

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
WESLEY HERON DE MATTOS ROJO

BIOCARVÃO DE RESÍDUOS DE CARVOARIA E SUA ASSOCIAÇÃO COM
ESTERCO BOVINO E NPK NA CULTURA DA ALFACE

IVAIPORÃ

2024

WESLEY HERON DE MATTOS ROJO

BIOCARVÃO DE RESÍDUOS DE CARVOARIA E SUA ASSOCIAÇÃO COM
ESTERCO BOVINO E NPK NA CULTURA DA ALFACE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Agrônômica do Instituto Federal
de Paraná, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Fernanda Alves de
Paiva

IVAIPORÃ

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

Wesley Heron de Mattos Rojo

BIOCARVÃO DE RESÍDUOS DE CARVOARIA E SUA ASSOCIAÇÃO COM ESTERCO BOVINO E NPK NA CULTURA DA ALFACE

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente
 **MARCIBELA STÜLP**
Data: 03/09/2024 09:31:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Marcibela Stülp
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Documento assinado digitalmente
 **ELTON PAULO DOBROVOLISKI**
Data: 29/08/2024 15:16:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Elton Paulo Dobrovoliski
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.

Documento assinado digitalmente
 **DENIS SANTIAGO DA COSTA**
Data: 03/09/2024 13:11:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coordenação do Curso Engenharia Agrônômica
Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Siape: 1400880

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA ALVES DE PAIVA**
Data: 04/09/2024 09:46:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Fernanda Alves de Paiva (Orientadora)
Siape: 1646722

Ivaiporã, 22 de agosto de 2024.

"Dedico este trabalho de conclusão de curso, com imensa honra, à minha família, por ser minha fonte constante de força e inspiração."

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que, por amor e misericórdia, me concedeu a oportunidade de transformar desafios em crescimento e de alcançar novos horizontes de conhecimento e realização.

À minha família, não há palavras suficientes para expressar minha gratidão por tudo o que fizeram por mim durante esta jornada acadêmica. Vocês foram meu porto seguro em momentos de dificuldade e minha fonte de alegria nos momentos de sucesso. Obrigado por estarem sempre ao meu lado e por acreditarem em mim.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), campus Ivaiporã, pela estrutura acadêmica e recursos que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À minha orientadora e professora, Fernanda Alves de Paiva pela confiança depositada em meu trabalho, pela dedicação contínua e pela inspiração profissional e acadêmica que sua orientação proporcionou, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos professores do curso de Agronomia por compartilharem seu conhecimento e experiência, que foram essenciais para minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial, à professora Nayara Norrene Lacerda Duraes, por sua ajuda prática e meticulosa.

Aos amigos que estiveram presentes desde o início desta jornada acadêmica, meu mais profundo agradecimento. Os momentos compartilhados de estudo, dedicação, apoio e descontração sempre estarão na minha memória. Em especial, expresso minha gratidão a Douglas Ravar, Marcos Merico, Vanieli Silva, Giovani Berleze e Leonardo Tavares.

"Agricultura é o mais saudável, mais útil
e mais nobre emprego do homem."
(George Washington)

RESUMO

O biocarvão é um condicionador de solos capaz de melhorar seus aspectos físicos, químicos e biológicos e apesar de seus benefícios na agricultura, ele tem se tornado um problema ambiental devido ao acúmulo indevido nas carvoarias. A alface é a principal hortaliça folhosa do mundo, cujo cultivo demanda alta fertilidade dos solos. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos do biocarvão em associação com esterco bovino e NPK nas características produtivas da alface. O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação, em propriedade na cidade de Ivaiporã - PR. O experimento teve delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 5 repetições, sendo eles: 1: apenas solo (controle); 2: 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão; 3: 50 Mg ha⁻¹ de esterco bovino; 4: 2 Mg ha⁻¹ de NPK (4 - 14 - 8); 5: 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão + 50 Mg ha⁻¹ de esterco bovino; e 6: 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão + 2 Mg ha⁻¹ de NPK. Foram usadas mudas da variedade crespa Isadora, que foram irrigadas diariamente e colhidas 45 dias após o transplante. Foram avaliados: altura e diâmetro de planta, número de folhas comerciais, massa fresca da raiz, massa fresca aérea e produtividade. O uso isolado de biocarvão não melhorou nenhum dos parâmetros avaliados, provavelmente por ele ser um condicionador de solos, cuja ação, em termos de nutrição, é mais lenta. Por outro lado, o biocarvão potencializou os efeitos do esterco bovino, melhorando crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas de alface, por isso pode ser recomendado seu uso em associação a este tipo de adubo. Em relação ao NPK, suas altas solubilidade e disponibilidade não permitiram que sua associação ao biocarvão, em um único ciclo de produção, expressasse todos os seus efeitos benéficos e resultasse em maior produtividade da alface, apesar de ter melhorado o número de folhas comerciais e a massa fresca de raiz. Dessa forma, sugere-se a realização de mais experimentos que avaliem a associação do biocarvão ao NPK por mais ciclos de produção da alface.

Palavras-chave: Adubação; Biochar; Horticultura; Solo.

ABSTRACT

Biochar is a soil conditioner capable of improving its physical, chemical, and biological aspects. Despite its benefits in agriculture, it has become an environmental problem due to improper accumulation in charcoal production facilities. Lettuce is the world's leading leafy vegetable, whose cultivation requires high soil fertility. In this context, the aim of the study was to evaluate the effects of biochar in combination with cattle manure and NPK on the productive characteristics of lettuce. The experiment was conducted in pots in a greenhouse at a property in the city of Ivaipora/PR. The experiment followed a completely randomized design with six treatments and five replications, as follows: 1: soil only (control); 2: 100 Mg ha⁻¹ of biochar; 3: 50 Mg ha⁻¹ of cattle manure; 4: 2 Mg ha⁻¹ of NPK (4 – 14 - 8); 5: 100 Mg ha⁻¹ of biochar + 50 Mg ha⁻¹ of cattle manure; and 6: 100 Mg ha⁻¹ of biochar + 2 Mg ha⁻¹ of NPK. Seedlings of the "Isadora" variety curly lettuce were used, irrigated daily, and harvested 45 days after transplanting. The parameters evaluated were plant height and diameter, number of marketable leaves, root fresh weight, shoot fresh weight, and productivity. The use of biochar alone did not improve any of the evaluated parameters, probably because it is a soil conditioner whose action, in terms of nutrition, is slower. On the other hand, biochar enhanced the effects of cattle manure, improving the growth, development, and productivity of lettuce plants, and thus, its use in combination with this type of fertilizer can be recommended. Regarding the NPK, its high solubility and availability did not allow its combination with biochar, in a single production cycle, to express all its beneficial effects and result in higher lettuce productivity, although it improved the number of marketable leaves and root fresh weight. Therefore, it is suggested to conduct more experiments evaluating the association of biochar with NPK over more production cycles of lettuce.

Keywords: Biochar; Fertilizing; Horticulture; Soil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades químicas e composição granulométrica do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) coletado na propriedade Rancho Terra Forte. 2023.....	13
Tabela 2. Tratamentos e respectivas doses expressas em Mg ha ⁻¹ e g vaso ⁻¹	14
Tabela 3. Altura das plantas (AP) e diâmetro da planta (DP) para cada tratamento.	29
Tabela 4. Número de folhas comerciais (NF) e massa fresca da raiz (MFR) para cada tratamento.....	31
Tabela 5. Massa fresca da parte aérea (MFA) e produtividade (PROD) para cada tratamento.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS

AP – Altura da planta

BC – Biocarvão

DP – Diâmetro da planta

EB – Esterco bovino

MFR – Massa fresca das raízes

MFA – Massa fresca da parte aérea

NF – Número de folhas comerciais

PROD – Produtividade

LISTA DE SIGLAS

CEASA – Central de Abastecimento S/A

C-pyr – Carbono pirogênico

CTC – Capacidade de troca de cátions

DAT – Dias após o transplântio

IFPR – Instituto Federal do Paraná

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

TPI – Terras Pretas de Índios

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 HIPÓTESE	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo geral.....	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
2. DESENVOLVIMENTO	13
2.1 METODOLOGIA	13
2.1.1 Local e época	13
2.1.2 Características do solo	13
2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos	14
2.1.4 Instalação e condução do experimento	14
2.1.5 Irrigação.....	15
2.1.6 Parâmetros avaliados	15
2.1.7 Análises estatísticas	17
2.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.2.1 Biocarvão.....	17
2.2.2 Cultura da alface.....	22
2.2.3 Esterco bovino	25
2.2.4 NPK	26
2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
2.3.1 Altura e diâmetro.....	28
2.3.2 Número de folhas comerciais e massa fresca da raiz.....	31
2.3.3 Massa fresca da parte aérea e produtividade.....	33
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, tendo produzido, em 2022, cerca de 7,6 milhões de toneladas (FAO, 2024). De tudo que é produzido, ao redor de 15% se perdem na forma de “finos de carvão”, um total de 1,14 milhão de toneladas, que por apresentarem granulometria inferior a 8 mm, tornam-se impróprios para as finalidades desse segmento industrial (MAIA, 2010; SILVA *et al.*, 2013).

