



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Júlia Zanette Penso

**Biochar e pó de rocha melhoram os atributos químicos do solo sob cultivo de
alface**

Florianópolis
2024
Júlia Zanette Penso

Biochar e pó de rocha melhoram os atributos químicos do solo sob cultivo de alface

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Ciências Biológicas - Licenciatura do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciando em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss

Coorientação: MSc Paulo Henrique da Silva Câmara

Florianópolis

2024

Penso, Júlia

Biochar e pó de rocha melhoram os atributos químicos do solo sob cultivo de plantas de alface / Júlia Penso ; orientador, Arcângelo Loss, coorientador, Paulo Henrique Câmara, 2024.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Biochar. 3. Pó de rocha. 4. Biofertilizante. 5. Lactuca sativa. I. Loss, Arcângelo . II. Câmara, Paulo Henrique . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Júlia Zanette Penso

Biochar e pó de rocha melhoram os atributos químicos do solo sob cultivo de plantas de alface

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciando e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas.

Florianópolis, 13 de agosto de 2024.

Profa. Dra. Daniela Cristina de Toni
Coordenação do Curso

Banca examinadora

Prof. Dr. Arcângelo Loss
Orientador

Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Nivaldo Peroni
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, 2024.

Este trabalho é dedicado a caoticidade e a beleza da vida,
aos meus amores e principalmente aos meus pais que
me deram tanto da vida, da beleza e do amor que conheço e expresso.

AGRADECIMENTOS

Estando extremamente confortável no sofá da atlética biologia, pensando em todos os seres que gostaria de agradecer, nunca me senti tão em casa na Universidade quanto neste momento, marejo os olhos me lembrando de nomes, momentos, histórias, dificuldades, locais, festas, sonhos (um se concretizando), amigos que estão distantes, amigos que viraram desconhecidos, amigos que vieram rápido e ficaram, uns que se foram na mesma velocidade, amigos que viraram amores, amores e amor. E também, os amigos que estão aqui perto, abrindo uma latinha ou estralando a mesa de sinuca, aos que passam abanando ou entram para me dar “oi” e fofocar. Lembro da comida da minha mãe e o riso do meu pai, o cafuné ou a conversa sincera com meu irmão. Muitos irmãos ao longo da vida, um de sangue e vários de almas. No mais não citarei nomes, se você ler espero que se auto reconheça neste breve agradecimento formal, que não deixa de ser verdadeiro, mas, com certeza, não se equivale ao quanto os estimo, amo, sou feliz e grata por compartilhar a vida.

Agradeço então:

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, por terem acreditado e confiado em mim desde sempre, tornando essa graduação possível, com o auxílio financeiro, a minha permanência em uma cidade nova e diferente, por vezes solitária, ao longo desses 6 anos. Pelo auxílio emocional de sempre e por me tranquilizarem me fazendo saber que sempre poderia voltar e a certeza de ter um colo de mãe ou um afago e abraço do pai, pelas ligações de domingo que me davam energia para continuar a semana. Pelas comidas mandadas pela mãe e tias. Agradeço a minha dinda Elis por ser um anjo em minha vida e tornar real o conto da fada madrinha.

Aos meus amigos no geral, não poderia elencar um por um mas sabem o quanto tornam minha vida mais leve e colorida e sou extremamente grata por cada troca, amparo e afago. Eu amo muito vocês e tenho certeza que nada disso seria possível sem vocês do meu lado, mesmo que as vezes a distância. Agradeço por compartilharem a vida comigo. Aos novos e aos velhos amigos, meu mais sincero agradecimento.

