

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MATHEUS JOSÉ BATISTA

**AVALIAÇÃO DA MISTURA SOLO ARGILOSO, HUMUS E CINZAS DE CALDEIRA
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE CRESPA (*lactuca sativa l. crespa*)
UTILIZANDO TÉCNICA DCCR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2021**

MATHEUS JOSÉ BATISTA

**AVALIAÇÃO DA MISTURA SOLO ARGILOSO, HUMUS E CINZAS DE CALDEIRA
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE CRESPA (*lactuca sativa l. crespa*)
UTILIZANDO TÉCNICA DCCR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

LONDRINA

2021

MATHEUS JOSÉ BATISTA

**AVALIAÇÃO DA MISTURA SOLO ARGILOSO, HUMUS E CINZAS DE CALDEIRA
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE CRESPA (*lactuca sativa l. crespa*)
UTILIZANDO TÉCNICA DCCR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 16/dezembro/2021

Joseane Debora Peruço Theodoro
Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

Ajadir Fazolo
Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

Marcelo Hidemassa Anami
Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para superar as dificuldades.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida, em especial para meu pai que foi e incessantemente será meu exemplo de homem a ser seguido.

A minha amada Ana, noiva e companheira que sempre esteve ao meu lado durante todo o percurso acadêmico, dando todo apoio e amor. Obrigado por estar presente nestes momentos comigo, dividindo as alegrias e angústias.

Sou grato pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meu professor MARCELO HIDEMASSA ANAMI, orientador do meu trabalho. Obrigado por me manter motivado durante todo o processo e indicar a direção correta que o trabalho deveria tomar.

Gratidão pela participação da professora Joseane Debora Peruço Theodoro e do professor Ajadir Fazolo cuja dedicação e atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído satisfatoriamente.

Agradeço ao Instituto Federal do Paraná – IFPR Campus Londrina em especial ao Prof. DR. Leonardo Carmezini Marques, por realizar as análises químicas do material utilizando o equipamento espectrômetro de Fluorescência de Raios-x EDX-7000.

Também quero agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino. Proporcionando uma experiência incrível, não apenas na formação profissional como na formação humana.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

BATISTA, Matheus José. *Avaliação da mistura solo argiloso, húmus e cinzas de caldeira na produção de mudas de alface crespa (Lactuca sativa L. crespa) utilizando técnica dccc.* 2021. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

RESUMO

As indústrias que utilizam caldeiras com queima de biomassa têm gerado grande quantidade de cinzas que podem ocasionar impactos ambientais negativos no meio ambiente. O objetivo deste trabalho é verificar se é possível fazer a sua reutilização na produção de mudas de alface crespa (*Lactuca sativa L. crespa*), utilizando o método do delineamento composto central rotacional (DCCR) que é uma técnica estatística para determinar a melhor proporção de solo argiloso, húmus e cinzas de caldeira, visando um destino sustentável e agregador para o resíduo. Para isso, foi realizado o experimento utilizando variações de dosagens do composto formado por terra de barranco (solo argiloso), húmus de minhoca e cinza de caldeira de uma indústria de laticínios da cidade de Londrina-PR. A biomassa utilizada na caldeira é o eucalipto. Foram realizadas vinte dosagens em triplicata. O experimento foi realizado a céu aberto na cidade de Londrina-PR. Colocaram-se três sementes por saquinho, foi colhidas trinta dias após a germinação, pesadas as partes aérea e raiz. Após isso secadas em estufa e realizada nova pesagem. Também realizou-se análises de cada dosagem, utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva, visando obter suas características químicas. A partir dos resultados foi possível concluir que quanto maior a dosagem de húmus de minhoca, melhor é o desenvolvimento das plantas. O solo argiloso se mostrou ineficiente no substrato, com resultados que demonstram que não é interessante sua utilização na composição do substrato. As cinzas de caldeira agregaram cálcio e potássio no substrato, além de fazer a neutralização do alumínio, as cinzas se mostraram interessante utilizar uma dosagem na faixa de $0,15 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$. O tratamento que obteve o melhor resultado foi o que utilizou $0,26 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ de solo, $0,40 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ de húmus e $0,24 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ de solo argiloso.

Palavras-chave: Planejamento experimental; Resíduo industrial; Delineamento Composto Central Rotacional; Substrato.

BATISTA, Matheus José. *Evaluation of the mixture of clay soil, húmus and boiler ash in the production of crispy lettuce (Lactuca sativa L.) seedlings using the dccr technique*. 2021. 41 p. Course Conclusion work (Bachelor of Environmental Engineering). - Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR). Londrina, 2021.

ABSTRACT

Industries that use biomass-burning boilers have generated large amounts of ash that can cause negative environmental impacts on the environment. The objective of this work is to verify if it is possible to reuse them in the production of crispy lettuce seedlings (*Lactuca sativa L.* curly), using the rotational central composite design (DCCR) method, which is a statistical technique to determine the best proportion of clayey soil, humus and boiler ash, aiming at a sustainable and aggregating destination for the residue. For this, the experiment was carried out using dosage variations of the compost formed by gully earth (clay soil), earthworm humus and boiler ash from a dairy industry in the city of Londrina-PR. The biomass used in the boiler is eucalyptus. Twenty dosages were carried out in triplicate. The experiment was carried out in the open air in the city of Londrina-PR. Three seeds were placed per bag, they were harvested thirty days after germination, and the aerial and root parts were weighed. After that, they were dried in an oven and weighed again. Analyzes of each dosage were also carried out, using the technique of X-Ray Fluorescence by dispersive energy, in order to obtain their chemical characteristics. From the results it was possible to conclude that the higher the dose of earthworm humus, the better the development of the plants. The clayey soil proved to be inefficient in the substrate, with results showing that its use in the substrate composition is not interesting. The boiler ash added calcium and potassium in the substrate, in addition to neutralizing the aluminum, the ash proved to be interesting to use a dosage in the range of $0.15 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$. The treatment that obtained the best result was the one that used $0.26 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ of soil, $0.40 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ of humus and $0.24 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ of clayey soil.

Keywords: Experimental planning; Industrial waste; Composite Central Rotational Design; Substrate.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cm	Centímetros
Cu	Cobre
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
G	Gramas
IFPR	Instituto Federal do Paraná
K	Potássio
Kcal	Quilo calorias
Kg	Quilo
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
OH	Hidróxido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogênionico
S	Enxofre
Si	Silício
Ti	Titânio
Zn	Zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caldeira Benecke GM-35.....	20
Figura 2 - Cinza, Húmus e Solo.....	21
Figura 3 - Sementes de Alface Crespa utilizadas no projeto.....	22
Figura 4 - Foto do substrato pronto e colocado nos saquinhos.....	23
Figura 5 - Alfaces 30 dias após a germinação.....	28
Figura 6 - Parte aérea e radicular após a colheita.....	28
Figura 7 - Mudas com 18 dias após a germinação.....	29
Figura 8 - Superfície de resposta do húmus e solo em relação à massa úmida de folha.....	33
Figura 9 - Superfície de resposta do cinza e solo em relação à massa úmida de folha.....	34
Figura 10 - Superfície de resposta da cinza e húmus e solo em relação à massa úmida de folha.....	34
Figura 11 - Superfície de resposta do húmus e solo em relação à massa úmida de raiz.....	35
Figura 12 - Superfície de resposta do cinza e solo em relação à massa úmida de raiz.....	35
Figura 13 - Superfície de resposta do cinza e húmus em relação à massa úmida de raiz.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Valores codificados utilizados no DCCR.....	23
Tabela 2	-	Valores codificados utilizados na composição do substrato.....	24
Tabela 3	-	Análises dos materiais utilizados na formação dos tratamentos....	25
Tabela 4	-	Resultado das análises de cada tratamento.....	25
Tabela 5	-	Resultado das massas úmidas.....	29
Tabela 6	-	Coefficiente de regressão da massa úmida de folha.....	30
Tabela 7	-	Coefficiente de regressão da massa úmida de raiz.....	30
Tabela 8	-	A nova da massa úmida de folha.	31
Tabela 9	-	A nova da massa úmida de raiz.....	31
Tabela 10	-	Atividade prevista e erro de ajuste massa úmida de folha.....	32
Tabela 11	-	Atividade prevista e erro de ajuste massa úmida de raiz	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	INDÚSTRIALIZAÇÃO NO BRASIL.....	14
3.1.1	Importância para o país.....	14
3.1.2	Consumo de biomassa florestal pelas indústrias.....	14
3.1.3	Impacto gerado pelo desflorestamento.....	15
3.2	CINZAS DE CALDEIRA.....	15
3.2.1	Produção.....	15
3.2.2	Características.....	16
3.2.3	Reutilização e seus potenciais.....	16
3.2.4	Queima da biomassa	16
3.3	METODOLOGIA DCCR.....	17
3.3.1	O que é.....	17
3.3.2	Onde e como é utilizado.....	17
3.4	ALFACE CRESPA (Lactuca sativa L. crespa)	18
3.4.1	Cultura da alface.....	18
3.4.2	Tipos e cultivares de alface.....	18
3.4.3	Produção de alface.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1	COLETA DAS CINZAS DE CALDEIRA.....	21
4.2	CHARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS.....	21
4.3	HUMUS DE MINHOCAS E SOLO ARGILOSO.....	22
4.4	SEMENTES DA ALFACE CRESPA.....	23
4.5	TESTES DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES.....	23
4.6	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	ANÁLISES QUÍMICAS.....	26
5.2	GERMINAÇÃO.....	37

5.3	MASSA ÚMIDA E MASSA.....	38
5.4	DCCR.....	30
5.4.1	DCCR MASSA ÚMIDA FOLHA.....	33
5.4.2	DCCR MASSA ÚMIDA RAIZ.....	35
6	CONCLUSÕES.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial, ocorreram dois grandes malefícios no ponto de vista ambiental, o aumento da geração de resíduos e o seu descarte incorreto. Posteriormente, houve um aumento da preocupação com o meio ambiente e sua preservação, fato esse, que levou a sociedade e seus governantes a estabelecerem parâmetros, visando conciliar o crescimento das indústrias e tecnologias com a preservação ambiental. A partir deste contexto, passaram a existir legislações e fiscalizações mais rígidas, bem como o surgimento de entidades em prol do meio ambiente (VASCONCELLOS, 2004, p. 2).