Quando utilizado em práticas agrícolas, este resíduo é chamado de biocarvão ou, ainda, de *biochar*, sendo classificado como um condicionador de solos, à medida que é capaz de melhorar seus aspectos físicos, químicos e biológicos (PETTER *et al.*, 2016). A natureza particulada e a porosidade do biocarvão, além da sua estrutura química, podem alterar textura, estrutura, porosidade e densidade do solo; influenciar na aeração, retenção e disponibilidade de água e nutrientes; reduzir a acidez e, conseqüentemente, podem influenciar diretamente a produtividade das culturas (MADARI *et al.*, 2006; VERHEIJEN *et al.*, 2010; MIRANDA *et al.*, 2015).

Apesar de seus benefícios na agricultura, na prática o biocarvão tem se tornado um problema ambiental devido ao acúmulo indevido nas indústrias carvoeiras (MAIA, 2010), já que, normalmente, o manejo do solo em sistemas agrícolas prioriza sua correção através de adubação e calagem, havendo pouca utilização de outro tipo de produto. Assim, são necessários mais estudos que investiguem seus efeitos em diferentes condições de manejo e culturas, de modo que mais dados sejam gerados e divulgados.

A alface (*Lactuca sativa L.*) é a principal hortaliça folhosa do mundo, tanto em comércio quanto em consumo (CARVALHO *et al.*, 2017). O seu cultivo demanda alta fertilidade dos solos, por isso uma nutrição adequada contribui diretamente com o aumento da produtividade. Os principais adubos utilizados na sua produção são o esterco bovino, um adubo orgânico de fácil disponibilidade, e o NPK, adubo químico amplamente difundido (SOUZA *et al.*, 2006). Sendo assim, por sua importância comercial, seria interessante usar a alface para testar os efeitos do biocarvão, considerando, também, sua associação aos adubos mais utilizados no seu cultivo.

1.1 PROBLEMA

Os efeitos diretos do biocarvão nas características físicas do solo poderão potencializar os efeitos dos adubos aplicados em culturas de ciclo curto?

1.2 HIPÓTESE

Os efeitos benéficos do biocarvão nas características físicas do solo proporcionarão às plantas melhores condições para se desenvolverem, potencializando a ação dos fertilizantes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos do biocarvão em associação com esterco bovino e NPK nas características produtivas da alface (*Lactuca sativa L.*).

1.3.2 Objetivos específicos

Analisar individualmente o biocarvão, o esterco bovino e do NPK na produção da alface;

Verificar qual dos adubos tem melhor resultado quando associado ao biocarvão nas características produtivas da alface.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Local e época

O experimento foi conduzido de 29 de abril a 13 de junho de 2024, em casa de vegetação na propriedade Rancho Terra Forte, localizada na cidade de Ivaiporã-PR, comunidade rural Pindaúva, nas coordenadas geográficas 24°13'12.11" S, 51°37'18.50" O e altitude de 524 m.

O clima regional predominante é Cfa, conforme a classificação de Koppen, definido como clima úmido temperado com verões quentes (ALVARES *et.al.*, 2014). A precipitação média, nos últimos 10 anos, foi de 1785,6 mm por ano (IAT, 2023).

2.1.2 Características do solo

O solo utilizado foi coletado na propriedade Rancho Terra Forte, sendo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), típico da região, caracterizado pela sua textura muito argilosa (SANTOS *et al.*, 2013).

Na tabela 1 estão os dados da análise química e granulométrica do solo, realizada a partir de uma amostra composta retirada na profundidade de 0 a 20 cm.

Tabela 1. Propriedades químicas e composição granulométrica do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) coletado na propriedade Rancho Terra Forte em Ivaiporã-PR. 2023.

pH		K	Ca	Mg	Al	Na	S	Zn	Mn
CaCl ₂	SMP	-----cmolc dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----		
4,9	5,6	0,44	5,8	2,3	0	0,04	2,1	9,8	204,9
H+Al		T	t	V	m	MO	Argila	Silte	Areia
-----cmolc dm ⁻³ -----			-----%-----				-----%-----		
6,7	15,3	8,6	6,7	15,3	8,6		65	27	8

H+Al: acidez potencial; T: capacidade de troca de cátions potencial; t: capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica. Fonte: Autor, 2024.

2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 6 tratamentos e 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais, representadas por vasos.

As doses utilizadas foram: 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão (PADILHA *et al.*, 2018); 50 Mg ha⁻¹ de esterco bovino curtido (PRADO e FILHO, 2016) e; 2 Mg.ha⁻¹ de NPK (4-14-8) (SEBRAE, 2011).

Assim, considerando os insumos e as doses, foram definidos os tratamentos demonstrados na tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos e respectivas doses expressas em Mg.ha⁻¹.

Tratamentos	Insumos	Dose (Mg ha ⁻¹)
1	Solo (controle)	0
2	Biocarvão	100
3	Esterco bovino	50
4	NPK (4-14-8)	2
5	Biocarvão + esterco bovino	100 + 50
6	Biocarvão + NPK (4-14-8)	100 + 2

Fonte: Autor, 2024.

2.1.4 Instalação e condução do experimento

O solo foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, e para sua uniformização, o material coletado foi seco ao ar livre, destorroado e peneirado em malha de 2mm, conforme recomendado pela EMBRAPA, 2017.

Realizou-se o plantio em vasos de plástico (recipientes para mudas) de volume 5,5 L e área superficial 0,0314 m²; com base nessa área, os valores das doses foram convertidos de Mg ha⁻¹ para g m², correspondendo às seguintes quantidades dos insumos por vaso: 314 g de biocarvão; 157 g de esterco bovino curtido e; 6,28 g de NPK (4-14-8).

Instalou-se o experimento em uma casa de vegetação, a qual possui cobertura em arco, com lona em polietileno translúcido, com 4 m de largura, 5 m de comprimento e pé direito de 3,5 m.

O solo utilizado como substrato e os respectivos insumos (biocarvão, esterco bovino curtido e NPK) foram misturados e transferidos para os vasos seguindo os tratamentos experimentais. Os vasos foram, alocados nas bancadas da casa de vegetação, a 1 m de altura do solo.

O plantio da alface foi feito utilizando mudas comerciais da variedade crespa Isadora, plantando-se uma muda por vaso.

As mudas foram transplantadas com 4 a 6 folhas definitivas, ocorrendo aproximadamente 15 a 20 dias após a semeadura. Todos os vasos receberam condições semelhantes de luminosidade, temperatura e umidade durante o período experimental.

2.1.5 Irrigação

Os tratamentos receberam o mesmo volume de água, sendo recomendado, para o ciclo da alface, 500 mm de chuva, que correspondem a 500 L/m²/ciclo (BERNARDO *et al.*, 2019).

Considerando a área do vaso de 0,0314 m² e o ciclo de 50 dias da cultura, aplicou-se diariamente 0,314 L de água por vaso. A aplicação foi dividida em duas etapas, uma de manhã e uma à tarde, sendo 0,157 L em cada turno de rega.

2.1.6 Parâmetros avaliados

A colheita foi realizada aos 45 dias após o transplante, quando as plantas mostravam padrão comercial, sem sinais de florescimento e com desenvolvimento vegetativo máximo. Durante a condução do experimento não ocorreu incidência de doenças e pragas.

Realizaram-se as avaliações de todas as unidades experimentais no mesmo dia, analisando os seguintes parâmetros:

2.1.6.1 Altura da planta

A medida foi feita do nível da superfície do solo até o ponto mais alto da planta, com auxílio de uma régua. Os resultados foram expressos em cm.

2.1.6.2 Diâmetro da planta

Para quantificar o diâmetro (cm) foi medida a maior distância entre as margens opostas da parte aérea do disco foliar, com uso de uma régua.

2.1.6.3 Massa fresca aérea

Foram pesadas individualmente, com auxílio de uma balança digital, as partes aéreas das plantas, incluindo as folhas internas, externas e o caule. Resultados expressos em gramas (g).