Agradeço também aos meus orientadores ao longo de toda a graduação, todos me marcaram de uma maneira muito significativa e importante, ajudaram a formular

quem sou hoje, me incentivaram a crescer como bióloga, cientista e cidadã. Em especial à Carolina Levis que sou extremamente grata e fã de seu trabalho, é uma honra poder ser sua orientada, discutir e dividir uma mesa contigo. Ao Professor Nivaldo Peroni que, mesmo sem saber, me reacendeu o amor pela biologia e me fez perceber a preciosidade da gentileza. A Leandra Formentão, minha primeira orientadora assim que cheguei na UFSC, sem sua ajuda e apoio, a ciência, como vejo, com certeza seria diferente. Ao Professor Arcângelo Loss, muito obrigada por aceitar orientar uma desconhecida que só tinha uma ideia e um sonho, me fornecendo toda uma equipe e laboratório para tal, em especial a Paulo Câmara que me instruiu e auxiliou durante todo esse trabalho de conclusão do curso.

Cabe aqui ressaltar também a Universidade Federal de Santa Catarina, sua estrutura, profissionais da limpeza, técnicos e segurança, ao restaurante universitário que me nutriu muitas vezes. Aos professores que passaram por mim durante toda minha trajetória de vida, muito obrigada pela formação e inspiração. Espero um dia ser uma professora que incentive e de esperança como muitos de vocês fizeram comigo. Com certeza levo muitos como inspiração.

Agradecer a banca por se dispor a contribuir mais um pouquinho com minha formação, a lerem essas páginas e me ouvirem. Muito obrigada!

E finalizando, mas não menos importante, agradeço de corpo e alma ao João, mais conhecido como amor da minha vida. Obrigada por permanecer, por ser apoio e farol em momentos turvos, um porto seguro. Você é meu lembrete diário para olhar para a vida com encantamento.

Com certeza a minha vida foi mais fácil, bonita e colorida graças a vocês. Muito obrigada!

A invenção do hoje é o meu único meio de instaurar o futuro.
(Clarice Lispector, 1973)

RESUMO

O Brasil, assim como o resto do mundo, vem passando por uma crise de fertilizantes, além do uso exacerbado de agrotóxicos para com nossa agricultura. Pensando em fontes que não agredam e que sejam sustentáveis ao meio ambiente, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de biochar e de pó de rocha sobre os atributos químicos de diferentes tipos de solos (argiloso e arenoso) no crescimento de plantas de alface (*Lactuca sativa*), em diferentes épocas do ano. O primeiro experimento foi conduzido no inverno e o segundo na primavera. O biochar é proveniente da pirólise de cama de aviário e de dejetos suínos, o pó de rocha é de origem basáltica. Foram avaliados os tratamentos: biochar de cama de aviário (BC); biochar de dejetos suínos (BD), pó de rocha (PR), BC+PR; BD+PR, adubação química (NPK) + calagem, BD+NPK, BC+NPK, testemunha (sem adubação e sem calagem) e testemunha com calagem (test+C). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, sendo um fatorial 10 x 2 (10 tratamentos e 2 tipos de solo). Foram avaliados os parâmetros de crescimento da alface e a massa fresca e seca total da planta. O final do experimento foram analisados os parâmetros químicos do solo (macro e micronutrientes). No experimento 1, realizado no inverno, observou-se que a aplicação de BD aumentou significativamente os níveis de fósforo (P) no solo, especialmente no solo arenoso. Além disso, os tratamentos contendo biochar também aumentaram os níveis de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em ambos os tipos de solo. O pH do solo mostrou variações entre os tratamentos, com maiores valores no solo arenoso. No experimento 2, realizado na primavera, as condições climáticas (maiores temperaturas) influenciaram de maneira distinta o desenvolvimento das plantas e a disponibilidade de nutrientes no solo. A comparação entre os dois experimentos revelou que as condições climáticas e a composição do solo são fatores cruciais que afetam a eficácia dos tratamentos. O uso de pó de rocha e biochar demonstrou potencial para melhorar a fertilidade do solo e promover o crescimento das plantas, mas as variações sazonais devem ser consideradas para otimizar os resultados.

Palavras-chave: cama de aviário; dejetos suínos; reminalização; *Lactuca sativa*; fósforo; pH do solo.