Assim, a preocupação com a destinação dos resíduos gerados nas indústrias, sendo diversas etapas impactadas, dentre elas; a perda de matéria prima, possíveis contaminações de solo e das águas, crescimento do uso dos recursos naturais.

Os resíduos por possuírem materiais sobre os quais se tem cada vez mais interesse de análise devido a sua relação com a questão de proteção do meio ambiente, seja pelo espaço que ocupam, sejam por suas composições físico-químicas, vem sofrendo ao longo dos anos um disciplinamento legal cada vez mais rigoroso (RIBEIRO, 2010, p.13).

O destino das cinzas de caldeira oriundas das indústrias, tendo como exemplo as indústrias de papel, celulose e usinas sucroalcooleiras, que em sua grande maioria acabam tendo como destino o aterro sanitário, assim, criando um impacto ambiental indesejado. Segundo Oliveira (2002, p. 149), as delimitações aplicadas por meio das legislações que foram surgindo, em paralelo com o crescimento da conscientização da população, fizeram com que o setor industrial se obrigue a gerir seus resíduos, circunstância essa que constitui mais um custo para este nicho. Portanto, criar um plano de reaproveitamento dos resíduos gerados implica em vários benefícios para a empresa, como a redução com os custos para a destinação final do resíduo, contribuindo para a preservação ambiental, fazendo com que a empresa tenha uma imagem melhor pela ótica da população e seus clientes, sendo vista como sustentável, além de obter uma renda extra com a comercialização do resíduo que será reaproveitada por outra indústria.

Vale salientar, que além dos resíduos acima destacados, existe o resíduo gerado na utilização de biomassa para geração de energia, assim como indústrias

que utilizam vapor ou fluido térmico e utilizam a biomassa como combustível, que também produzem um volume considerável de resíduos. De acordo com Maeda (et al., 2007, p.1), “a grande quantidade de resíduos geradas em caldeira pela queima de biomassa florestal de indústria de celulose e papel vem provocando preocupações ambientais e econômicas”.

Para Gimenes (2012, p. 12), um dos motivos pelos quais a reutilização das cinzas de caldeira no uso agrícola é recomendável, se dá pelo fato de grande parte da agricultura brasileira depender de fertilizantes químicos, que além de seu custo alto de aquisição, são obtidos a partir de fontes não renováveis. Ademais, o país ainda não consegue produzir estes fertilizantes sem necessidade de importar matéria-prima.

Acredita-se, que a cinza de caldeira possui nutrientes que podem ser reaproveitados como substrato, assim, dando uma destinação mais positiva para o meio ambiente e economicamente viável para as empresas. E assim dar uma destinação sustentável para o resíduo gerado.

Dentre as vantagens no uso das cinzas na agricultura podemos destacar sua utilização como corretor de pH do solo, pois as cinzas têm pH alcalino. Esta alcalinização do solo pode ser explicada, segundo Gimenes (2012, p. 12), devido a liberação pelas cinzas no solo de íons Ca^{2+} , Na^+ , Al^{3+} e íons de OH^- . As cinzas também podem ser usadas para melhorar a capacidade de retenção da água devido ao aumento da microporosidade do solo com a disposição das cinzas.

A alface crespa (*Lactuca sativa L.*) foi escolhida pelo fato de ser uma planta de fácil cultivo e de germinação rápida, não é exigente e se adapta bem ao clima da região que é subtropical úmido.

Dado essa problemática, o trabalho em questão buscou analisar a possibilidade de reutilizar a cinza de caldeira gerada na indústria, avaliando o seu potencial na produção de mudas de alface crespa (*Lactuca sativa L. crespa*), com o propósito de buscar uma solução econômica e sustentável para o reaproveitamento deste resíduo gerado. Utilizando a técnica do DCCR - delineamento composto central rotacional como ferramenta para estabelecer as melhores proporções de mistura do solo, húmus e cinzas de caldeira.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes doses de cinza de caldeira, solo argiloso e húmus, em substrato para a produção de mudas de alface crespa (*Lactuca sativa L.*) utilizando a técnica do DCCR - delineamento composto central rotacional como ferramenta para estabelecer as melhores proporções destes componentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar solo argiloso, cinzas de caldeiras e húmus;
- Fazer o planejamento experimental definindo as doses da mistura de solo argiloso, húmus e cinza de caldeira de acordo com a técnica do DCCR;
- Fazer a caracterização físico-química das misturas de solo argiloso, húmus e cinzas de caldeira;
- Adquirir as sementes de alface crespa (*Lactuca sativa L.*) e realizar teste de germinação antes do plantio;
- Avaliar os resultados da produção através da massa fresca de folha + caule e raiz.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INDÚSTRIALIZAÇÃO NO BRASIL

3.1.1 Importância para o país

A industrialização foi um grande marco para o Brasil, pois, o país passou a ser menos dependente de importação. A partir do surgimento das indústrias houve a expansão urbana, geração de milhares de empregos e por consequência o aumento do número de consumidores, o que acarretou no crescimento da economia. Os interesses das indústrias em melhorar os seus processos de fabricação estimularam a inovação e evolução das tecnologias. Além de aumentar a exportação de produtos fabricados pelas indústrias (RODRIGUES; SCHIMIDT FILHO, 2015, p. 3).

3.1.2 Consumo de biomassa florestal pelas indústrias

Segundo a Embrapa (2009), as indústrias consomem entorno de 23% da lenha produzida no Brasil. Sendo as indústrias dos setores de papel e celulose, cerâmicas, alimentos e bebidas as responsáveis pela maior parte do consumo de biomassa florestal no ramo industrial. Em sua maioria, a biomassa utilizada oriunda de reflorestamento é de eucalipto.

Segundo Babu e Rao (1994, p. 223) com o aumento do uso do carvão nas atividades produtivas, a quantidade de cinza disponível assumiu proporções alarmantes, vindo a acarretar problemas ambientais associados a disposição, por isso se fez necessário avaliar as possibilidades de utilização do material.

3.1.3 Impacto gerado pelo desflorestamento

O principal impacto gerado pela desflorestação é a perda de biodiversidade, considerando que muitas espécies perdem o seu habitat natural e acabam ficando fragilizadas, podendo inclusive chegar a ponto de extinção. Outro fator é que o desmatamento causa a alteração do clima, pois, uma vez que se têm menos árvores, ocorre uma menor absorção do gás carbônico. Além disso, se tem uma

alteração negativa do ciclo hidrológico (PAULIQUEVIS, 2007, p. 48/50), devido uma menor quantidade de transpiração, sendo que esta alteração pode inclusive influenciar na agricultura, tendo em vista que o ciclo hidrológico pode causar a diminuição das chuvas, assim impactando diretamente na economia do país.

No plantio de florestas comerciais, como o plantio de eucalipto, também gera impactos ambientais, dentre eles o ressecamento do solo devido à capacidade de usurpar água ao seu redor, ocasionando um risco maior de erosão, causado pela desertificação após a colheita. Além do fato de diminuir a biodiversidade, pelo plantio de apenas uma espécie de árvore na área (BARROS; CAMPOS, 2011, p. 7).

3.2 CINZAS DE CALDEIRA

3.2.1 Produção

As cinzas de caldeira são produzidas a partir da queima de madeira em caldeira de biomassa, na indústria de celulose e papel, as cinzas são encontradas em grande quantidade. Estes resíduos normalmente servem como nutrientes para plantas. Sua qualidade de nutrientes e metais pesados depende da origem da biomassa utilizada e da intensidade da carbonização que a matéria foi submetida, estes dois fatores interferem diretamente na quantidade existente destes na matéria (MAEDA; et al, 2007, p.1).

