A.N.L.; FONSECA, J.A.; TEIXEIRA, J. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alfafa pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p.9-15, 2006. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5374/3579>. Acesso em: 10 out. 2020.
- 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. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/728>. Acesso em: 12 out. 2020
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832014000100034>
- BASU M.; PANDE, M.; BHADORIA P. B. S.; MAHAPATRA, S. C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science** 19(10): 1173- 1186. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.006>
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. **Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais**. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/282198/residuos-da-industria-de-celulose-em-plantios-florestais>. Acesso em: 12 out. 2020
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. ISBN: 9788587632562

BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A., LAL R., **Methods for Assessment of Soil Degradation**. CRC Press. 2019. 576p. ISBN 9780367448097 .

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. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15073>. Acesso em: 12 out. 2020

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.524, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/cinza%20vegetal.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020

BRASIL. **Lei Federal Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6894-16-dezembro-1980-371561-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 15 out. 2020

BRITO, W. de A.; FREITAS, M. A. A., **Horta orgânica: segurança alimentar do campo à mesa**. Aracaju: EMDAGRO, p22, 2004.

CAMARGO, A. M. M. P. de; CAMARGO FILHO, W. P. de; CAMARGO, F. P. de; ALVES, H. S.. Produção em agropecuária orgânica: considerações sobre o quadro atual. **Informações Econômicas**, SP, v.34, n.7, jul. 2004. Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/44_185.pdf. Acesso em: 18 out. 2020

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ,1997. 132 p.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI. p. 9-22, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851994659.0009>

CASSOL, A.; SCHNEIDER, S. Produção e consumo de alimentos: novas redes e atores. Lua Nova: **Revista de Cultura e Política**, São Paulo, n.95, maio-ago 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-6445143-177/95>

CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 3. ed. rev. Recife: IPA, 2008. ISBN: 978-85-60827-01-5

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira –Grãos**. Safra 2019/2020, v.3, n.8, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 05 jan. 2021

COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável I: conceitos. **Revista de ciências agrárias**, 2010, 33.2: 61-74. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/15872/13812>. Acesso em: 08 ago. 2020

DAMASCENO L. A; GUIMARÃES M. A; GUIMARÃES, A. R. Produtividade de beterraba em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, 2011. Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV_5/A3769_T5156_Comp.pdf. Acesso em: 08 ago. 2020

DAROLT, M. R.; OSAKI, F. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba, **Revista Setor Ciências Agrárias**, v.11 (1-2), 1991, Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Moacir-Darolt/publication/267415032_ESTUDO_DA_QUALIDADE_DE_CINZAS_VEGETAIS_PARA_USO_COMO_ADUBOS_NA_REGIAO_METROPOLITANA_DE_CURITIBA/links/5c5c1

c99a6fdccb608ae0b64/ESTUDO-DA-QUALIDADE-DE-CINZAS-VEGETAIS-PARA-USO-COMO-ADUBOS-NA-REGIAO-METROPOLITANA-DE-CURITIBA.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020

DE CAMARGO, M. S. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. **Pesquisa e Tecnologia**, vol. 9, n. 2, Jul-Dez 2012. Disponível em:

<http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2012/julho-dezembro-2/1317-a-importancia-do-uso-de-fertilizantes-para-o-meio-ambiente/file.html>. Acesso em: 20 ago. 2020

DELGADO, A.; GÓMEZ, J. A. **The soil: Physical, chemical and biological properties**. In: Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer, Cham, 2016. p. 15-26. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_2

DELL, B; HUANG, L. B. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, Dordrecht, n.1, p.103-120, 1997. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5580-9_8

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**. 2001. 77:287-295. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00043-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00043-2)

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5. p. 640-645, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422013000500005>

EMBRAPA. **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: O papel do País no cenário global**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014. v.1. ISBN 978-85-60755-73-8

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral das Plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 402 p. ISBN 85-99144-03-0

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **The State of Food Insecurity In The World**. 2004, Rome. ISBN 92-5-105178-X

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action**. Rome: Food and Agricultural Organization, 2012. E-ISBN 978-92-5-107288-2

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1806-66902012000200004>

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência e Agronomia**, Mar 2017, vol.48, nº1, p.22-31. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4183/1489>. Acesso em: 10 set. 2020

FERREIRA, M. D.; TIVELLI, S. W. **Cultura da beterraba: recomendações gerais**. Guaxupé: COOXUPÉ. 1990. 14p.