2.1.6.4 Massa da raiz

Após a lavagem das raízes, elas foram pesadas em balança digital de precisão e os resultados foram expressos em gramas (g).

2.1.6.5 Número de folhas comerciais

O número de folhas por planta foi obtido através da contagem do número de folhas maiores que 3,0 cm de comprimento e sem danos visuais, partindo das folhas basais até a última folha aberta.

2.1.6.6 Produtividade

A produtividade foi calculada através da massa fresca aérea, considerando o espaçamento recomendado para a cultura. Os resultados foram expressos em $Mg \cdot ha^{-1}$.

2.1.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos quanto às pressuposições de análise de variância (ANOVA) através dos testes de Shapiro-Wilk (1965) e Bartlett (1937), sendo necessária a transformação logarítmica para as características massa fresca aérea e produtividade. Posteriormente, atendidos os pressupostos, foi realizada a ANOVA ao nível de 5% de probabilidade de acordo com o teste F. Havendo diferenças significativas, aplicou-se o critério de agrupamentos de médias pela metodologia desenvolvida por Scott e Knott (1974). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico R, versão 3.4.0 (*R Core Team*, 2016) com o uso do pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA *et al.*, 2016).

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Biocarvão

2.2.1.1 Definição

O biocarvão, também denominado *biochar*, carvão vegetal em pó e finos de carvão, pode ser definido como carvão vegetal moído, geralmente, com a granulometria de suas partículas no tamanho entre 2 e 8 mm (MAIA, 2010). O produto é comumente chamado de biocarvão (ou *biochar*) quando é usado em práticas agrícolas.

É um produto obtido com a decomposição térmica de biomassa entre 300°C e 600°C, em condições de ausência total ou parcial de oxigênio (processo de pirólise). Contém componentes estáveis e lábeis, sendo os principais o carbono, matéria volátil, matéria mineral (cinzas) e umidade, apresentando alta heterogeneidade em sua composição (NÓBREGA, 2011). As diferentes proporções dos componentes da biomassa original, a temperatura e o tempo de queima proporcionam que cada material pirolisado apresente características particulares (MAIA, 2010; PETTER *et al.*, 2016).

O biocarvão apresenta altíssima porosidade e grande área superficial específica, podendo chegar a 400 m² g⁻¹, sendo semelhante à da argila e superior à

da areia. Além disso, durante a pirólise, retém aproximadamente 50% do carbono de sua biomassa original. Também é bioquimicamente mais recalcitrante (difícil degradação) que muitas outras formas de matéria orgânica no solo, sendo sua meia vida estimada com variação de séculos a milênios (MAIA, 2010; NÓBREGA, 2011).

Sua natureza particulada, porosidade e estrutura química podem influenciar diretamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo, bem como sua dinâmica, e por consequência, a produtividade das culturas. Sua aplicação pode alterar textura, estrutura, porosidade e densidade do solo; melhorar a atividade biológica e o acúmulo de carbono; influenciar na aeração, retenção e disponibilidade de água e nutrientes; reduzir a acidez e a lixiviação de nutrientes e, conseqüentemente, afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas (MADARI *et al.*, 2006; VERHEIJEN *et al.*, 2010; MIRANDA *et al.*, 2015; PETTER *et al.*, 2016; ROJO *et al.*, 2020).

A alta estabilidade e reatividade do biocarvão o torna um condicionador de solos de grande importância, principalmente em solos tropicais, por serem, em sua maioria, intemperizados e estarem sob condições climáticas que contribuem com a mineralização da matéria orgânica (DUBOC *et al.*, 2007).

Verifica-se sua estabilidade no solo com alguns estudos de datação por carbono, que apresentaram a idade aproximada de 8800 anos, em amostras coletadas a dois metros de profundidade, e idade de 1000 a 1500 anos, em amostras da superfície (CUNHA *et al.*, 2009).

2.2.1.2 Origem

A ideia do uso desse material veio de estudos da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios (TPI), solos amazônicos que apresentam horizonte A antrópico (Au) ou arqueo-antropodogênico, com ótimas características agronômicas e ambientais (alta fertilidade e alto conteúdo de carbono estável de origem pirogênica) (MADARI *et al.*, 2009; MAIA, 2010).

Esse solo apresenta um microecossistema particular, capaz de se manter e não se esgotar, ainda que estando em condições climáticas tropicais ou sendo manejado para fins agrícolas. Esse comportamento é próprio, gerado pela matéria orgânica encontrada em quantidade e, principalmente, em qualidade elevada (MADARI *et al.*, 2009).

Charles Hartt, geólogo, teve a primeira nota impressa de que se tem conhecimento sobre a TPI, baseado em suas pesquisas nos anos de 1870 e 1871 (KERN, 2009). Os sítios arqueológicos eram aldeias dos povos nativos e as áreas onde encontram-se as TPI eram depósitos de resíduos vegetais como folhas, talos, cascas e sementes; de resíduos animais como ossos, conchas e fezes; além de cinzas e carvão vegetal em grande quantidade (MADARI *et al.*, 2009).

Esta terra foi utilizada por algumas tribos pré-colombianas, sendo caracterizada por grandes manchas de solos enriquecidos com biomassa carbonizada, contendo elevados teores de C-pyr (carbono pirogênico), cálcio e micronutrientes, três vezes mais nitrogênio e fósforo que os solos circundantes e até 18 vezes mais matéria orgânica (NÓBREGA, 2011; MADARI *et al.*, 2009; PETTER *et al.*, 2016).

É um solo rico em matéria orgânica humificada, apresentando recalcitrância e simultaneamente elevada reatividade, favorecendo as reações de troca catiônica, com coloides orgânicos e inorgânicos, além de complexar cátions metálicos (MADARI *et al.*, 2009).

Ainda que as TPI não tenham exatamente a mesma composição, algumas características referentes à sua fertilidade são comuns em sua maioria, como o alto teor de carbono pirogênico e altos teores de cálcio, fósforo e micronutrientes, comparado aos solos adjacentes (MADARI *et al.*, 2009).

A conversão de carbono potencialmente ativo em um mais inerte, a partir de processos de formação de carvão, durante a pirólise da biomassa, pode representar uma maneira eficiente de proteger a matéria orgânica no solo por um período muito maior (CUNHA *et al.*, 2009; MAIA, 2010).

Tentar reproduzir as características da TPI, como a alta fertilidade e demais benefícios físicos, químicos e biológicos, foi o que motivou a ideia de incorporar o biocarvão ao solo (BIBAR, 2014).

2.2.1.3 Efeitos no solo

A influência do biocarvão no solo pode variar muito, devido às suas propriedades, que mudam em função de sua biomassa de origem e dos processos de pirólise pelo qual passou, e também variam em função das características do solo e do ambiente.

Apesar disso, estando no solo, o biocarvão passa por transformações, no decorrer da degradação de sua superfície, capazes de modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, por consequência, melhorar o desempenho das culturas (PETTER *et al.*, 2016). A estabilidade do material no solo depende, não somente, de sua biomassa de origem, mas também das condições ambientais, tais como o regime de água e a temperatura (NÓBREGA, 2011).

A aplicação de biocarvão como um condicionador de solos contribui para a fertilidade e para a sustentabilidade da fertilidade do solo, o que pode potencialmente aumentar a produtividade das culturas. Isso ocorre principalmente devido à sua capacidade de melhorar o uso eficiente de água e nitrogênio mineral, sendo seu uso indicado para áreas degradadas (SILVA *et al.*, 2013; PETTER *et al.*, 2016).

São fatores potencialmente influenciados pela incorporação de biocarvão no solo: o pH, diminuindo a acidez potencial do solo, devido ao efeito tampão da matéria orgânica em forma de biocarvão; a CTC (que ocorre pelo tipo de superfície do biocarvão, contendo compostos aromáticos em quantidade elevada) e; conseqüentemente maior retenção de nutrientes, como fósforo disponível (P) e potássio trocável (K). Além disso, tem função nos processos biogeoquímicos do solo, dentre elas as reações de adsorção de nutrientes; a densidade e a retenção de água, sendo ainda capaz de reter a solução do solo tanto na superfície, quanto em seus poros (NÓBREGA, 2011; MIRANDA *et al.*, 2015; PETTER *et al.*, 2016).

Os nutrientes do solo têm sua dinâmica regulada, principalmente, por processos de troca iônica, através de adsorção reversível de íons, principalmente cátions. Da matéria orgânica e argila, provém as cargas negativas do solo, sendo a CTC (capacidade de troca catiônica) definida pela capacidade de absorver reversivelmente cátions do solo (VILELA, 2017).