De acordo com a Alcopar, no cultivo da cana-de-açúcar, a safra de 2017/18, no Paraná, totalizou 37,047 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moída. Malavolta (2001, p. 17) mostra que para cada 1000 kg de cana-de-açúcar moída, são gerados 16,5 kg de cinza. A partir desses dados, conclui-se que apenas no Paraná, no ramo de produção de cana-de-açúcar, tem o potencial de gerar 611 mil toneladas de cinza por ano.

3.2.2 Características

De acordo com Moro e Gonçalves (1995. p.18-27), as cinzas de caldeira, geralmente, possuem nutrientes cuja composição química encontrada, em g.kg^{-1} é a seguinte: 1,5 de N; 1,1 de P; 4,5 de K; 18,4 de Ca; 1,6 de Mg; e 0,5 de S.

Além de possuírem estes nutrientes na sua composição química, elas podem servir como corretivo de solo e fertilizante, visto que elas possuem bases que tem potencial para neutralizar a acidez do solo, porém, seus efeitos variam conforme a classificação do tipo de solo (PAULETTO et al., 1990; SANTOS et al., 1995; PRADO et al., 2002, p. 255/258).

3.2.3 Reutilização e seus potenciais

Para Silva (2008, p. 67), a reutilização das cinzas pode ser feita visando agregar nutrientes ao solo de plantações comerciais de biomassa, pois, contém cátions como o Mg, Ca e K, e possuem uma baixa porção de elementos como o Cd e Zn.

Segundo Reis e Manfroi (2016, p.4), as cinzas de caldeira têm potencial para substituir o cimento na produção de argamassas. Conforme seus experimentos de tração na flexão e resistência à compressão, usando pequenas quantidades de cinza. Os autores constataram que com quantidade de até 15% de cinza na substituição do cimento portland, a argamassa apresenta resultado pouco abaixo em relação a argamassa que utiliza 100% do cimento portland na sua composição, porém, ainda assim, atendem os padrões de resistência à compressão e tração determinados pela legislação.

3.2.4 Queima da biomassa

A queima da biomassa continua sendo utilizada atualmente, pois é uma fonte renovável, seu custo é mais baixo do que em relação a combustíveis líquidos e gases (Arruda, 2009, p. 34). Contudo, a sua eficiência é mais baixa, sua logística mais complexa, bem como necessita de um espaço físico maior para armazenamento e seu manuseio de mão-de-obra.

O poder calorífico da queima da lenha está relacionado à umidade e sua massa específica, uma umidade alta implica em uma menor combustão. Para ter uma eficiência boa na queima da lenha, deve-se estar atento a sua umidade. “Uma lenha de eucalipto com umidade igual a 12% gera 3.800 Kcal.Kg⁻¹, já uma com umidade média igual a 25%, gera 3.178 Kcal.Kg⁻¹, desperdiçando 622 Kcal.Kg⁻¹, ou 27%” (LEONHARDT; et al., 2014, p. 1).

3.3 METODOLOGIA DCCR

3.3.1 O que é?

Segundo Mattietto e Matta (2012, p.9):

A metodologia do planejamento do delineamento composto central Rotacional (DCCR) consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes). É uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida na década de 50, que, desde então, tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais”.

3.3.2 Onde e como é utilizado

O DCCR geralmente é utilizado em experiências relacionadas à área da agronomia, em projetos onde se tem um número de combinações pequenas em relação a todas as variações possíveis dentro do experimento.

Este método é relativamente eficiente onde se consegue ter um ambiente controlado durante a experimentação (MENDONÇA, 2012, p. 7), sendo indicado para experimentos de segunda ordem, para analisar as combinações entre dois fatores (A e B).

Em síntese, o experimento é realizado a partir de um ponto central, onde são realizadas réplicas e a partir disso, será feita uma estimativa interna do erro puro e dos pontos axiais, assim será possível determinar os pontos quadráticos, a partir disto, é possível realizar a estimativa do modelo de superfície de resposta.

3.4 ALFACE CRESPA (*Lactuca sativa L. crespa*)

3.4.1 Cultura da alface

A alface é cultivada em todas as regiões apesar das diferenças climáticas e costumes regionais. Com isso, ela é uma das hortaliças que mais se encontra em hortas domésticas.

O cultivo da alface é anual, sua origem é de clima temperado e, é uma das hortaliças mais conhecidas e consumida no Brasil e em todo o mundo. A maioria das variedades de alfaces cresce de forma satisfatória em regiões frias, já em regiões mais quentes pode ocorrer o aceleração do seu desenvolvimento, podendo prejudicar o seu crescimento, por consequência a planta pode ficar com um tamanho inferior, devido ao pendoamento que ocorre mais cedo (EMBRAPA, 2009).

3.4.2 Tipos e cultivares de alface

As variedades mais conhecidas e consumidas são a alface crespa e lisa, porém existem diversas variedades:

Repolhuda Lisa: apresenta folhas lisas, delicadas e macias, com nervuras pouco salientes, com aspecto oleoso (“manteiga”), formando uma cabeça típica e compacta. Cultivares ‘Áurea’, ‘Aurélia’, ‘Aurora’, ‘Babá de Verão’, ‘Boston Branca’, ‘Brasil 202’, ‘Brasil 303’, ‘Carla’, ‘Carolina AG 576’, ‘Crioula Branca’, ‘Elisa’, ‘Floresta’, ‘Glória’, ‘Kagraner de Verão’, ‘Karina’, ‘Lívia’, ‘Luisa’, ‘Marina’, ‘Maravilha de Inverno’, ‘Maravilha de Verão’, ‘Minie’, ‘Piracicaba 65’, ‘Rainha de Maio’.

Repolhuda Crespa ou Americana: folhas crespas, consistentes e crocantes, cabeça grande e bem compacta. Cultivares ‘América Delícia’, ‘Bounty Empire’, ‘Crespa Repolhuda’, ‘Grandes Lagos’, ‘GreatLakes’, ‘GreatLakes 659-700’, ‘Hanson’, ‘Iara’, ‘Lorca’, ‘Lucy Brown’, ‘Madona AG 605’, ‘Mesa 659’, ‘Nabuco’, ‘Raider’, ‘Salinas’, ‘Summertime’, ‘Tainá’.

Solta Lisa: folhas lisas e soltas, relativamente delicadas, sem formação decabeça compacta. Cultivares ‘Babá’, ‘Babá de Verão’, ‘Monalisa AG 819’, ‘Regina’, ‘Regina 71’, ‘Regina 440’, ‘Regina 579’, ‘Regina de Verão’, ‘Vitória de Verão’.

Solta Crespa: folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça; pode ter coloração verde ou roxa (Figura 6). Cultivares ‘Black Seeded Simpson’, ‘Brisa’, ‘Elba’, ‘Grand Rapids’, ‘Grand Rapids Nacional’, ‘Grand Rapids TBR’, ‘Grande Rápida’, ‘Hortência’, ‘Itapuã 401’, ‘Marianne’, ‘Marisa AG 216’, ‘Mimosa (SaladBowl)’, ‘Salad Bowl’, ‘Simpson’, ‘Vanessa’, ‘Verônica’, ‘Vera (AF-470)’.

Solta Crespa Roxa: ‘Maravilha Quatro Estações’, ‘Mimosa Vermelha’, ‘Quatro Estações’, ‘Rossimo’, ‘Salad Bowl Roxa’, ‘Veneza Roxa’, ‘Vermelha Ruby’.

Tipo Romana: folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras, com uma cabeça fofa e alongada, na forma de cone.

Cultivares 'Branca de Paris', 'Ideal Cos', 'Romana Balão' (EMBRAPA, 2009).

3.4.4 Produção de alface

Atualmente, existe diversas forma de produzir alface no Brasil: o cultivo convencional e o orgânico, realizados em local aberto; a produção coberta (estufa) utilizando hidroponia ou plantio direto no solo. O método mais utilizado é o de cultivo convencional em local aberto, pois neste consegue-se utilizar áreas grandes sem necessidade de investimentos altos, além de uma produção maior devido à área ocupada. A maior parte da produção de hortaliças é feita por agricultores familiares (EMBRAPA, 2009).

Para o plantio inicialmente deve-se se fazer o preparo do solo, realizando a aração e gradagem da área. Após este procedimento é necessário fazer a calagem e adubação, para realizar a correção de acidez do solo deve-se utilizar calcário, usando uma dosagem recomendada conforme análise de solo. Com o solo pronto, pode-se realizar o plantio direto colocando de três a quatro sementes por cova e, após quinze dias realizar o desbaste deixando apenas duas mudas mais viçosas, pode-se também produzir as mudas em bandejas ou saquinhos e transplantá-las para o local definitivo quando apresentarem quatro ou cinco folhas, após o plantio deve-se fazer as capinas, irrigações e adubações necessárias. Para a colheita leva entorno de 75 dias (EMBRAPA, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA DAS CINZAS DE CALDEIRA

Para a realização do presente trabalho, foram coletadas amostras de cinzas de caldeira em uma indústria de laticínios na região metropolitana de Londrina. O modelo da caldeira utilizada (Figura 1) é uma Benecke Gm-35 e utiliza biomassa, com capacidade de até 35 toneladas/hora e pode chegar a uma temperatura de 800° C. A biomassa utilizada na caldeira é o eucalipto (*Eucalyptus spp.*).