FILGUEIRA, F. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000.401p. ISBN: 978-85-7269-313-4

FONTES, P. C. R. **Olericultura: teoria e prática 2ª. edição**. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia. Viçosa: UFV, 2019. ISBN: 9788581791500

- GODOY, A. R.; SALATA, A. DA C.; CARDOSO, A. I. I.; EVANGELISTA, R. M.; KANO, C.; HIGUTI, A. R. O. Produção e qualidade de couve-flor com diferentes doses de potássio em cobertura. **Scientia Agrária Paranaensis**, v. 11, n. 2, p. 33-42, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v11i2.4782>
- GOEBEL, M. O., BACHMANN, J., REICHSTEIN, M., JANSSENS, I. A., GUGGENBERGER, G. Soil water repellency and its implications for organic matter decomposition —is there a link to extreme climatic events, **Global Change Biology**. 17, 2640–2656 p., 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02414.x>
- GOMES, A. V. M.; CARMINHA, U; MEMORIA, C. V. A Destinação dos Resíduos Sólidos das Empresas Inovadoras: a Lei do Bem e o seu papel na sustentabilidade ambiental e social. **Sequência (Florianópolis)**, Florianópolis, n. 82, p. 120-145, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-7055.2019v41n82p120>.
- 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, Vitória ES, 2009.
- HORTA, A. C. S.; SANTOS H. S.; SCAPIM, C. A.; CALLEGARI, O. Relação entre produção de beterraba, *Beta vulgaris* var. conditiva, e diferentes métodos de plantio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1123-1129, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2607>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.10.006>
- JOKINEN, H. K. KIIKILLA, O.; FRITZE, H. Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application. **Soil Biology and Biochemistry** 2006. 38:2285-2291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.02.007>
- KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. B. Uma nova classe de antioxidantes catiônicos na dieta. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2001, v.49, p.5178-5185.
- KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley and Sons, 2003. p. 3116-3126. ISBN: 9780471354505
- LANA, M. M.; TAVARES, S. A. **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 209 p. il. color. ISBN: 978-85-86413-XX-X
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2005, 531 p. ISBN 85-86552-03-8
- LOO, S. V.; **The handbook of biomass combustion and co-firing**. Londres: Earthscan, 2010. 442 p. ISBN-10 : 1849711046 e ISBN-13 : 978-1849711043
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.
- LOPES, A. S., SILVA, M. de C., GUILHERME, L. R. G. **Boletim técnico n° 1: acidez do solo e calagem**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 14 p.
- 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, jan.jun. 2008. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPf-2009-09/44389/1/4_Maeda_etal.pdf. Acesso em: 10 set. 2020
- 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. **Journal Hazardous Materials**, v.208, p.21-27, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.015>

MALAVOLTA, E. PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. ISBN: 8521310749, 9788521310747

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba-SP: Potafos, 1997. 319 p. CDD: 581-13

MALUF, R. S. BURLANDY, L.; SANTARELLI, M.; SCHOTTZ, V.; SPERANZA, J. S. Nutrition-sensitive agriculture and the promotion of food and nutrition sovereignty and security in Brazil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.20, n.8, p.2303-12, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232015208.14032014>.

MANDRE, M.; PÄRN, H.; OTS, K. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.11.017>.

MAGRO, F. O. **Efeito do composto orgânico e adubação potássica em atributos do solo e da beterraba**. Botucatu, 2012. Disponível: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103302/magro_fo_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 set. 2020.

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. Disponível: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/index.php/RAC/article/view/640>. Acesso em 11 set.2020.