ABSTRACT

Brazil, like the rest of the world, has been experiencing a fertilizer crisis, in addition to the excessive use of pesticides in our agriculture. Considering sources that are environmentally sustainable and non-harmful, the objective of this work was to evaluate the use of biochar and rock dust on the chemical attributes of different soil types (clay and sandy) in the growth of lettuce plants (*Lactuca sativa*) at different times of the year. The first experiment was conducted in the winter and the second in the summer. The biochar was derived from the pyrolysis of poultry litter and swine manure, and the rock dust was of basaltic origin. The treatments evaluated were: poultry litter biochar (BC); swine manure biochar (BD), rock dust (PR), BC+PR; BD+PR, chemical fertilization (NPK) + liming, BD+NPK, BC+NPK, control (no fertilization and no liming), and control with liming (test+C). The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, with 4 repetitions, in a 10 x 2 factorial (10 treatments and 2 soil types). The growth parameters of the lettuce and the total fresh and dry mass of the plants were evaluated. At the end of the experiment, the chemical parameters of the soil (macro and micronutrients) were analyzed. In experiment 1, conducted in winter, it was observed that the application of BD significantly increased phosphorus (P) levels in the soil, especially in sandy soil. Additionally, treatments containing biochar also increased potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg) levels in both soil types. Soil pH showed variations among treatments, with higher values in sandy soil. In experiment 2, conducted in summer, climatic conditions (higher temperatures) distinctly influenced plant development and nutrient availability in the soil. The comparison between the two experiments revealed that climatic conditions and soil composition are crucial factors affecting the effectiveness of the treatments. The use of rock dust and biochar showed potential to improve soil fertility and promote plant growth, but seasonal variations should be considered to optimize results.

Keywords: poultry litter; swine manure; raminalization; *Lactuca sativa*; soil fertility.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ASE	Área superficial específica
BC	Biocarvão de cama de aviário
BC+NPK	Biocarvão de cama de aviário + Nitrogênio, Fosforo e Potássio
BC+PR	Biocarvão de cama de aviário + pó de rocha
BD	Biocarvão de dejetos de suíno
BD+NPK	Biocarvão de dejetos suínos + Nitrogênio, Fosforo e Potássio
BD+PR	biocarvão de dejetos de suíno + pó de rocha
C	Carbono
Ca	Cálcio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
ICP-MS	<i>Inductively coupled plasma mass spectrometry</i> (espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
K	Potássio
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NPK	Nitrogênio, Fosforo e Potássio
NPK+C	Nitrogênio, Fosforo e Potássio + calagem
P	Fósforo
S	Enxofre
Sat.	Saturação
Test	Testemunha controle
Test+C	Testemunha controle + calagem
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	BIOCHAR PRODUZIDO COM RESÍDUOS ANIMAIS	18
1.2	PÓ DE ROCHA	19
1.3	CULTIVAR DE ALFACE	20
2	OBJETIVOS	21
2.1.1	Objetivo Geral	22
2.1.2	Objetivos Específicos	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	22
3.2	AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS UTILIZADOS	26
3.3	SOBRE OS BIOCHARS	27
3.4	PÓ DE ROCHA	28
3.5	EXPERIMENTO 1	29
3.6	EXPERIMENTO 2	30
3.7	ANÁLISES EFETUADAS NAS PLANTAS	30
3.8	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	30
3.9	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	EXPERIMENTO 1 - outono-inverno	31
4.2	EXPERIMENTO 2 -de primavera	31
4.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM AMBOS EXPERIMENTOS	32
4.4	DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS EM AMBOS EXPERIMENTOS	59
5	CONCLUSÃO	66
5.1	RECOMENDAÇÕES	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Os fertilizantes estão definidos na legislação brasileira (Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982) como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes para as plantas”. Assim eles possuem como função principal repor ao solo os elementos retirados a cada colheita, com o objetivo de manter ou aumentar o potencial produtivo. Sua participação é fundamental para o aumento do rendimento da agricultura, isto é, sua produtividade (ANDRADE, 1995).