Figura 1: Caldeira Benecke Gm-35.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS

A caracterização das cinzas é de extrema importância, conhecer os seus principais componentes, e alguns traços que ela pode carregar, para assim

determinar o seu potencial de reutilização, bem como identificar se causa algum impacto ambiental.

Para a sua caracterização química, foi analisado em laboratório do Instituto Federal do Paraná (IFPR) campus Londrina através do método de fluorescência de raios-x. O material sintetizado na forma de pó foi analisado em Espectrômetro de fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (EDX) modelo Shimadzu EDX-7000, pertencente ao laboratório de física do Instituto Federal do Paraná - Campus Londrina, conforme metodologia de Nascimento Filho (1999). Analisando os seguintes componentes químicos: alumínio, cromo, ferro, potássio, manganês, fósforo, enxofre, silício, estrôncio, titânio, vanádio, zinco e zircônio.

4.3 HÚMUS DE MINHOCA E SOLO ARGILOSO

Na figura 2 são apresentados os compostos que foram utilizados nos tratamentos. O húmus de minhoca e o solo argiloso foram incorporados à cinza de caldeira para formar o substrato. O húmus de minhoca foi adquirido em casa agropecuária na região de Londrina. O solo argiloso foi doado por empresa de terraplenagem da região.



Figura 2: (a) cinza, (b) húmus e (c) solo argiloso.

Cada componente foi peneirado utilizando peneira 2 mm, antes de ser realizado as misturas com as suas respectivas dosagens.

4.4 SEMENTES DA ALFACE CRESPA

As sementes de alface crespa (Figura 3), variedade Black seeded Simpson, foram obtidas em casa agropecuária da região de Londrina, segundo informações da fabricante, as sementes possuem uma taxa de germinação de 85%, teste realizado em 06/20 com validade até 06/22.



Figura 3: Sementes de Alface Crespa utilizadas no projeto.

4.5 TESTES DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

Para realizar o teste de germinação, foram utilizados 60 saquinhos pretos para mudas com medidas de tamanho; 10 cm de largura, 10 cm de altura e 0,07 cm de espessura. Na formação do substrato foi feita uma variação das porções de cinzas, terra de barranco e húmus, para assim avaliar qual relação foi a mais eficiente na germinação.

Após colocar o substrato nos saquinhos, foram colocadas três sementes por recipiente (Figura 4). Para a avaliação de massa úmida das plantas foi deixado se desenvolverem 30 dias após a germinação. Neste período teve-se o cuidado de deixar os substratos levemente úmidos, realizando regas diárias. Todo o processo

foi realizado em campo aberto na zona sul de Londrina. Após a colheita as suas folhas e raízes foram lavadas e pesadas.



Figura 4: Foto do substrato pronto e colocado nos saquinhos.

4.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para realizar a análise dos dados, foi realizado um delineamento experimental (Tabela 2) para gerar um modelo de superfície de resposta de segunda ordem. Para isso, efetuou-se uma análise de variância, visando comprovar se o modelo é estatisticamente válido. O programa Statistica versão de teste 13.3, foi utilizado para relacionar a quantidade de cinza utilizada com a taxa de germinação. Para isso montou-se uma tabela exibindo estes resultados, além do gráfico da curva de superfície. Na análise de dados o ponto central em massa foi a dosagem de 0,15 g.100g⁻¹ de cinza de caldeira, 0,5 g.100g⁻¹ de solo de barranco e 0,25 g.100g⁻¹ de húmus de minhoca. Para realizar o DCCR utilizaram-se os seguintes valores codificados:

Composto	-1,68	-1	0	1	1,68
Solo (g.100g ⁻¹)	0,10	0,26	0,50	0,74	0,90
Humus (g.100g ⁻¹)	0,00	0,10	0,25	0,40	0,50
Cinza (g.100g ⁻¹)	0,00	0,06	0,15	0,24	0,30

Tabela 1: Valores codificados utilizados no DCCR.

Para a mistura dos compostos utilizou-se os valores codificados conforme a tabela 3:

Ensaio	Solo	Humus	Cinza
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

Tabela 2: valores codificados utilizados na composição dos tratamentos.

A partir destes dados, foi possível fazer a sua análise, buscando qual é a faixa onde se tem uma melhor resposta de cada item. Fornecendo uma equação que melhor descreve o modelo utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises realizadas no Espectrômetro de fluorescência de Raios-X tiveram os seguintes resultados:

Material	pH	g.100g ⁻¹										
		Si	P	K	Ca	S	Fe	Al	Mn	Ti	Zn	Cu
Cinza	8,89	6,919	0,466	4,733	74,282	0,045	8,469	0,000	3,151	0,95	0,075	0,072
Húmus	6,36	20,365	0,563	0,932	5,102	0,585	54,513	12,029	0,779	4,348	0,119	0,196
Solo	5,5	21,273	0,000	0,096	0,248	0,000	56,681	16,313	0,434	4,205	0,086	0,219

Tabela 3: Análises dos materiais utilizados na formação dos tratamentos.

De acordo com as análises realizadas, podemos perceber que a cinza de caldeira possui um pH de 8,89, valor esse que demonstra potencial para ser utilizado como corretivo de acidez do solo, além de possuírem abundância de cálcio com 74,28 g.100g⁻¹, podendo ser utilizada como fonte de cálcio na fertilização agrícola. Outro destaque é para a quantidade de potássio em relação aos outros componentes, as cinzas apresentaram 4,733 g.100g⁻¹.

Em comparação com os valores obtidos por Moro e Gonçalves (1995. p.18-27), as cinzas tiveram valores semelhantes na quantidade de fósforo, porém na quantidade de potássio houve grande diferença, fato esse que pode ser justificado por uma possível diferença de origem da biomassa utilizada na caldeira.

O solo de barranco apresentou-se deficiente nas quantidades de fósforo, potássio e cálcio com valores respectivos de: 0,000 g.100g⁻¹; 0,096 g.100g⁻¹; 0,248 g.100g⁻¹. Caracterização química essa que já demonstra o seu baixo valor nutricional, corroborando com os resultados encontrados no delineamento composto central rotacional.

Todos os tratamentos realizados também foram analisados, conforme apresentados na tabela 4:

Tratam	Si	P	K	Ca	S	Fe	Al	Mn	Ti	Zn	Cu
.						g.100g ⁻¹					
1	10,671	0,13	3,39	45,306	0,103	33,534	1,505	1,944	2,665	0,074	0,124
2	15,723	0,289	2,081	21,091	0,088	47,68	7,269	1,105	3,895	0,081	0,182
3	11,798	0,137	2,529	34,59	0,242	42,651	2,585	1,485	3,235	0,088	0,158

Continua.

Tratam	Si	P	K	Ca	S	Fe	Al	Mn	Ti	Zn	Cu
g.100g ⁻¹											
4	17,887	0,103	2,333	18,055	0,198	47,642	7,663	1,131	4,219	0,084	0,174
5	8,399	0,368	4,091	61,75	0,084	20,049	0,000	2,63	1,783	0,074	0,096
6	10,419	0,364	2,857	40,172	0,07	40,566	0,000	1,65	3,114	0,069	0,151
7	8,789	0,144	3,649	54,061	0,098	28,026	0,000	2,285	2,158	0,078	0,107
8	8,083	0,131	3,22	59,323	0,132	24,042	0,000	2,376	1,97	0,078	0,103
9	7,937	0,156	3,852	62,132	0,143	20,53	0,000	2,636	1,755	0,083	0,098
10	10,918	0,152	2,714	39,076	0,121	39,575	2,144	1,545	3,029	0,072	0,15
11	9,816	0,405	3,019	43,137	0,082	38,02	0,000	1,733	3	0,065	0,138
12	10,917	0,288	2,959	40,362	0,147	39,559	0,000	1,726	3,203	0,081	0,151
13	0,22	0,534	57,887	14,099	0,321	0,211	0,000	0,26	4,142	0,105	0,06
14	8,423	0,46	3,34	53,033	0,11	29,623	0,000	2,098	2,177	0,073	0,117
15	9,587	0,361	2,898	43,346	0,098	38,26	0,000	1,719	2,941	0,076	0,146
16-20	9,815	0,25	2,973	45,069	0,13	36,627	0,000	1,785	2,732	0,082	0,14

Tabela 4: Resultados das análises de cada tratamento.

A partir da mistura dos compostos, cada tratamento teve uma composição química diferente. Percebe-se que a quantidade de alumínio após a mistura é zero ou próxima de zero, fato que pode ser justificado pela adição das cinzas que promoveu a neutralização do alumínio totalmente ou parcialmente. Houve também um aumento significativo na quantidade de cálcio presente nos tratamentos, elemento esse que foi agregado pelas cinzas, assim como o potássio. A combinação dos componentes deu origem a um substrato com predominância de cálcio e ferro. No tratamento 13, o cálcio está com um valor discrepante em relação a todos os outros tratamentos, diferença que pode ser justificada como uma falha na formação do substrato ou sua análise.