Adicionando-se o biocarvão ao solo é possível ter efeitos diretos de curta duração e indiretos de longa duração sobre a sua capacidade de retenção de água. O efeito direto está ligado à porosidade do biocarvão, sendo essa capaz de reter água por fenômenos de capilaridade, dessa forma, aumentando-se a quantidade de poros, aumenta-se a retenção de água. Enquanto que o efeito indireto e de longa duração, diz respeito à potencial capacidade do biocarvão de atuar como um condicionador de solos, melhorando a sua estrutura e agregação, dessa forma aumentando a retenção de água no solo, uma vez que essa é determinada pelo conteúdo de matéria orgânica;

pela estrutura e agregação do solo; pelo tamanho das partículas, o que determina a textura e; pela conectividade e distribuição dos poros (NÓBREGA, 2011).

Em solos com textura arenosa, a capacidade de retenção de água é baixa, ou seja, apresenta valores baixos de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente. Enquanto solos de textura argilosa, com maior área superficial, apresentam uma capacidade maior de reter água, mesmo que apenas uma fração esteja disponível para as plantas, já que uma parte considerável da água fica retida no solo sob pressões altas demais para que as plantas possam utilizá-la (RAMOS *et al.*, 2016).

Mesmo assim, a aplicação de biocarvão é viável para ambos os solos, por representar um acréscimo de matéria orgânica e assim, por consequência, aumentar a retenção de água, em decorrência do aumento da área superficial específica, sendo esta maior que a da areia e igualando-se ou até mesmo superando a da argila (NÓBREGA, 2011).

2.2.1.4 Fonte

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, tendo produzido, em 2022, cerca de 7,6 milhões de toneladas (FAO, 2024). De tudo que é produzido, ao redor de 15% se perdem na forma de finos de carvão, um total de 1,14 milhão de toneladas. O resíduo é caracterizado por apresentar partículas pequenas, sendo retirado em um processo de peneiramento antes de embalar o carvão que será comercializado. Este subproduto da indústria carvoeira, por não ser utilizado com frequência, muitas vezes, é acrescido ao passivo ambiental dessa atividade (MAIA, 2010).

No Brasil, a principal fonte de biocarvão são as indústrias que atuam na produção de carvão vegetal provenientes de florestas plantadas de eucalipto. Nesse contexto, os fragmentos de carvão menores que 8 mm são considerados como resíduos e sua importância econômica varia de acordo com a região do país (MAIA, 2012; SILVA *et al.*, 2011).

É possível produzir biocarvão, através de processos de carbonização, com os mais diversos materiais orgânicos. Porém, obtê-lo diretamente nas indústrias carvoeiras torna o processo mais sustentável, evitando-se os gastos para sua produção.

2.2.2 Cultura da alface

2.2.2.1 Definição

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta pertencente à família Asteraceae, originária do mediterrâneo e da Ásia. É a hortaliça folhosa de maior importância mundial em consumo e comércio, sendo consumida de diversas formas, principalmente *in natura*, na forma de saladas ou como ingrediente de lanches (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

A domesticação da alface, provavelmente, ocorreu a partir da espécie silvestre *Lactuca serriola*. Os registros mais antigos do seu cultivo foram encontrados em tumbas egípcias e datam de 4500 a.C. Os antigos gregos e romanos faziam uso de suas folhas tanto para alimentação quanto para remédio. Na Europa Ocidental, no século XV, descrições já apontavam a presença de variedades de alface dos tipos lisa, romana e batávia. Na América, a chegada da alface ocorreu com o início das grandes navegações, trazida por Cristóvão Colombo em suas embarcações, por volta do ano de 1494. No Brasil, a alface foi introduzida pelos portugueses, em torno de 1650 (CARVALHO *et al.*, 2017; SALA e COSTA, 2012).

É uma hortaliça do tipo folhosa de porte herbáceo, com caule reduzido e não ramificado, e sistema radicular pivotante. Possui folhas arranjadas em forma de rosetas, sendo crespas ou lisas, de coloração que varia entre tons de verde, roxo ou vermelho, podendo ou não formar estrutura de cabeça (LANA e TAVARES, 2010; FILGUEIRA, 2003; VAZ *et al.*, 2019).

Os solos mais indicados são os argilo-arenosos bem estruturados; com pH entre 6 e 6,8; ricos em matéria orgânica; com baixa densidade; boa aeração e; com adequada umidade. A irrigação deve ser regular e abundante, evitando encharcamento, e sendo realizada nas horas mais frescas do dia, ou mesmo à noite. É uma planta exigente em nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, além do equilíbrio dos demais nutrientes (AMORIM, 2019; HERRMANN *et al.*, 2019).

Por ser uma cultura de ciclo rápido, a aplicação de fertilizantes, seja orgânico ou mineral, deve ocorrer no momento correto, para que os nutrientes estejam disponíveis conforme a necessidade da planta de alface (SILVA *et al.*, 2010; YURI *et al.*, 2016).

As doses máximas recomendadas para adubação de plantio na cultura da alface são 5 Kg m⁻² (50 Mg ha⁻¹) de esterco de gado bem curtido e para o adubo mineral NPK (fórmula 4 - 14 - 8), aplica-se 200 g.m⁻² (2 Mg ha⁻¹) (HERRMANN *et al.*, 2019; PRADO e FILHO, 2016; SEBRAE, 2011).

Pode ser cultivada em ambiente protegido, em campo aberto, em sistema convencional, orgânico ou hidropônico. Em geral, é praticada pela agricultura familiar, em locais de pequeno porte. Por se tratar de um alimento perecível e de grande consumo, é produzido em todas as regiões, geralmente em locais próximos dos centros urbanos, os denominados “cinturões verdes” (PESSOA e JUNIOR, 2021; VAZ *et al.*, 2019).

Mesmo havendo estabilidade do sistema de produção, existe uma série de complicações para o cultivo dessa hortaliça sob as condições climáticas brasileiras, principalmente no que diz respeito à sensibilidade a temperaturas elevadas e às condições tropicais de cultivo (SUINAGA, 2013).

A cultura tem preferência por clima temperado, com temperaturas ideais na faixa entre 12 e 22°C. A maioria das cultivares apresenta melhor desenvolvimento em climas mais amenos, principalmente na fase vegetativa de crescimento. Temperaturas mais quentes aceleram o ciclo cultural e antecipam o pendoamento (HENZ e SUINAGA, 2009).

No entanto, a facilidade de produção da alface favorece a elaboração de muitos trabalhos de melhoramento, produzindo cultivares que atendem às mais variadas demandas, principalmente relacionadas ao clima, temperatura e ciclo produtivo (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

No Brasil, a distribuição e a comercialização de hortaliças ocorrem via entrepostos de abastecimento (Central de Abastecimento S/A - CEASA) e a comercialização da alface é, predominantemente, *in natura*, sendo acondicionada em caixas e engradados, tendo sua capacidade expressa em quilos, podendo ter alterações em função do cultivar (MAISTRO, 2001).

2.2.2.2 Tipos e variedades de alface

Existe um elevado número de variedades de alface ofertadas, tanto aos consumidores quanto aos produtores, que diferem entre si em tamanho, formato e coloração. Isso se deve à evolução das cultivares e dos sistemas de manejo,

melhorando os tratos culturais, estande de plantas, irrigação, processos de colheita e cuidados nas etapas de pós-colheita. Além disso, mudanças no hábito alimentar dos consumidores também impulsionam o cultivo de determinadas cultivares (SUINAGA *et al.*, 2013; RESENDE *et al.*, 2007).

É possível atualmente, através da escolha da cultivar mais adequada, organizar o sistema de produção para plantar e colher durante o ano todo, sem perder a qualidade dos produtos finais (RESENDE *et al.*, 2007).

A determinação do tipo da cultivar é fundamental, pois a fisiologia e morfologia distinguem muito entre elas, principalmente em fatores de manejo, conservação e cuidados pós-colheita (HENZ e SUINAGA, 2009). Com o melhoramento vegetal da alface, foi possível desenvolver cultivares adaptadas às temperaturas elevadas, com resistência ao pendoamento precoce (RESENDE *et al.*, 2007).

Pode-se agrupar as alfaces disponíveis no mercado conforme a morfologia da planta, em cinco grupos principais: Repolhuda Lisa; Repolhuda Crespa ou Americana; Solta crespa; Solta Lisa e; Solta Crespa Roxa. Atualmente o consumidor tem demandado maior diversificação dos produtos. No Brasil predomina o consumo de alfaces crespas e lisas, embora tenha aumentado o consumo de cultivares roxas e de folhas frisadas (HENZ e SUINAGA, 2009).