Os elementos químicos presentes nos fertilizantes, conforme a quantidade ou proporção, podem ser divididos em duas categorias: macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco). Se o solo não conseguir fornecer suficientes quantidades de qualquer dos nutrientes mencionados, por menor que seja essa quantia, poderá haver prejuízos no crescimento e no desenvolvimento das plantas. As deficiências mais comuns são de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), daí a fórmula básica dos fertilizantes NPK, que indica o percentual de nitrogênio na forma de N elementar, o teor percentual de fósforo na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5), e o conteúdo percentual de potássio na forma de óxido de potássio (K_2O) (DIAS, 2006).

O fósforo normalmente é o responsável pelos processos primordiais das plantas como o armazenamento e utilização de energia, acaba promovendo o crescimento das raízes e melhorando muitas vezes a qualidade dos grãos. O potássio é comumente responsável pelo equilíbrio de cargas no interior das células vegetais, inclusive pelo controle da hidratação e das doenças da planta. Todavia, para aumentar a fertilidade do solo, não basta somente a aplicação de fertilizantes. Uma das mais importantes medidas consiste na correção da acidez do solo, que, se excessiva, prejudica a absorção dos nutrientes pelas plantas e aumenta os custos da fertilização (DIAS, 2006).

Tendo em vista a importância de uso de fertilizantes no cultivo e as diversas consequências que a guerra entre Rússia e Ucrânia (2022) trouxeram ao mundo, um dos grandes impactantes foi o fornecimento de fertilizantes, pois o mercado brasileiro é fortemente dependente dos insumos agrícolas trazidos desses países. Isso porque

esse conflito, trouxe risco de uma diminuição no abastecimento não só no mercado nacional, mas agravou também toda uma crise que já era visada nesse setor nos últimos anos, diante do aumento na produção de alimentos que também acabou provocando uma escalada nos preços do comércio desses materiais, colocando em risco a agricultura nacional (NASTARI, 2022).

Assim, para o enfrentamento de questões globais, não só a Guerra entre Ucrânia e Rússia, mas questões importantes relacionadas ao desenvolvimento sustentável, fertilidade do solo, segurança alimentar das populações, intensificação das mudanças climáticas pela emissão de dióxido de carbono e demais gases de efeito estufa, buscam-se alternativas eficazes, que advêm de novas tecnologias e sustentáveis. Dentre essas tecnologias, destaca-se o biochar ou biocarvão, que é o termo usado para denominar carvão de origem vegetal ou animal processado por meio de pirólise, que é o processo onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas e ambiente com quantidade de oxigênio controlada (IBI, 2015).

O uso do biochar destaca-se no sequestro de carbono (LEHMANN, 2007), melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo; e remediação de solos contaminados por metais tóxicos e moléculas orgânicas. Além disso, quando o biocarvão é aplicado ao solo tem-se observado melhorias nos atributos edáficos, com aumento da produtividade das culturas em solos altamente intemperizados ou degradados (IPPOLITO; LAIRD; BUSSCHER, 2012).

O que era, no passado, muito difundido nos cultivos orgânicos, o "pó de rocha", que é assim chamado por ter origem das rochas naturais, aparece como alternativa no incremento de nutrientes no solo, porém não é considerado um fertilizante propriamente dito e sim um remineralizador (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998). Por serem de dissolução lenta e complexa dependem de diversos fatores como granulometria, composição química e mineralogia da rocha de origem, pH do solo e da atividade biológica deste. A utilização de remineralizadores é uma prática que visa resultados a médio e longo prazos com efeitos mais duradouros, ao contrário da adubação com fertilizantes inorgânicos solúveis, os quais, requerem uma aplicação a cada cultivo (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998; ALOVISI *et al.*, 2021).