5.2 GERMINAÇÃO

A germinação ocorreu numa faixa de seis a nove dias após o plantio, conforme o quadro 1, a seguir:

Tratamento	6 dias	7 dias	8 dias	9 dias
1A			X	
1B		X		
1C		X		
2A			X	
2B		X		
2C		X		
3A		X		
3B		X		
Continua.				

Tratamento	6 dias	7 dias	8 dias	9 dias
3C		X		
4A				X
4B		X		
4C			X	
5A			X	
5B		X		
5C	X			
6A			X	
6B				X
6C	X			
7A		X		
7B			X	
7C		X		
8A		X		
8B	X			
8C		X		
9A		X		
9B	X			
9C	X		X	
10A			X	
10B				X
10C				X
11A				
11B		X		
11C				X
12A			X	
12B		X		
12C		X		
13A		X		
13B		X		
13C		X		
14A		X		
14B		X		
14C		X		
15A			X	
15B			X	
15C		X		
16A				X
16B		X		
16C			X	
17A				X
17B	X			
17C	X			
18A		X		
18B		X		
18C		X		
19A		X		
19B	X			
19C			X	
20A				X
20B		X		
20C				X

Quadro 1: Tempo de germinação de cada tratamento.

A partir do Quadro 1 podemos observar que houve uma predominância de germinação com sete dias após o plantio das sementes. Prazo este que era o esperado conforme informado pelo distribuidor das sementes.

5.3 MASSA ÚMIDA DE FOLHAS+ CAULE E RAÍZES

Para se realizar a pesagem das massas, as alfaces foram colhidas após 30 dias da germinação:



Figura 5: Alfaces 30 dias após a germinação antes da colheita.
(a) tratamento 12; (b) tratamento 7; (C) tratamento 14.

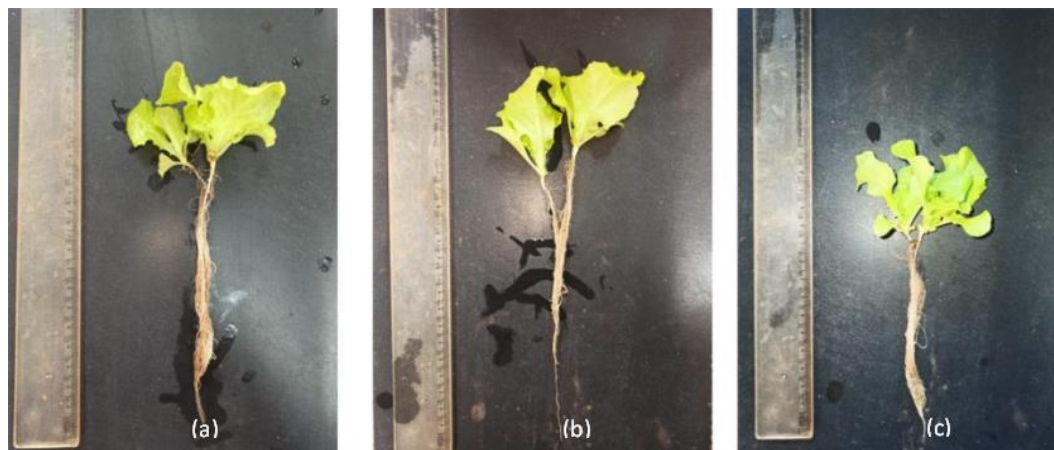


Figura 6: Parte aérea e radicular após a colheita.
(a) tratamento 12; (b) tratamento 7; (C) tratamento 14.



Figura 7: Mudas com 18 dias após a germinação

Pesou-se a massa úmida (in natura) posterior a sua colheita, realizando a pesagem da área radicular e sua área foliar. Os dados obtidos são apresentados na tabela 5:

Ensaio	Massa úmida de folha (g)	Massa úmida raiz (g)
1	0,78050	0,43682
2	0,38812	0,16632
3	0,85170	0,60805
4	0,16160	0,16345
5	0,46807	0,24522
6	0,16375	0,05450
7	0,98652	0,55742
8	0,16522	0,01410
9	0,85505	0,31552
10	0,05495	0,02627
11	0,15145	0,06790
12	0,77275	0,71010
13	0,05660	0,04437
14	0,62027	0,11180
15	0,80495	0,36697
16	0,73560	0,57255
17	0,77165	0,39445
18	0,75380	0,45447
19	0,73020	0,31300
20	0,74781	0,30880

Tabela 5: Resultado das massas úmidas.

Percebe-se que a partir da tabela 5, houve variação de resultados das massas conforme a variação do substrato, sendo o ensaio 7, foi o que mais teve

resultado no quesito massa úmida de folha e o ensaio 12 no ponto de vista da massa úmida de raiz.

5.4 DCCR

Os coeficientes de regressão (Tabela 6 e 7) nos mostram a mudança média na variável resposta para uma unidade de mudança variável, mas mantém as outras constantes no modelo. Essa regressão é importante, pois nos mostra o papel isolado de uma variável em relação a todas as outras no modelo.

Fatores	coef. Regressão	Erro padrão	t(14)	P	Limite inferior (-90%)	Limite superior (90%)
Mean/Interc.	0,754045	0,071355	10,56749	0,00000	0,628367	0,879724
(1)solo (L)	-0,260339	0,047367	-5,49622	0,00008	-0,343766	-0,176911
solo (Q)	-0,086263	0,046163	-1,86864	0,08274	-0,167571	-0,004955
(2)humus (L)	0,103218	0,047367	2,17911	0,04689	0,019790	0,186645
humus (Q)	-0,083747	0,046163	-1,81415	0,09113	-0,165056	-0,002439
cinza (Q)	-0,127562	0,046163	-2,76327	0,01524	-0,208870	-0,046254

Tabela 6: coeficiente de regressão da massa úmida de folha.

Fatores	coef. Regressão	Erro padrão	t(14)	P	Limite inferior (-90%)	Limite superior (90%)
Mean/Interc.	0,360079	0,039226	9,17971	0,000000	0,291596	0,428562
(1)solo (L)	-0,141818	0,037122	3,82036	0,001507	-0,206628	-0,077008
(2)humus (L)	0,111327	0,037122	2,99898	0,008498	0,046517	0,176137
cinza (Q)	-0,093035	0,035859	2,59449	0,019558	-0,155641	-0,030430

Tabela 7: coeficiente de regressão da massa úmida de raiz.

A equação 1 e 2 a seguir representa o experimento em função das variáveis codificadas, onde são levados em consideração apenas os valores estatisticamente significativos do modelo. Para a massa úmida de folha e raiz, tem-se:

$$Massa\úmida\folha = 0,7544045 - 0,260339 \cdot solo - 0,086263 \cdot solo^2 + 0,1032218 \cdot húmus - 0,083747 \cdot húmus^2 - 0,127562 \cdot cinza^2(1)$$

Equação 2: equação que representa o experimento de massa úmida de folha.

$$Massa\umida\raiz = 0,360079 - 0,283637 \cdot solo + 0,222654 \cdot húmus - 0,186071 \cdot cinza^2(2)$$

Equação 3: equação que representa o experimento de massa úmida de raiz.

A partir das equações 1 e 2 é possível estimar valores para cada componente e qual seriam seus resultados, ou seja, podemos simular outras dosagens e prever seus resultados de massa úmida de raiz e folha, entretanto tais resultados vão ser conforme precisão do modelo.

A partir dos resultados obtidos verificou-se o modelo é válido, para isso foi comparado o valor de $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} :

Material	SS	DF	MS	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	P
(1)solo (L)	0,924792	1	0,924792	30,2084	3,10000	0,000079
solo (Q)	0,106898	1	0,106898	3,49183	3,10000	0,08274
(2)humus (L)	0,14537	1	0,14537	4,74853	3,10000	0,046899
humus (Q)	0,100754	1	0,100754	3,29114	3,10000	0,091138
cinza (Q)	0,233756	1	0,233756	7,63566	3,10000	0,015242
Error	0,428592	14	0,030614	-	-	-
Total SS	1,872381	19	-	-	-	-

Tabela 8: Anova da massa úmida de folha.

Material	SS	DF	MS	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	P
(1)solo (L)	0,27443	1	0,27443	14,59515	3,05	0,001507
(2)humus (L)	0,16911	1	0,16911	8,99388	3,05	0,008498
cinza (Q)	0,126569	1	0,126569	6,73139	3,05	0,019558
Error	0,300845	16	0,018803	-	-	-
Total SS	0,870955	19	-	-	-	-

Tabela 9: A nova da massa úmida de raiz.

Como podemos perceber $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, portanto o modelo utilizado é válido. Para realização do modelo utilizado nível de significância de 90%.

Os modelos obtiveram um R^2 de 77,11 para a massa úmida de folha e um R^2 de 65,45 para a massa úmida de raiz.