A produção de alface lisa predominou até a década de 90, sendo as principais cultivares a Regina e a Manteiga. Houve, posteriormente, uma alteração para as cultivares do tipo crespa, que representam atualmente o principal segmento do país. Contribuiu para isso a adaptabilidade ao cultivo durante o período do verão, com temperaturas e índices pluviométricos elevados, já que essas cultivares não formam cabeça. Apesar de ter uma morfologia oposta à citada, o cultivo da alface americana tem os melhores índices de aceitação e crescimento (SALA e COSTA, 2012).

2.2.2.3 Importância econômica

A alface é a hortaliça folhosa de maior importância em consumo e comércio no Brasil e no mundo. É a 3ª hortaliça em maior volume de produção nacional, atrás da melancia e do tomate, representando grande importância econômica para o país. (CARVALHO, 2017; SALA e COSTA, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Os maiores produtores mundiais de alface são a China, com produção de 14,32 milhões de toneladas, correspondendo a 51,77% da produção global; os

Estados Unidos da América, com produção de 4,4 milhões de toneladas, 15,92% e; a Índia representando 4,05%, com produção de 1,12 milhão de toneladas. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produção brasileira de alface foi de 671.509 toneladas, produzidas em 108.382 propriedades (CARVALHO *et al.*, 2017; IBGE, 2017).

Dentre os estados brasileiros, conforme o Censo Agropecuário de 2017, São Paulo é o que apresenta maior produção, com 268.139 toneladas, totalizando um valor de produção de 413.676 mil reais, produzidas em 11.346 propriedades, em uma área total de 8 mil hectares; seguido do Paraná com produção de 51.664 toneladas, no valor de 104.334 mil reais, colhidas em 9.742 propriedades, com área total de produção de 2.845 hectares; o terceiro é o estado de Minas Gerais, com produção de 49.782 toneladas de alface, cultivados em 19.088 propriedades, numa área de 1.192 hectares. O valor da produção soma um total de 120.692 mil reais (IBGE, 2017).

A produção de alface movimentada, em média, R\$ 8 bilhões/ano, apenas no varejo. Seu cultivo concentra-se nas regiões sudeste e sul, com destaque para São Paulo, Minas Gerais e Paraná (PESSOA *et al.*, 2021).

2.2.3 Esterco bovino

O esterco bovino é o insumo orgânico mais utilizado na agricultura, sendo classificado como um esterco de animal ruminante. Utilizado na agricultura orgânica e convencional, sua composição, assim como em todo tipo de esterco, irá depender da alimentação do animal. O esterco de um animal criado apenas a pasto, apresenta um teor menor de nitrogênio, do que o esterco de um animal alimentado com suplementação de concentrado (SOUZA *et al.*, 2006).

Os resíduos da produção animal apresentam, em proporções diferentes, todos os nutrientes úteis às plantas, sendo possível utilizá-los na produção de hortaliças (YURI *et al.*, 2016).

O esterco bovino promove a melhora na relação Carbono/Nitrogênio (C/N), aumenta os teores de macro e micronutrientes, a porosidade e a retenção hídrica do solo, permitindo melhorar a fertilidade do mesmo, bem como seus aspectos físicos, químicos e biológicos (MARCATTO *et al.*, 2021).

A prática da adubação orgânica com esterco animal é frequentemente realizada na produção de alface, sendo recomendada a aplicação de 50 t ha⁻¹ de esterco bovino curtido (YURI *et al.*, 2016).

Alguns cuidados são exigidos para a aplicação de matéria orgânica no solo, principalmente se vier de fora da propriedade, para evitar a contaminação por patógenos, sementes de plantas daninhas, pragas, substâncias tóxicas e metais pesados. No entanto, compostar o material resolve os problemas com os contaminantes, exceto com metais pesados (YURI *et al.*, 2016).

2.2.4 NPK

Na cultura da alface, o uso de fertilizantes minerais é uma prática realizada com a finalidade de aumentar a produtividade. Entretanto, o uso em excesso pode prejudicar a qualidade final do produto e elevar os custos de produção (SOUZA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2010).

Os adubos minerais são sais inorgânicos, cuja eficiência depende da solubilidade e das reações químicas que ocorrem no solo. A escolha adequada dos fertilizantes é fundamental para uma boa administração da propriedade agrícola, considerando o custo e seu efeito na lavoura (SBCS, 2004).

Fertilizantes NPK são compostos pelos três macronutrientes mais importantes para o desenvolvimento das plantas, sendo, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), cujos símbolos químicos formam a sigla do seu nome.

O nitrogênio é um elemento de dinâmica intensa no sistema solo-planta-atmosfera, podendo ser perdido com facilidade por lixiviação ou volatilização. Ele é essencial na produção de amido e de proteínas, participa de todas as reações da planta, seja viabilizando ou estimulando-as. As plantas usam o nitrogênio na forma de nitrato (NO₃) e amônio (NH₄). Sua deficiência é um fator limitante de crescimento, já que compõe todos os tecidos vivos da planta. Em geral, a planta carente em nitrogênio tem aparência clorótica, com queda de folhas velhas e brotações que ocorrem de forma limitada, apenas na parte inferior da planta (MALAQUIAS *et al.* 2016; PRIMAVESI, 2018).

A planta de alface é, de maneira geral, composta por folhas, o que faz com que ela apresente boa resposta ao fornecimento de nitrogênio. Esse é um nutriente que exige um manejo de adubação adequado, visto que pode ser de fácil lixiviação,

principalmente por ocorrer maior absorção pela planta na fase final do ciclo produtivo (RESENDE *et al.*, 2009; YURI *et al.*, 2016).

O fósforo é um mineral fundamental para o crescimento e a reprodução vegetal, atuando nos processos energéticos da planta, na divisão celular, na fase de reprodução e na formação radicular, além de melhorar a absorção de nutrientes. Em geral, os solos brasileiros apresentam deficiência desse mineral. É pouco móvel no solo, e em geral está indisponível para as plantas, principalmente em solos de baixa fertilidade e pobres em matéria orgânica. Sua deficiência provoca atraso no desenvolvimento das plantas, amadurecimento tardio dos frutos, redução de tamanho e coloração verde-escura (PRIMAVESI, 2018).

O fósforo é o elemento que mais limita a produção agrícola nacional, devido à carência natural dos solos, onde ele fica fortemente adsorvido aos colóides, o que altera a sua disponibilidade para a planta. A sua disponibilidade dependerá do seu teor no solo, da época em que se realiza a aplicação de adubo fosfatado, do tipo e proporção de argila, além da aeração, compactação e umidade do solo. Trata-se de um elemento envolvido em processos metabólicos, sendo bastante móvel na planta, redistribuído pelo floema (YURI *et al.*, 2016).

Na agricultura brasileira, o potássio é o segundo fertilizante mais consumido, apenas inferior ao fósforo. Na planta da alface, sua deficiência causa necrose nas bordas das folhas mais velhas, podendo se estender para as áreas internervais (YURI *et al.*, 2016).

O potássio é um catalisador de carboidratos, além de atuar no fortalecimento do tecido vegetal, o que confere resistência ao frio, à seca, ao ataque de microrganismos e, possivelmente, a outras adversidades. Juntamente com o cálcio, tem relação com a respiração vegetal, protegendo contra perdas excessivas de água, em períodos de seca. A sua deficiência retarda o crescimento da planta. As folhas velhas apresentam clorose irregular, das bordas para o centro da folha e nas nervuras, e posteriormente caem. Podem também apresentar aspecto de encrespamento. É comum ocorrer ataque de fungos na sua deficiência. Além disso, pode ocorrer um aumento na quantidade dos frutos, porém com baixíssima qualidade (PRIMAVESI, 2018).

A análise de solo, a cultura e critérios técnicos devem ser utilizados para indicar a fórmula do fertilizante mais adequada para cada cultura. Existem diversas

fórmulas do NPK no mercado agrícola, para cada etapa do desenvolvimento das plantas.

2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A figura 1 mostra as plantas dos diferentes tratamentos após o final do período experimental, evidenciando diferenças visuais entre elas.

Figura 1 – Plantas de alface cultivadas sob diferentes tratamentos.



Fonte: Autor, 2024.

2.3.1 Altura e diâmetro

Na tabela 3 estão as médias de altura e de diâmetro mensuradas em alfaces submetidas a diferentes tratamentos de solo.