Dessa forma, o uso de biochar e/ou pó de rocha como insumos para melhorar o desenvolvimento de plantas e os atributos do solo devem ser difundidos e mais estudos com diferentes espécies vegetais devem ser realizados, pois essas tecnologias vão a favor de um mundo mais sustentável e ecologicamente correto.

1.1 BIOCHAR PRODUZIDO COM RESÍDUOS ANIMAIS

O Brasil é um dos maiores produtores agropecuários do mundo (EMBRAPA, 2019). Como consequência, há uma grande geração de resíduos dessas produções, como dejetos de bovinos e suínos, e cama de aviário, que têm grande potencial poluidor pela alta carga de nutrientes em locais de intensa produção, levando ao acúmulo desses no solo, saturando a capacidade agronômica e ultrapassando os limites críticos ambientais, gerando impactos no meio ambiente (AITA *et al.*, 2014).

Uma alternativa sustentável para estes problemas, entre outras, é o encaminhamento de biomassas residuais, como cama de aviário, resíduos orgânicos de suínos, bovinos, além de outros materiais, como podas de árvores, ao processo de pirólise, que consiste na decomposição termoquímica da biomassa a temperaturas comumente menores que 700 °C, na ausência total ou parcial de oxigênio livre (IBI, 2015).

Os produtos resultantes da pirólise de biomassa são: o bio-óleo, parte líquida passível de utilização em processos industriais; o gás de síntese (syngas), composto por CO, CO₂, CH₄, H₂, H₂O e N₂ e o biochar (biocarvão), que é um sólido rico em carbono e nutrientes, sendo esse passível de aplicação no solo. O biochar pode ser produzido a partir de qualquer biomassa, preferencialmente residual, e que ganhou notável interesse por ser um dos principais componentes da “Terra Preta Indígena”, um solo antropogênico que apresenta excelentes características agronômicas e ambientais em regiões amazônicas, especialmente quando comparado aos solos amazônicos adjacentes (JOSEPH; LEHMANN, 2009). Destaca-se que as propriedades físico-químicas do biochar variam com os tipos de matérias-primas (WANG; WANG, 2019).

Além de fornecer um material com quantidade de nutrientes mais concentrada, a pirólise de dejetos animais traz uma série de benefícios ambientais e de manejo, como a destruição de patógenos, a redução de odores, a redução do

volume e, conseqüente, melhora no manuseio, estocagem e transporte (PHAM *et al.*, 2013). O biochar ainda pode ser usado como material protetor de sementes em locais de reflorestamento, conhecido como “seedballs”, ao funcionar como capa protetora da semente contra animais e insetos, permitindo a germinação da semente, devido a sua porosidade, nas estações chuvosas (GRAVES, 2013).

Avaliando os efeitos sinérgicos das aplicações de biochar e fertilizantes (NPK) na biomassa e rendimento de grãos para três genótipos de soja, Mete *et al.* (2015) demonstraram que a produção total de biomassa e o rendimento de grãos aumentaram, em média, 67% e 54%, respectivamente, com biochar; e 201% e 182%, respectivamente, com aplicação de NPK em comparação com o controle. Quando as aplicações de biochar e NPK foram combinadas, os aumentos foram de 391% e 367%, respectivamente.

A mistura de adubo granulado de NPK juntamente com biochar de palha de milho (BNPK), favoreceu uma maior área superficial e porosidade, o que causou maior capacidade de armazenar e doar elétrons do que somente o adubo NPK (Thaery *et al.*, 2022). Esses autores verificaram que concentrações relativamente mais baixas de Ca, P, K, Si e Mg foram lixiviadas, indicando a capacidade da mistura de BNPK de manter esses elementos minerais e reduzir as perdas por lixiviação. Durante os experimentos, aglomerados organominerais, compreendendo C, P, K, Si, Al e Fe, foram formados na superfície e no interior dos poros do biocarvão.