Através dos modelos é realizado uma atividade prevista dos resultados e seus respectivos erros de ajuste das massas úmidas de folha e raiz:

Ensaio	Massa úmida de folha (g)	Atividade prevista	Erro do ajuste	Erro relativo (%)
1	0,78050	0,68955097	0,09	11,65
2	0,38812	0,51318201	-0,13	-32,22
3	0,85170	0,69795546	0,15	18,05
4	0,16160	0,5315865	-0,37	-228,95

Continua

Ensaio	Massa úmida de folha (g)	Atividade prevista	Erro do ajuste	Erro relativo (%)
5	0,46807	0,67266262	-0,20	-43,71
6	0,16375	0,50629366	-0,34	-209,19
7	0,98652	0,69106711	0,30	29,95
8	0,16522	0,52469815	-0,36	-217,57
9	0,85505	0,73484959	0,12	14,06
10	0,05495	0,45756799	-0,40	-732,70
11	0,15145	0,58943961	-0,44	-289,20
12	0,77275	0,62011376	0,15	19,75
13	0,05660	0,61288101	-0,56	-982,83
14	0,62027	0,60140043	0,02	3,04
15	0,80495	0,61001087	0,19	24,22
16	0,73560	0,61001087	0,13	17,07
17	0,77165	0,61001087	0,16	20,95
18	0,75380	0,61001087	0,14	19,08
19	0,73020	0,61001087	0,12	16,46
20	0,74781	0,61001087	0,14	18,43

Tabela 10: atividade prevista e erro de ajuste massa úmida de folha.

Ensaio	Massa úmida de raiz (g)	Atividade prevista	Erro do ajuste	Erro relativo (%)
1	0,43682	0,30792893	0,13	29,51
2	0,16632	0,17178317	-0,01	-3,28
3	0,60805	0,37472513	0,23	38,37
4	0,16345	0,23857937	-0,08	-45,96
5	0,24522	0,29788115	-0,05	-21,47
6	0,05450	0,16173539	-0,11	-196,72
7	0,55742	0,36467735	0,19	34,58
8	0,01410	0,22853159	-0,21	-1.520,79
9	0,31552	0,38319223	-0,07	-21,45
10	0,02627	0,15628263	-0,13	-494,80
11	0,06790	0,21407393	-0,15	-215,28
12	0,71010	0,32540093	0,38	54,18
13	0,04437	0,273924	-0,23	-517,29
14	0,11180	0,2571777	-0,15	-130,03
15	0,36697	0,26973743	0,10	26,50
16	0,57255	0,26973743	0,30	52,89
17	0,39445	0,26973743	0,12	31,62
18	0,45447	0,26973743	0,18	40,65
19	0,31300	0,26973743	0,04	13,82
20	0,30880	0,26973743	0,04	12,65

Tabela 11: atividade prevista e erro de ajuste massa úmida de raiz.

A partir dos resultados pode-se perceber que no ensaio 8 houve erro de ajuste relativamente alto em relação a atividade prevista pelo modelo, com um valor de -1.520,79%. Uma possível justificativa seria devido a fatores externos como falha humana em alguma etapa do experimento, imprecisão de equipamentos.

A análise de variância Anova foi realizada para fazer a comparação entre os grupos nas amostras independentes, assim pode-se afirmar que todos os valores utilizados nos tabelas 8 e 9 são significantes, pois $P < 0,1$.

5.4.1 MASSA ÚMIDA FOLHA

A partir dos dados foram gerados as superfícies de resposta, no programa Statistica:

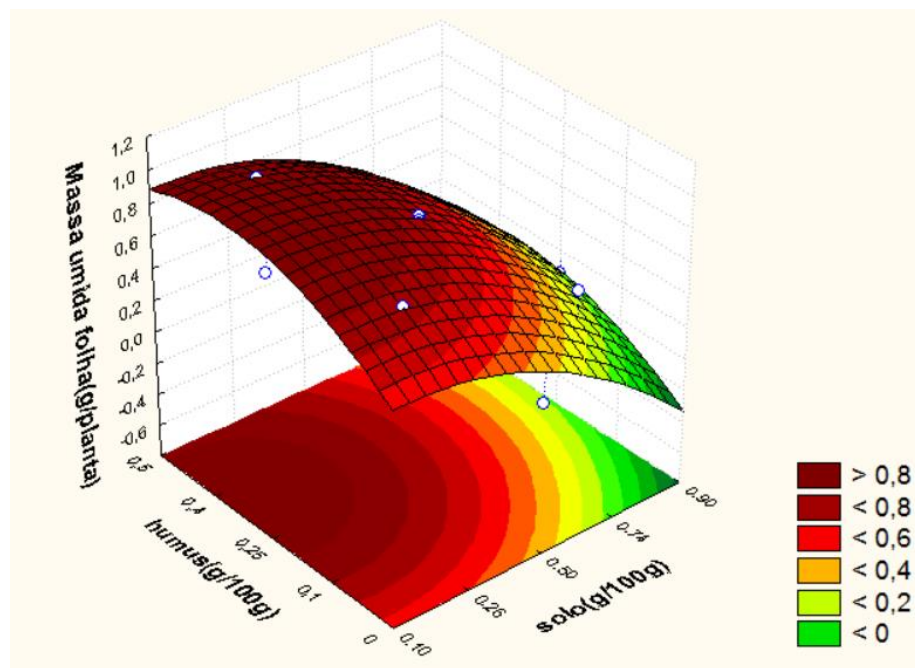


Figura 8: superfície de resposta do húmus e solo em relação à massa úmida de folha.

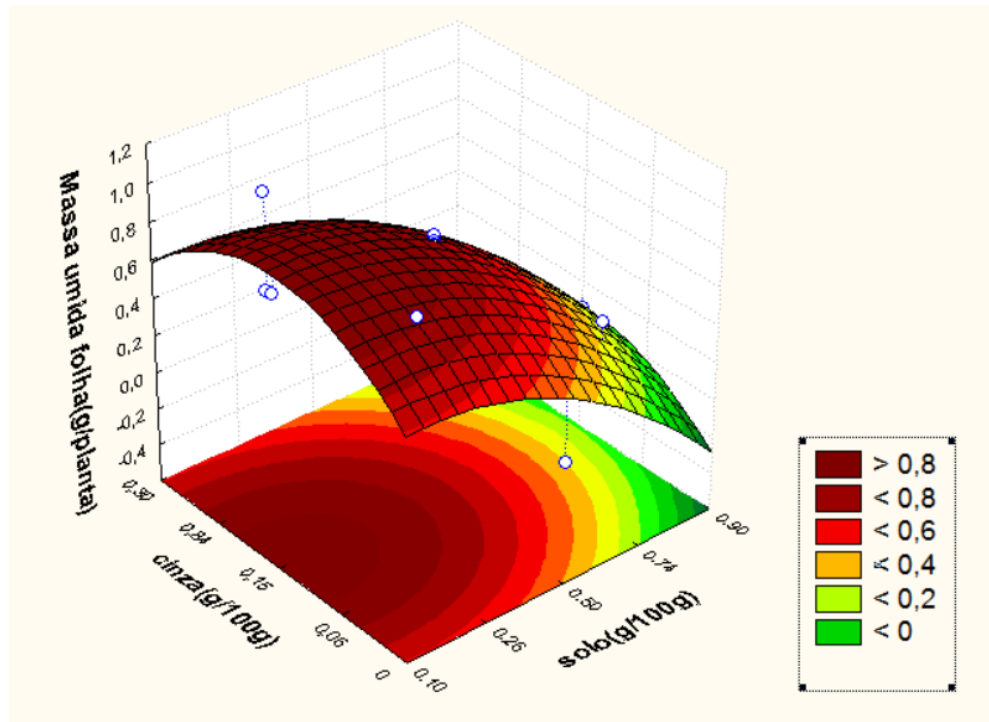


Figura 9: superfície de resposta do cinza e solo em relação à massa úmida de folha.

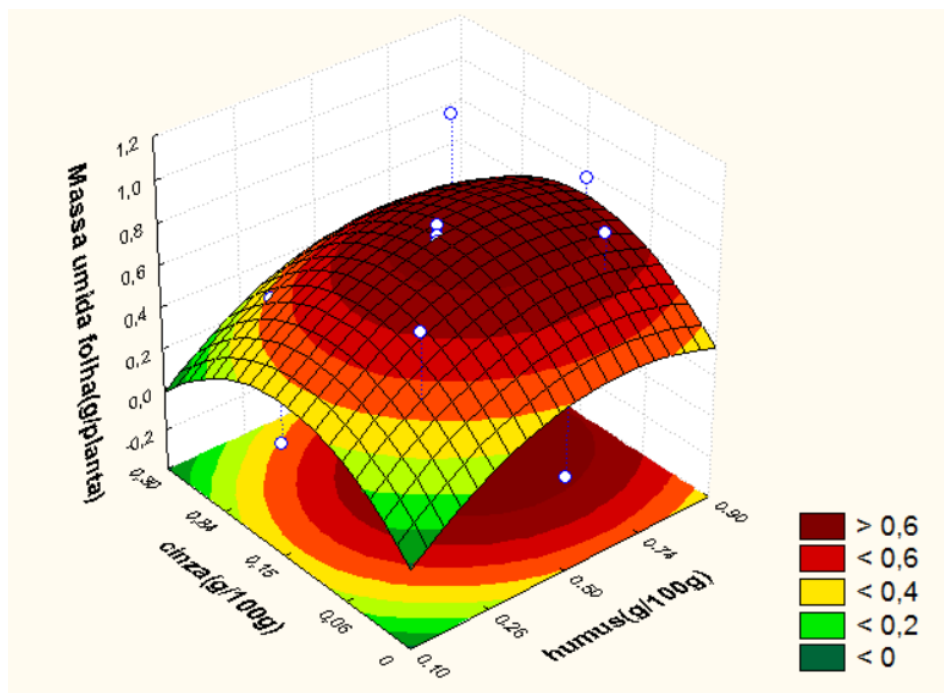


Figura 10: superfície de resposta cinza e húmus em relação à massa úmida de folha.