Tabela 3. Valores médios de Altura de Planta (AP) e de Diâmetro de Planta (DP) nos diferentes tratamentos experimentais.

Tratamento	Solo	BC	EB	NPK	BC+EB	BC+NPK
AP (cm)	14,02 c	13,46 c	20,22 b	23,16 a	20,8 b	20,96 b
DP (cm)	24,94 c	26,26 c	35,64 b	43,02 a	41,92 a	43,48 a

Onde BC: biocarvão; EB: esterco bovino; NPK: adubo NPK. Letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar que a altura das plantas variou de 13,46 a 23,16 cm, sendo que o tratamento que recebeu apenas adubação com NPK apresentou o maior valor. As plantas que receberam esterco, ou adubação associada ao biocarvão apresentaram altura intermediária. No tratamento controle e naquele com uso apenas de biocarvão, as plantas tiveram as menores alturas (13,46 e 14,02 cm, respectivamente).

Cavalheiro *et al* (2015), ao avaliarem a produtividade da alface cv. Vanda em ambiente protegido e aberto, com diferentes níveis de adubação mineral e orgânica (dose 0, dose recomendada e o dobro da dose recomendada), observaram que a maior média de altura foi de 20,92 cm, no tratamento que recebeu o dobro da dose recomendada de adubo orgânico, sendo superior aos tratamentos que receberam adubação mineral, tanto na dose recomendada, quanto com o dobro da dose recomendada. Ainda foi constatado que as plantas cultivadas em ambiente protegido apresentaram maior altura do que as cultivadas a campo aberto.

Em relação ao diâmetro das plantas, as médias variaram entre 24,94 e 43,48 cm, sendo que os maiores valores foram encontrados no tratamento no qual foi usada apenas adubação química e naqueles com adubação associada ao biocarvão. O tratamento que recebeu apenas esterco bovino apresentou diâmetro intermediário e os menores diâmetros foram observados no tratamento controle e no tratamento que recebeu apenas biocarvão.

Estes valores foram superiores aos encontrados por Cavalheiro *et al* (2015), que avaliando alfaces da cultivar Vanda, observaram que o maior diâmetro foi de 20,93 cm, em plantas cultivadas em ambiente protegido.

Da mesma forma, Vaz *et al.* (2019), avaliando alfaces crespas da cultivar SVR 2005® com crescentes doses de NPK (05-25-15), observaram que diâmetro das

plantas variou de 14,50 a 23,58 cm, abaixo dos valores observados no presente trabalho. Provavelmente, este melhor desempenho decorre do fato do experimento ter ocorrido em vasos dentro de estufa, diferente do estudo citado, que foi desenvolvido a campo.

Foi observado por Resende *et al.* (2007), em plantas de alface que receberam adubação com esterco bovino, cultivadas em sistema orgânico em sucessão à adubação verde (milho + mucuna), um diâmetro médio de 26,7 cm. Nota-se que o valor foi inferior ao encontrado neste trabalho, onde as plantas que receberam apenas esterco bovino apresentaram média de 35,64 cm e no tratamento de esterco bovino combinado com biocarvão, a média foi de 41,92 cm de diâmetro.

A maior altura de planta observada com o uso de NPK pode ter se dado pelas elevadas disponibilidade e solubilidade do nitrogênio fornecido pelo adubo mineral, que segundo Santos *et al.* (2016), pode resultar no alongamento da fase vegetativa. Entretanto, quando associado ao biocarvão, pode ter ocorrido o processo de adsorção de parte dos seus nutrientes, deixando-os momentaneamente indisponíveis às plantas. Considerando que a alface é uma planta de ciclo curto, talvez não tenha havido tempo para que eles fossem disponibilizados (PETTER *et al.*, 2016).

No caso do esterco, como a mineralização de seus nutrientes ocorre de forma gradual, não houve rápida adsorção pelo biocarvão. Sendo assim, quando usado este tipo de adubo, a presença do biocarvão não interferiu negativamente na sua ação (PETTER *et al.*, 2016; YURI *et al.*, 2016).

O uso apenas de biocarvão não melhorou a altura da alface em relação ao tratamento controle, possivelmente por este ser um condicionador de solos, cuja ação, em termos de nutrição do solo, é mais lenta. Provavelmente se estas plantas tivessem passado por estresse hídrico, o efeito direto do biocarvão na capacidade de retenção de água do solo, teria mostrado resultados benéficos nas plantas, mas não foi o caso, já que as plantas tiveram irrigação diária.

Apesar das possíveis causas para as diferenças observadas, pode ter havido algum tipo de interferência do vaso, já que a superfície do solo estava a cerca de 7-10 cm abaixo da borda, limitando a abertura das folhas. Este fato pode ter influenciado tanto no diâmetro, como na altura das plantas, pois se as folhas foram impedidas de abrir livremente, podem ter permanecido eretas por mais tempo.

Desta forma, fica nítido visualmente e também estatisticamente que houve diferença no diâmetro e na altura das plantas que receberam adubação associada ou

não ao biocarvão, mas seus efeitos poderiam ser diferentes se o experimento tivesse sido conduzido a campo ou com o solo no mesmo nível da borda do vaso.

Cabe ressaltar que o diâmetro da parte aérea da alface é uma característica muito relevante, considerando que os consumidores preferem adquirir plantas maiores no momento da compra, já que normalmente é um produto comercializado por unidade (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Além disso, a padronização do tamanho das plantas de alface é fundamental para a organização da cadeia produtiva, considerando principalmente fatores como embalagem, transporte e preferência do consumidor.

2.3.2 Número de folhas comerciais e massa fresca da raiz

Tabela 4. Valores médios do Número de Folhas comerciais (NF) e da Massa Fresca da Raiz (MFR) nos diferentes tratamentos experimentais.

Tratamento	Solo	BC	EB	NPK	BC+EB	BC+NPK
NF	11,4 d	12,8 d	16,2 c	18,8 b	20,2 b	21,8 a
MFR (g)	11,69 d	10,59 d	20,05 c	20,04 c	28,10 b	34,67 a

Onde BC: biocarvão; EB: esterco bovino; NPK: adubo NPK. Letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Autor, 2024.

Na tabela 4 pode-se observar que o número de folhas comerciais variou entre 11,4 e 21,8 nos diferentes tratamentos, sendo que o tratamento que usou NPK com biocarvão apresentou o maior valor, seguido pelos tratamentos que usaram esterco com biocarvão e apenas NPK (21,8, 20,2 e 18,8 folhas, respectivamente), não havendo diferença significativa entre os dois últimos valores.

As menores quantidades de folhas foram observadas no tratamento que utilizou apenas biocarvão e no tratamento controle (12,8 e 11,4 folhas, respectivamente), sem diferença entre eles.

Vaz *et al.* (2019), avaliando alfaces crespas da cultivar SVR 2005® submetidas a diferentes doses de adubação com NPK (05 - 25 - 15), observaram que o número de folhas comerciais variou entre 8,17 e 16,33, abaixo dos valores observados no presente estudo. Mais uma vez, este melhor desempenho ocorreu, provavelmente, pela condução do experimento em vasos dentro de estufa, diferente do estudo de Vaz *et al.*, (2019) que foi desenvolvido a campo.

Para a massa da raiz, a variação foi entre 10,59 g e 28,10 g. O tratamento em que as plantas receberam NPK associado ao biocarvão apresentaram a maior média de MFR, seguido do tratamento que recebeu esterco associado ao biocarvão. Os valores intermediários foram dos tratamentos com adubação isolada, não havendo diferença significativa entre eles. Os menores valores foram do tratamento em que as plantas receberam apenas biocarvão e do tratamento controle, que não diferiram significativamente.

Foi observado por Andrade Júnior *et al.* (2005), em cultivares de alface lisa, Regina e Elisa, sob diferentes coberturas de solo, uma média de massa de raiz de 12,12 g. Para Baumgartner *et al.* (2007), a maior média encontrada foi de 11,4 g, para cultivar do tipo americana, cultivada em canteiros, irrigada com águas residuais originadas da piscicultura e da suinocultura.

As plantas de alface possuem sistema radicular superficial e sensível (Figura 2), requerendo um manejo adequado do solo para seu desenvolvimento pleno, o que possibilita sua maior exploração, bem como maior absorção de água e nutrientes, refletindo no aumento de produtividade (ARAÚJO *et al.*, 2011; YURI *et al.*, 2016).

Figura 2 – Raízes de plantas de alface.



Fonte: Autor, 2024.