1.2 PÓ DE ROCHA

A grande maioria dos elementos essenciais às plantas, com exceção do nitrogênio, está presente na litosfera, fazendo parte da constituição das rochas e dos minerais. Para que se tornem disponíveis às plantas, as rochas passam por processos de intemperismo, que ocorrem naturalmente de forma muito lenta. O resíduo da britagem de rochas basálticas, por exemplo, é rico em elementos nutritivos às plantas, sendo um material de baixo custo e muito indicado como corretivo da fertilidade de solos muito intemperizados (GILLMAN, 1980; ALOVISI *et al.*, 2021).

Pesquisas têm demonstrado que o pó de rocha libera lentamente grandes quantidades de nutrientes às plantas, podendo elevar a capacidade de troca catiônica (CTC) de solos de baixa fertilidade natural (BLUM et al., 1989), os teores de cátions trocáveis e o pH do solo (VON FRAGSTEIN et al., 1988), sendo esses efeitos mais intensivos em rochas vulcânicas básicas, como o basalto. Importante ressaltar também alguns trabalhos como de Alovisei *et al.* (2017) em que em dois cultivares diferentes (milho e soja) com tratamentos com pó de rocha foram avaliados não terem influenciado para o rendimento de grãos e outras variáveis tecnológicas das plantas, contudo resultados obtidos por Melo *et al.* (2012) e Junior (2020) mostram que o pó de rocha é sim uma alternativa viável para essas culturas.

Estudos indicam que em clima tropical, o uso de pó de rocha tem grande potencialidade, sendo as taxas de dissolução dos minerais e as reações entre a superfície dos minerais e a solução do solo são aumentadas sob alta temperatura e regime de umidade alta (VAN STRAATE, 2006). Em condições edafoclimáticas diferentes, Albert (1936) e Hilf (1937) também constataram a melhoria da fertilidade de solos arenosos, sob floresta, após a adição de pó de basalto.

No Brasil, Leonardos *et al.* (1987) mostraram que as culturas do feijão (*Phaseolus vulgaris*), do capim napier (*Penissetum purpureum*) e mesmo árvores de crescimento lento responderam positivamente ao uso de pó de rocha. Segundo Tebar et al. (2021), o efeito residual de pó de rocha afeta expressivamente os atributos químicos do solo e a nutrição das culturas, como por exemplo, a soja.

1.3 CULTIVAR DE ALFACE

A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma das principais hortaliças utilizada na alimentação da população brasileira, e seu consumo anual chega a atingir uma média de 27kg por pessoa, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011). É considerada uma grande fonte de vitaminas, sais minerais e fibras, além de possuir ação antioxidante, esta hortaliça é não só essencial como fundamental na dieta diária porque apresenta nutrientes que favorecem o bom funcionamento do organismo humano (BARBOSA et al., 2016). Atualmente, esta hortaliça movimenta em média, um montante de R\$ 8 bilhões apenas no varejo, com uma produção de mais de 1,5 milhão de toneladas ao ano (PESSOA; JUNIOR, 2021).

É considerada uma hortaliça anual da família Asteraceae e uma das folhosas mais importantes, sendo principalmente usada para consumo fresco ou frequentemente servida como salada (Labeda et al., 2007; Chiesa et al., 2009). Este vegetal oferece diversos benefícios para a saúde, atribuídos à presença de altos níveis de fitonutrientes, elevados teores de vitaminas K e A, além de beta-caroteno, fibras, compostos fenólicos e minerais como Ca, P, K, Mn e Fe (Mulabagal et al., 2010; Jaiswal, 2020).

Dentre os cultivares de alface existentes no mercado, o crespas Grand Rapids TBR da espécie *Lactuca sativa* é mais resistente a certas deficiências como o Ca, tem como característica possuir folhas soltas, crespas e de coloração verde claro, além de ser propícia para o plantio ao longo do ano todo. Suas recomendações de tempo de ciclo são para o verão de 50 dias, enquanto para o inverno fica entre 70 dias de ciclo (BRSeeds, 2024).