5.4.2 MASSA ÚMIDA RAIZ

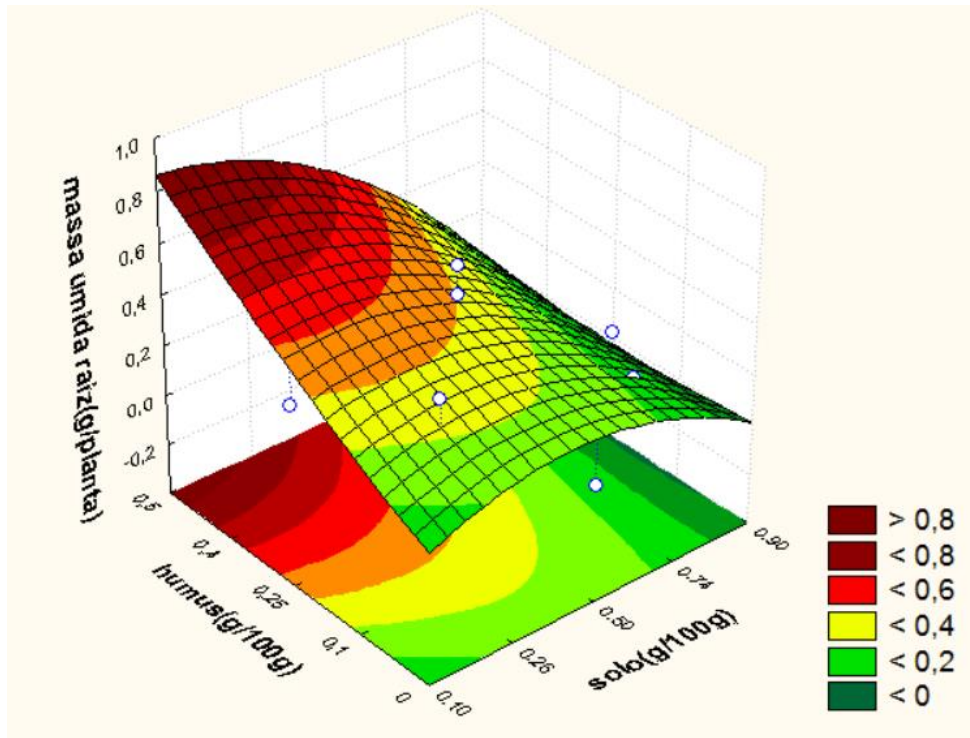


Figura 11: superfície de resposta do húmus e solo em relação à massa úmida de raiz.

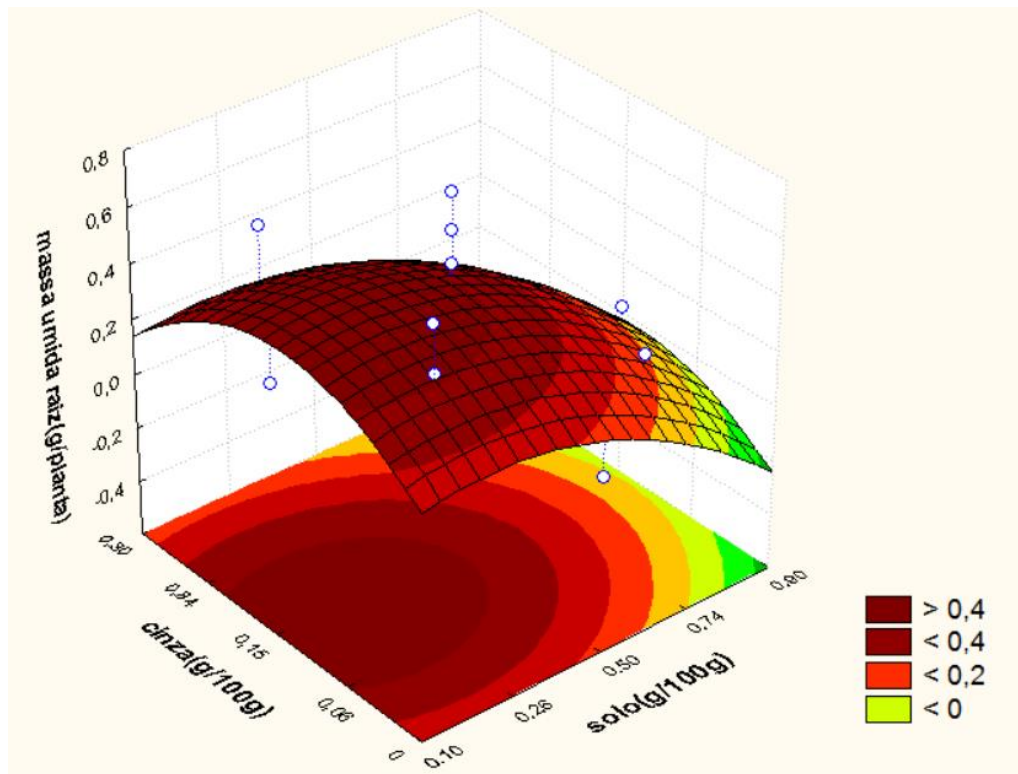


Figura 12: superfície de resposta da cinza e solo em relação à massa úmida de raiz.

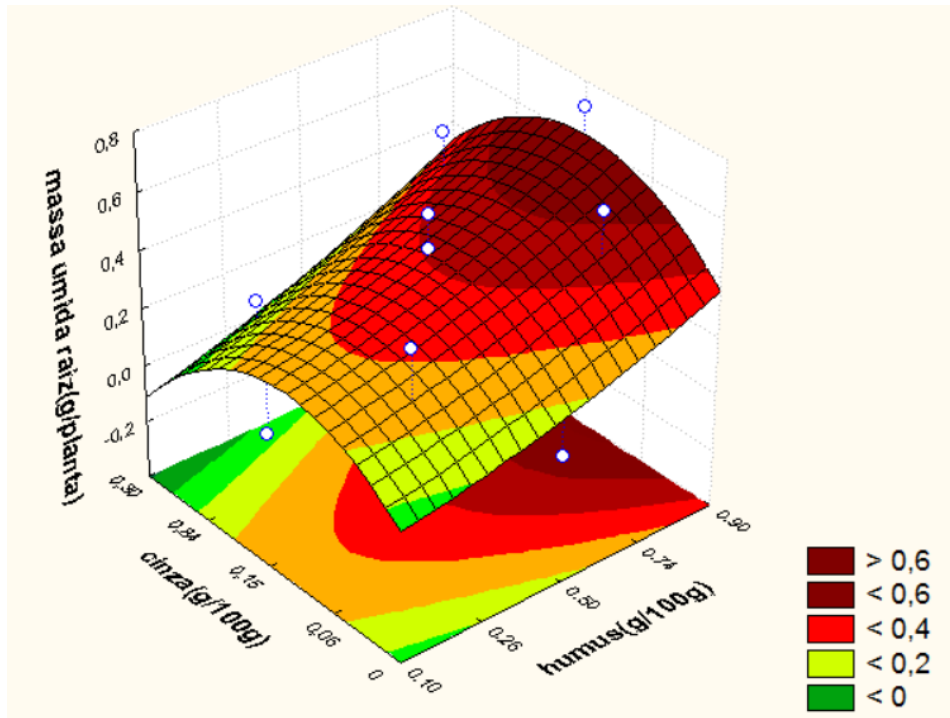


Figura 13: superfície de resposta da cinza e húmus em relação à massa úmida de raiz.

A partir das figuras apresentadas, percebe-se que tanto os gráficos da massa úmida de folha, quanto o da massa úmida de raiz demonstram que quanto menor a porção de solo utilizada na composição do substrato, melhor é o seu desenvolvimento, portanto o solo de barranco não é desejável na germinação e desenvolvimento inicial das plantas analisadas. Já para o húmus a situação é inversa, quanto maior a sua dosagem, melhor é o desenvolvimento da planta. A cinza mostrou-se eficiente com doses medianas, na faixa de $0,15 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

Apesar de existir uma taxa de desvio entre os valores experimentais e preditos pelo modelo, pode-se considerar que os resultados encontrados foram satisfatórios.