Ainda que os tratamentos tenham recebido o mesmo volume água durante o ciclo produtivo, não tendo ocorrido déficit hídrico, as plantas que receberam adubação (mineral ou orgânica) em associação ao biocarvão produziram uma média do número de folhas superior à média das plantas que receberam apenas adubo ou apenas biocarvão.

Possivelmente, o desenvolvimento das raízes foi beneficiado pelos efeitos da presença do biocarvão nos parâmetros físicos do solo, pois o uso de biocarvão melhora aspectos como densidade, porosidade e textura do solo, o que pode proporcionar condições mais favoráveis para o desenvolvimento e crescimento das raízes (PETTER *et al.*, 2016; CARON *et al.*, 2004).

2.3.3 Massa fresca da parte aérea e produtividade

Tabela 5. Valores médios de Massa Fresca da Parte Aérea (MFA) e de Produtividade (PROD) em cada um dos tratamentos experimentais.

Tratamento	Solo	BC	EB	NPK	BC+EB	BC+NPK
MFA (g)	46,12 (1,66) c	48,01 (1,67) c	118 (2,06) b	155,71 (2,18) a	185,25 (2,26) a	200,06 (2,30) a
PROD (t.ha ⁻¹)	5,12 (0,71) c	5,33 (0,71) c	13,11 (1,10) b	17,30 (1,23) a	20,58 (1,30) a	22,23 (1,34) a

Onde BC: biocarvão; EB: esterco bovino; NPK: adubo NPK. Valores entre parênteses sofreram transformação logarítmica. Letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Autor, 2024.

A tabela 5 mostra que a massa fresca da parte aérea teve ampla variação entre os tratamentos, indo de 46,12 a 200,06 g. O tratamento no qual foi aplicado apenas NPK e aqueles com a combinação de adubação e biocarvão apresentaram os maiores valores de massa aérea fresca, sem diferença entre eles. No tratamento apenas com esterco bovino observaram-se valores intermediários e nos tratamentos controle e apenas com biocarvão os valores mais baixos, que não diferiram significativamente, entre si.

Foi observado por Cavalheiro *et al.* (2015) que, na cultivar de alface crespa Vanda, plantada em ambiente protegido, o acúmulo de massa fresca na parte aérea da planta (MFA) foi superior com adubação mineral do que com adubação orgânica. Com o uso da dose recomendada de adubo mineral a MFA foi de 112,87 g, com o

dobro da dose recomendada a MFA foi 116,63 g, enquanto com a adubação orgânica a MFA foi de 98,47 g.

No Boletim da Embrapa Hortaliças, são mostrados resultados do cultivo orgânico de cultivares de alface do tipo crespa, nos quais a maior média de massa fresca da parte aérea foi 551,6 g da cultivar Simpson e a menor foi 276,6 g da cultivar Hortência (RESENDE *et al.*, 2007).

Turazi *et al.* (2006) avaliaram plantas de alface da cultivar Verônica, em sistema de cultivo protegido, com cinco tratamentos, sendo eles: cama-de-frango, esterco bovino, adubo mineral, adubo mineral acrescido com cama-de-frango e adubo mineral acrescido de esterco bovino. Os autores observaram que o uso de cama-de-frango proporcionou maior valor de massa fresca da parte aérea (253,43 g), porém, não diferiu significativamente do tratamento que recebeu adubação mineral padrão acrescida de esterco bovino (246,93 g). Além disso, observou-se que os tratamentos com adubação mineral padrão e adubação mineral padrão associada com cama-de-frango apresentaram valores significativamente iguais, ainda assim, superiores ao das plantas cultivadas com esterco bovino.

Vaz *et al.* (2019) observaram massa aérea fresca de alfaces crespas da cultivar SVR 2005® variando de 64,9 a 172,68 g, sendo valores intermediários aos observados no presente estudo.

Na cultura da alface, a maior quantidade de folhas por planta promove uma área foliar maior que, por consequência, produz mais massa fresca e aumenta a produtividade (ARAÚJO *et al.*, 2011). Além disso, maiores altura e diâmetro também estão relacionados a uma maior área foliar e a consequente melhor produção de biomassa.

A área foliar da planta influencia diretamente a produção de massa fresca da alface, estando relacionada com a produção de fotoassimilados e com a distribuição e acúmulo de fitomassa (CARON *et al.*, 2004).

A produtividade média apresentou variação entre 5,12 e 22,23 t ha⁻¹, sendo os maiores resultados para os tratamentos que receberam NPK ou adubação associada ao biocarvão, que não diferiram significativamente entre si. O valor intermediário foi do tratamento que recebeu esterco e os menores valores dos tratamentos apenas com biocarvão e o tratamento controle, havendo diferença significativa entre eles.

Andrade Júnior *et al.* (2005) observaram médias de produtividade de 51,16 t ha⁻¹ para a cultivar Regina e de 40,83 t ha⁻¹ para a cultivar Elisa, sob diferentes manejos de cobertura de solo, valores superiores aos encontrados no presente estudo.

De forma similar, Resende *et al.* (2007), em sistema orgânico de produção, encontraram a maior produtividade média para cultivares do tipo crespa de 33,77 t ha⁻¹, da cultivar Simpson, e a menor média de 18,44 t ha⁻¹ da cultivar Hortência. Os autores observaram também produtividade de 18,28 t ha⁻¹ em plantas adubadas apenas com esterco bovino e 40,22 t ha⁻¹ naquelas adubadas com um composto orgânico.

Segundo Padilha *et al.* (2018) o uso agrícola do biocarvão influencia positivamente a cultura da alface, promovendo melhorias na fertilidade do solo, que se converte em crescimento e aumento na produtividade, contribuindo no desempenho agrônômico das plantas.

No caso do presente trabalho, seus efeitos beneficiaram a massa aérea e a produtividade quando em associação ao esterco bovino, já que não houve diferença entre os valores dos tratamentos com uso de NPK associado ou não ao biocarvão.

É provável que, embora o biocarvão tenha melhorado as condições de solo, considerando a maior massa de raiz observada nos tratamentos em que ele foi usado, a alta solubilidade e disponibilidade dos nutrientes do adubo mineral não permitiram que o biocarvão potencializasse seus efeitos em um curto período de tempo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso isolado de biocarvão não pode ser recomendado para um único ciclo de cultivo de alface, uma vez que sua ação, em termos de nutrição, é mais lenta.

Por outro lado, o biocarvão potencializou os efeitos do esterco bovino, melhorando crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas de alface, por isso pode ser recomendado em associação a este tipo de adubo.

Em relação ao NPK, suas altas solubilidade e disponibilidade não permitiram que a presença do biocarvão, em um único ciclo de produção, expressasse todos os seus efeitos benéficos e resultasse em maior produtividade da alface, apesar de ter melhorado o número de folhas comerciais e a massa fresca de raiz.

Dessa forma, considerando que o biocarvão é um condicionador de solos, cuja ação é gradual, sugere-se a realização de mais experimentos que avaliem sua associação ao NPK por mais ciclos de produção da alface.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22, p. 711–728. 2014.
- AMORIM, Anderson Barcelos de. Análises de variedades da alface submetidas a doses de urina de vaca. **Monografia de Graduação em Agronomia**. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.
- ANDRADE JÚNIOR, Valter C. de et al. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 899-903, 2005.
- ARAÚJO, Wellington Farias et al. Resposta da alface a adubação nitrogenada. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 1, p. 18-23, 2011.
- BAUMGARTNER, Dirceu et al. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 152-163, 2007.
- BARTLETT, M. S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. Proc. Royal Soc. London. 160:268-282, 1937.
- BERNARDO, Salassier; MANTOVANI, Everardo Chartuni; SILVA, Demetrius David da; SOARES, Antônio Alves. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. 9 Ed. 2019.
- BIBAR, Maria Paula Silveira. Potencial agrícola de biocarvões provenientes de biomassas alternativas. 101 p. **Dissertação** (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo Campinas, Campinas, 2014.
- BITTENCOURT, V. C., Strini, A. C., Cesarim, L. G. & Souza, S. R. Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro enriquecida. **Revista Idea News**, 6, 2-6. 2006.
- CANUTO, Crislany et al. Biochar e esterco bovino aumentam a eficiência no uso de água da alface. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1082-1091, 2019.
- CARVALHO, Raimundo Geraldo de. **Atividade de inseticida em diferentes modalidades de aplicação no controle de insetos vetores de viroses, na cultura da alface**. Uberlândia-MG. 2017.
- CAVALHEIRO, Daielly Baritieri et al. Produção de alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Vanda, cultivada sob diferentes ambientes e níveis de adubação mineral e orgânica. **Revista Cultivando o Saber**, v. 8, n. 1, p. 107-122, 2015.
- CARON, B. O.; POMMER, S.F.; SCHMIDT, D; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S. L.P. Crescimento da alface em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v.3, n.2, p. 97-104, 2004.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim Hortigranjeiro**. Brasília, DF, v. 9, n. 1, jan. 2023.
- CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. et al. **Carbono pirogênico**. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; WOODS, W. I. As Terras Pretas de Índio