Investigando o efeito da aplicação de biochar (obtido a partir de uma espécie invasora – *A. donax*) nas propriedades de um solo de baixa fertilidade e no crescimento de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.), Mourato (2021) realizou ensaios aplicando cinco doses de biochar, equivalentes a: 0 t/ha (controle), 20 t/ha, 40 t/ha, 80 t/ha e 160 t/ha. Em cada vaso cultivou-se uma planta de alface durante 9 semanas. A aplicação de biochar originou efeitos significativos nas propriedades do solo, aumentando o pH, a matéria orgânica, a CTC e os nutrientes (K e P). Em contrapartida, o autor observou uma diminuição da disponibilidade dos micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn e B) e também, um aumento da retenção de água no solo a -33 kPa e a -1500 kPa, com aplicações crescentes de biochar. Relativamente às plantas, o aumento da dose de biochar originou aumentos significativos de produção (aumentos de 129% a 228%, face ao controle, nas doses 20 e 160 t/ha, respectivamente), e gerou também, uma diminuição significativa para o teor de metais tóxicos nos tecidos vegetal. Segundo Augusto et al., (2022) a adição de pó de rocha acabou promovendo aumento na massa fresca da raiz de alface, além de expressar aumento no comprimento do caule e no número de folhas totais.

2. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de biochar e pó de rocha, isolados e combinados, sobre os atributos químicos de diferentes tipos de solos (argiloso e arenoso), em comparação ao uso de adubos químicos (NPK) e testemunha (sem adubação e sem calagem).

2.1.2 Objetivos Específicos

- i. Analisar as modificações nos atributos químicos do solo após o cultivo de alface com o uso de biochar, pó de rocha e a mistura de ambos, comparados com e sem NPK;
- ii. Avaliar o crescimento das plantas de alface ao final do experimento com o uso de biochar, pó de rocha e a mistura de ambos, comparados com e sem NPK.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Microbiologia e Parasitologia da UFSC, em vasos de 4 litros, com 4kg de solo cada vaso, com diferentes solos, sendo um solo argiloso e outro arenoso. Foram 4 repetições com cada tipo de solo, com os tratamentos: biochar de cama de aviário (BC), biochar de dejetos suínos (BD), pó de rocha (PR); mistura de BC + PR (BCPR); mistura de BD + PR (BDPR); adubação mineral (NPK) com calagem (NPK+C); mistura de BC + NPK (BC+NPK); mistura BD + NPK (BD+NPK); testemunha (Test) sem adubação e sem calagem; e testemunha com calagem (Test+C). Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado, sendo um fatorial 10 x 2 (10 tratamentos e 2 tipos de solo), sendo ao todo utilizado 80 vasos (40 para cada tipo de solo) por fases de experimento (um no inverno e um no verão).

Foram realizados dois experimentos: o experimento 1 foi conduzido no mês de maio/2023 (fim do outono e início do inverno), com previsão de colheita da alface após 50 dias da semeadura. O Experimento 2 foi conduzido no início da primavera (setembro/2023) e após 70 dias colhidas as alfaces. Os vasos foram alocados em bancadas na casa de vegetação, com luminosidade natural, ventilação de ar cruzada

forçada, sem controle de temperatura e umidade. A temperatura e umidade diária foi medida com termômetro instalado dentro da casa de vegetação. Ambos os experimentos foram utilizadas sementes do cultivar de alface crespa Grand Rapids TBR da espécie *Lactuca sativa* da marca Isla, subsidiária da BRSeeds, adquirida em casa de jardinagem.

As quantidades de BC, BD e PR utilizadas nos tratamentos foram estabelecidas levando-se em consideração o teor de P para a cultura da alface para alcançar uma produtividade de 4 t ha⁻¹, de acordo com as recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2016).

Recomendações para BC (Biochar de Cama de Aviário) e BD (Biochar de Digestato de Suinocultura): usou-se como limitador o fósforo (P), pois esse era o elemento presente em maior quantidade nos biochars (Tabela 3). Então, calculou-se a quantidade necessária de biochar para atender à recomendação de P para a alface em cada um dos dois solos utilizados, como consta na tabela 1.