O ensaio que melhor se desenvolveu foi o ensaio 7 que se utilizou na sua composição 32,90% de solo, 36,75% de húmus e 30,25% de cinzas. Em comparação a Silva et al (2012) que encontrou um valor de 6,25% de cinzas para melhor germinação das sementes de alface crespa. Já para Barbosa et al (2016), o autor encontrou uma faixa ideal entre 5% e 10% de cinza na formação do substrato.

7 CONCLUSÕES

A partir deste estudo conclui-se que:

- Solo não apresentou resultado satisfatório na germinação e desenvolvimento inicial das plantas. Quanto menor a dosagem de solo, melhor é o seu resultado.
- Húmus de minhoca é totalmente desejável na composição do substrato. Quanto maior a dose de húmus, melhor é o seu desenvolvimento.
- Cinza de caldeira é possível reutilizá-la na composição do substrato utilizando uma dose mediana. A região onde melhor a planta se desenvolveu. Porém para se ter mais precisão na dosagem é necessário dar continuidade ao estudo a fim de determinar uma dose segura.
- Conforme resultados de correlação de parte aérea e radicular, existe uma relação de 71,80% entre seus desenvolvimentos no ponto de vista das suas massas.
- Os modelos apresentados são válidos, estatisticamente explicando 77,11% das variações para a massa úmida de folha e 65,45% para a massa úmida de raiz.

REFERENCIAS

ALCOPAR. Relatório 2018. Disponível em: <https://s3uswest2.amazonaws.com/ungc-production/attachments/cop_2018/468859/original/Relat%C3%B3rio_de_Gest%C3%A3o_2018.pdf?1540906342>. Acesso em: 14. abr. 2021.

ARRUDA, M. Zart. **Análise de combustíveis de caldeiras**. 2009. Disponível em : <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/20092/MATEUS%20ZART%20DE%20ARRUDA.pdf>>. Acesso em: 14. abr. 2021.

BABU, K. G.; RAO, G. S. N. **Efficiency of Fly Ash in Concrete**. IN: **Cement & Concrete Composites**, n. 15, 223-229. England, 1994.

BARBOSA, S. M. L.; GUIMARÃES, A. C.; SILVA, N. G.; BATISTA, R. C. N. **AVALIAÇÃO DA CINZA DE MADEIRA MISTURADA AO SUBSTRATO CAROLINA SOIL® NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE**. SEMESP, Faculdade UNIAC-Guarulhos, São Paulo, 2016.

BARROS, Carlos Juliano; CAMPOS, André. **DESERTO VERDE: Os impactos do cultivo de eucalipto e pinus no Brasil**. Instituto Rosa Luxemburgo. 2011. Disponível em: < Carlos Juliano Barros André C https://reporterbrasil.org.br/wp-content/uploads/2015/02/8.-caderno_deserto_verde.pdf> acesso em: 14. nov. de 2021.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora Unicamp, 1996.

BARROS, Talita Delgrossi. **Agencia Embrapa de Informação de Tecnologia**, Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe3md3rkr.html#:~:text=Proveniente%20de%20florestas%20nativas%20ou,sua%20combust%C3%A3o%20gerando%20o%20carv%C3%A3o.&text=Logo%20em%20seguida%20com%2030,da%20lenha%20produzida%20no%20pa%C3%ADs>>. Acesso em: 14. abr. 2021.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. **Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades**. Rev. Virtual Quim., 2015, 7 (6), 2154-2165. Universidade Federal de São Carlos campus Sorocaba. Itinga, Sorocaba-SP, Brasil. 2015. Disponível em: <<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v7n6a17.pdf>> Acesso em: 23. jun. de 2021.

FILHO, Virgílio F. Nascimento. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (ed-xrf) e por reflexão total (txrf)**. Depto de Ciências Exatas/ESALQ Lab. de Instrumentação, Universidade Estadual de Londrina, PR. 2004.

FÓR, EvelinGuielcer de; PIMENTEL, Natalia. **Análise Centesimal Das Cinzas De Caldeira e Aplicação em Cimento de Portland**. 2013. Disponível em: <<http://docente.ifsc.edu.br/michael.nunes/MaterialDidatico/Analises%20Quimicas/TCC%20II/TCC%202016%20/Evelin-Natalia.pdf>>. Acesso em: 19. abr. 2021.

GOLDIN, A. **Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in non calcareous soils**. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 18:1111-11116, 1987.

LEONHARDT, Helio Dorneles Etchepare; SANTANA, Eduardo Rodrigo Ramos; OLIVEIRA, Eniz Conceição. **A Influência da umidade da Lenha de Eucalipto na produção de Vapor Em Uma Caldeira Flamotubular**. Santa Cruz do Sul, (editora), 2014.

LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo-RS**. 1997. Tese de Doutorado em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba: 1997.

GIMENES, Jacques. **Análise da geração, recuperação e destinação de cinzas em caldeiras: O caso de uma indústria**. Curitiba, 2012.. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44381/R%20-%20E%20-%20JACQUES%20GIMENES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19. abr. 2021.

MADEIRA, Nuno Rodrigo, et al. **Manual de produção de hortaliças tradicionais**. Emprepa, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/983087/1/MANUAL-DE-PRODUCAO-DE-HORTALICAS-TRADICIONAIS.pdf>>. Acesso em: 19. out. de 2021.

MAEDA, S., SILVA, H.D., MAGALHÃES, W.L.E. **Aplicação de cinza de Biomassa Florestal para Plantio de Pinus taeda em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR**. Comunicado Técnico. Colombo: EMBRAPA, 2007.

MAEDA, Shizuo et al. (2007), **“Aplicação de Cinza de Biomassa Florestal para Plantio de Pinus taeda em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR”**. Comunicado Técnico, 198, 1-6. Disponível em: <<http://docente.ifsc.edu.br/michael.nunes/MaterialDidatico/Analises%20Quimicas/TC%20II/TCC%202016%20/Evelin-Natalia.pdf>>. Acesso em: 19. jun. 2021.

MALAVOLTA, E. **Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira**. 2001. CNA- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, In: Parecer para a Cargill Citrus Ltda, Piracicaba, 2001.

MENDONÇA, Layanne Andrade. **Desempenho do delinemaneto composto central em experimentos com alto coeficiente de variação**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. de M. **Efeito da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de Eucalyptus grandis e avaliação financeira**. IPEF, n. 48/49, jan./dez. 1995.

NOGUEIRA, Joseane Ramos. **Reciclando cinzas. Estudo de viabilidade para produção de blocos para construção civil a partir da cinza volante residual de um reator de leito fluidizado.** São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-19032012_104153/publico/josianeramos.pdf> Acesso em: 10. jun. 2021

OLIVEIRA, T. M. **Rejeito em Plástico: Um Estudo do Potencial de Aplicação na Construção.** Niterói. 2002. 149 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2002

PAULETTO, E. A.; NACHTIGALL, G. R.; GUADAGNIN, C. A. **Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 14, 1990.

PAULIQUEVIS, T.M.; ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; PAIXÃO, M.A. **O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico.** Mudanças climáticas/artigos, 2007.

R. A. MATTIETTO, V. M. MATTA. **Utilização de um delineamento composto central rotacional para avaliação microbiológica de polpas de açaí pasteurizada.** Búzios, 2012.

REIS, E.; P. MANFROI. **Valorização da cinza de caldeira de indústria de tingimento têxtil para produção de argamassas sustentáveis.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, Brusque, 2016.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso de Resíduos Sólidos Inorgânicos da Produção de Celulose em Materiais Cerâmicos.** 2010. Doutorado em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2010.

SILVA, F. R. (2008). **Cinza da biomassa florestal: efeitos nos atributos de solos ácidos e na cultura do eucalipto.** 2008. 67 p. Dissertação de mestrado - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

SILVA, Carla Gomes; COSTA, Allysson Borges; FONSECA, Anderson Maciel; TERRA, Marcelo Alves; LEONEL, Fernanda Ferreira. **Quantidade Ideal de Cinza Vegetal na Germinação de Sementes de Alface.** Curso de Técnico em Agronegócios do IFTO/Gurupi. VII CONNEPI, 2012. <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4587/1692>> Acesso em: 25.nov. 2021.

Statística versão teste 13.3, disponível em: <<https://estatistica.software.informer.com/Download-gr%C3%A1tis/>> Acesso em: 28. nov. 2021.

SUINAGA, Fábio; HENZ, Gilmar P. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil.** Comunicado técnico. SSN 1414-9850 Novembro, 2009 Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2021

VASCONCELLOS, Cláudia Barroso; et al. **O Aproveitamento da Cinza de Caldeira na Construção Civil**. CEFET. 2004, Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/276226002_O_aproveitamento_da_cinza_de_caldeira_na_construcao_civil/fulltext/55c8376a08aeca747d66913a/O-aproveitamento-da-cinza-de-caldeira-na-construcao-civil.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 14. nov. 2021.