MIRANDA, J; COSTA, L. M. da; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R.. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 633-647, agosto-2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000400004>.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-69162011000100009>

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. de M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba (48/49): 18-27, 1995. Disponível: www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap03.pdf. Acesso em 11 set.2020.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p. ISBN: 85-87692-33-x

MUGGLER, C. C.; PINTO SOBRINHO, F. A.; MACHADO, V. A. Educação em solos: princípios, teoria e métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2006, vol.30, n.4 pp.733-740. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832006000400014>

NAYAK, A. K.; RAJA, R.; RAO, K. S.; SHUKLA, A. K.; MOHANTY, S.; SHAHID, M.; TRIPATHI, R.; PANDA, B. B.; BATTACHARYYA, P.; KUMAR, A.; LAL, B.; SETHI, S. K.; PURI, C.; NAYAK, D.; SWAIN, C. K. Effect of fly ash application on soil microbial response and heavy metal accumulation in soil and rice plant. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Orlando, v. 114, p. 257-262, apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.033>

NITZKE, J. A.; THYS, R.; MARTINELLI, S.; OLIVEIRAS, L. Y.; AUGUSTO-RUIZ, W.; PENNA, N. G.; NOLL, I. B. Segurança alimentar: retorno às origens?. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 15, n. spe, p.02-10, maio 2012.DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000044>.

NUNES, M. U. C.; FAZOLIN, M; OLIVEIRA, J. B. de. **Recomendações técnicas para o cultivo de beterraba (*Beta vulgaris* var. Conditiva) no Acre**. Rio Branco EMBRAPA-CPAF-Acre. 1 995.17p. ISSN 0100-9915

PANDEY, V. C.; SINGH, N. Impact of fly ash incorporation in soil systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 1-2, p. 16-27, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.013>

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.052>

PRADO, R.M.; CORRÊA, M. C. de M.; NATALE, W. Efeito 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. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2412>

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e e Manejo de Nutrientes** . Editora UFV, IPNI, 2011. 420p. ISBN: 9788598519074

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**, Amsterdam, v. 128, p. 52-74, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.003>

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8ª edição, 2014. Editora Saraiva ISBN: 9788527723626

RESENDE, G. M. de; CORDEIRO, G. G. **Uso da água salina e condicionador de solo na produtividade de beterraba e cenoura no semi-árido do submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. 2007. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36704/1/COT128.pdf>. Acesso em 12 out. 2020

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Campinas, Embrapa Monitoramento por satélite, 2010. 26p. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em 24 set. 2020

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. ISSN 1676-9732

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. DOI: <https://doi.org/10.5380/rsa.v10i6.15530>

SILVA, S. B. **Análise de Solos para Ciências Agrárias** 2. ed. - Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. EDUFRA, ISBN: 978-85-7295-132-6.

SOARES, E. R.; MELLO, J. W. V. de; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M. da.. Cinza e carbonato de cálcio na mitigação de drenagem ácida em estéril de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v.30, n1, p. 171-181, Feb. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100017>.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: Aprenda Fácil. 2014. 841p. ISBN: 9788583660392

SOUZA, R. J. de; FONTANETTI, A.; FIORINI, C. V. A.; ALMEIDA, K. de. **Cultura da Beterraba: Cultivo convencional e cultivo orgânico**. TA n^o 34, Lavras: UFLA. 2013. 37p

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. ISBN: 9788536327952a

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; FACTOR, L.; BREDAS JUNIOR, J. M. **Calagem e Adubação da Beterraba**. Campinas, SP: IAC, 2013. Disponível: <http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/hortifruti/calagem-e-adubacao-da-beterraba.html>. Acesso em 25 set. 2020

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. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v6n12014526>

TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A.; TRANI, P. E.; MAY, A. **Beterrabas: do plantio à comercialização**. Campinas: Instituto agrônomo, 2011. 45 p. (Boletim técnico 210). Disponível: <http://www.esalq.usp.br/cprural/flipbook/pb/pb53/assets/basic-html/page34.html>. Acesso em 25 set. 2020.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. Andrei: São Paulo, 2007. ISBN: 9788574763453

YUNUSA, I. A. M. et al. Fly-ash: an exploitable resource for management of Australian agricultural soils. **Fuel**, v.85, 2337-2344, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.01.033>

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; BORSZOWSKI, P. R.; RADOMSKI, M. I.; SANTOS, R. O. Calagem e adubação para a produção de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) de base agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2434-2437, nov. 2009. ISSN 1980-9735. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/8635>>. Acesso em: 07 out. 2020.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1727-1737, nov, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(02\)00160-8](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00160-8)

ZHANG F-S.; YAMASAKI S.; NANZYU, M. Waste ashes for use in agricultural production I. Liming effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals. **Science of the Total Environment**. 284:215–225, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(01\)00887-7](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(01)00887-7)