- da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. 1º ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p. 263-284. 2009.
- DUBOC, Eny. et al. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira *et al.* 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of United Nations**. Forestry Production and Trade. 2024. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>. Acesso em: 06 ago. 2024.
- FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes: **experimental designs package**. R package version 1.1.2. 2013. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>>.
- FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, 2003.
- HENZ, Gilmar Paulo; SUINAGA, Fábio. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. 2009.
- HERRMANN, José Carlos; KINETZ, Silvia Regina Rodrigues; ELSNER, Tatiana Cristina. **Alface**. 2019. Disponível em: https://www.projetos.unijui.edu.br/matematica/modelagem/alface/index.html#_Toc15379006. Acesso em: 07 dez. 2023.
- IAT - Instituto Água e Terra. PARANÁ. **Relatório de Alturas de Precipitação (anual)**. Instituto Água e Terra. Curitiba: IAT - Instituto Água e Terra, 2023. Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelInicial>. Acesso em: 27 out. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: Acesso em: 20 out. 2018.
- KERN, Dirse Clara et al. **Evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio**. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. 1º. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p. 72-81. 2009.
- LANA, Milza Moreira; TAVARES, Selma Aparecida. **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.
- LIMA, Larissa Borges, et al. **Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solo tratado com carvão vegetal (biochar)**. In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 6., 2012, Santo Antônio de Goiás. Resumos apresentados. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. p. 72. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 275). 2012.
- MADARI, Beata Emöke, et al. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera)**: um estudo prospectivo. Goiânia, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

- MADARI, Beata Emöke, et al. **Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio):** Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. 1º. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p. 172-188. 2009.
- MAIA, Cláudia Maria Branco de F. **Biochar: uma nova ferramenta no manejo de solos.** In: II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais, 2012, Irati. Anais. Irati: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012.
- MAIA, Cláudia Maria Branco de F. **Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010.
- MAISTRO, Liliâne Correa. **Alface minimamente processada:** uma revisão. *Revista de Nutrição*, v. 14, p. 219-224, 2001.
- MALAQUIAS, C. A. A.; Santos, A. J. M. **Adubação Organomineral e Npk na Cultura do Milho (*Zea mays L.*)**. *Pubvet*, 11, 424-537. 2016
- MANZONI, Leandro Penedo; BARROS, Talita Delgrossi. **Carvão Vegetal.** Embrapa Agroenergia, Portal Embrapa, p. 1-1, 8 abr. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/socioeconomia/florestas/carvao-vegetal>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná / Volnei Pauletti, Antonio Carlos Vargas Motta (coordenadores). 2. ed - **Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** - NEPAR-SBCS, 2019. 289 p.
- MARCATTO, Giovanni Zonato. **Manejo da adubação com esterco bovino na cultura de rabanete (*raphanus sativus L.*)**. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2021.
- MIRANDA, Neyton de Oliveira. et al. **Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da chapada do Apodi-RN.** São Cristóvão, SE, 2015.
- NÓBREGA, Ísis Patrícia Cardoso. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo.** 46p. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- OLIVEIRA, Antonio Carlos Baião de; SEDIYAMA, Maria Aparecida Nogueira; PEDROSA, Marinalva Woods; GARCIA, Neusa Catarina Pinheiro; GARCIA, Silvana Lages Ribeiro. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, 2004.
- PADILHA, Karoline de Melo. Biochar e carvão ativado do endocarpo do coco utilizados como condicionadores de um solo cultivado com alface (*Lactuca sativa*). **Tese** (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.
- PESSOA, Herika Paula; JUNIOR, Ronaldo Machado. **Folhosas** : Em destaque no cenário nacional. 4 jan. 2021. Disponível em:

<https://revistacampoenegocios.com.br/folhosas-em-destaque-no-cenario-nacional/>. Acesso em: 7 dez. 2023.

PETTER, Fabiano André. et al. **Biocarvão no solo**: aspectos agronômicos e ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 8; INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, 5. Sinop. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: anais. [Sinop: SIMBRAS], p. 73-81. 2016.

PRADO, Renato de Mello; FILHO, Arthur Bernardes Cecílio. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal. FCAV/CAPES, 2016.

PRIMAVESI, Ana; PRIMAVESI, Arthur. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2018.

QUEIROZ, Angélica; CRUVINEL, Vinicius; FIGUEIREDO, Kamila Maria. Produção de alface americana em função da fertilização com organomineral. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, 2017.

RCORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria. 2016.

RAMOS, Tiago Brito; GONÇALVES, Maria da Conceição; MARTINS, José Casimiro; PEREIRA, Luis Santos. **Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas**. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, 76 p., 2016.

RESENDE, Francisco Vilela; SAMINÉZ, Tereza Cristina de Oliveira; VIDAL, Mariane Carvalho; SOUZA, Ronessa Bartolomeu; CLEMENTE, Flávia Maria. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007.

RESENDE, G. M. de et al. **Rendimento e teores de macronutrientes em alface tipo americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio em cultivo de verão**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 153-163. 2009.

RODRIGUES, Edson Talarico; CASALI, Vicente Wagner D. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 17, p. 125-128, 1999.

ROJO, Wesley Heron de Mattos; PAIVA, Fernanda Alves de; OLIVEIRA, Layla Thamires de. Efeito do biocarvão na capacidade de retenção de água do solo da região de Ivaiporã-PR. **Cadernos de Agroecologia**: Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe, v. 15, n. 2, p. 1-5, 14 set. 2020.

SALA, Fernando Cesar; COSTA; Cyro Paulino da. **Retrospectiva e Tendência da Alfacultura Brasileira**. 2012.

SANTOS, Humberto Goncalves dos, et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 355-358.

SANTOS, Ricardo Henrique Silva et al. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, p. 1395-1398, 2001.

SANTOS, S. M. C., Antonangelo, J. A., Deus, A. C. F. & Fernandes, D. M. Perdas de amônia por volatilização em resposta a adubação nitrogenada do feijoeiro. **Revista da Agricultura Neotropical**. 2016. 16-20.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. **Biometrics**, Raleigh, 30, 3, 507-512, 1974.

SEBRAE. **Alface**: Saiba como Cultivar Hortaliças para Colher Bons Negócios. 1ª ed. Brasília – DF: SEBRAE, 2011.

SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. *Biometrika*. 52:591-611, 1965.

SILVA, Francisca Alcivania de Melo; BÔAS, Roberto Lyra Villas; SILVA, Reginaldo Barboza. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, p. 131-137, 2010.

SILVA, Mellissa Ananias Soler da, et al. **Mudanças na fertilidade de um latossolo de cerrado e na produtividade de feijoeiro comum irrigado pelo uso de biomassa carbonizada**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10., 2013, Santo Antônio de Goiás. Matéria orgânica e qualidade ambiental: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Adubação e de Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

SOUZA, Jacimar Luis; RESENDE, Patrícia. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2006.

SOUZA, Pahlevi A. de et al. Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 754-757, 2005.

SUINAGA, Fabio Akiyoshi; BOITEUX, Leonardo Silva; CABRAL, Cleia Santos; RODRIGUES, Cecília da Silva. **Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal crespa**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013.

TURAZI, Caroline et al. Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 65-70, 2006.

VAZ, J. C.; TAVARES, A. T.; HAESBAERT, F. M.; REYES, I. D. P.; ROSA, P. H. L.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. **Adubação NPK como promotor de crescimento em alface**. *Agri-Environmental Sciences*, v. 5, n. (s/n), p. 1-9, 2019.

VERHEIJEN, Franciscus et al. Biochar application to soils: a critical scientific review on effects on soil properties, processes and functions. **Joint Research Centre (JRC) Scientific and Technical Report**. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 2010.

VILELA, Fernando José. **Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de Magonia pubescens**. 105p. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

YURI, Jony Eishi; MOTA, José Hortêncio; RESENDE, Geraldo Milanez de; SOUZA, Rovilson José de. Nutrição e adubação da cultura da alface. In: PRADO, Renato de Mello; CECÍLIO FILHO, Arthur Bernardes. **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: Fcav/Capes, Cap. 21. p. 559-577. 2016.