Para os tratamentos com o pó de rocha utilizou-se como limitador o potássio (K), pois esse era o elemento presente em maior quantidade (Tabela 4). Então, calculou-se a quantidade necessária de pó de rocha para atender à recomendação de K para a alface em cada um dos dois solos utilizados (Tabela1).

Para os tratamentos com misturas de biochar e pó de rocha, o limitante ainda foi o P, já que esse era o elemento presente em maior quantidade nos biochars e também havia P no pó de rocha. Foi utilizado 85% do peso de BC para atender à necessidade de P, e foi calculada a quantidade necessária de pó de rocha para atender à necessidade de K, assim atendendo às recomendações de potássio e fósforo para a alface em cada um dos dois solos utilizados (Tabela 1).

Como o BD possuía uma quantidade maior de P e K, utilizou-se 80% do peso de BD para atender à necessidade de P e calculou-se a quantidade necessária de pó de rocha para atender à necessidade de K, atendendo assim às recomendações de potássio e fósforo para a alface em cada um dos dois solos utilizados (Tabela 1).

Nos tratamentos com BC + NPK e BD + NPK, a necessidade de fósforo foi atendida pelo biochar e foram calculadas as quantidades necessárias dos outros

elementos, que foram supridas com KCl para o potássio e ureia para o nitrogênio (Tabela 1).

Para o tratamento NPK, a correção do solo foi feita de acordo com os resultados das análises químicas e a recomendação para a cultura do alface, conforme a CQFRS/SC (2016) que também se encontram na tabela 1. As misturas dos substratos com o solo foram feitas em uma betoneira, adicionando o substrato de estudo correspondente, obtendo uma mistura homogênea, que ao fim, foi disposta em quantidade de 4 kg em cada vaso.

Tabela 1: Quantidades de cada elemento adicionado em cada tratamento, s

	Tratamento	N (g)	P (g)	K (g)	BC (g)	BD (g)	PR (g)
Solo Arenoso	BC	-	-	-	14,37	-	-
	BD	-	-	-	-	11,118	-
	PR	-	-	-	-	-	189,818
	BC+PR	-	-	-	12,214	-	125,418
	BD+PR	-	-	-	-	8,94	176,373
	NPK+C	1,556	0,968	0,968	-	-	-
	BC+NPK	0,577	-	0,321	14,37	-	-
	BD+PNPK	0,883	-	0,071	-	11,118	-
	Test+C	-	-	-	-	-	-
Test	-	-	-	-	-	-	
Solo Argiloso	BC	-	-	-	14,13	-	-
	BD	-	-	-	-	10,932	-
	PR	-	-	-	-	-	186,652
	BC+PR	-	-	-	12,01	-	123,327
	BD+PR	-	-	-	-	8,746	173,431
	NPK+C	1,53	0,952	0,952	-	-	-
	BC+NPK	0,567	-	0,315	14,13	-	-
	BD+PNPK	0,869	-	0,07	-	10,932	-
	Test+C	-	-	-	-	-	-
Test	-	-	-	-	-	-	

BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Tabela 2: Caracterização química e física dos solos iniciais.

Parâmetros avaliados	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Argila (%)	13,67	31,44
Areia (%)	66,36	32,86
Silte (%)	19,97	35,70
pH em água	5,16	4,88
pH SMP	6,75	5,94
COT (g/kg)	6,96	0,94
MOS (%)	1,2	0,15
P (mg/dm³)	6,18	11,08
K (mg/dm³)	0,06	0,03
Ca (mg/dm³)	0,083	0,103
Mg (mg/dm³)	0,076	0,192
Al (mg/dm³)	2,212	4,557
Na (mg/dm³)	0,0406	0,0304
Mn (mg/kg)	9,355	0,747
Cu (mg/kg)	-	-
Zn (mg/kg)	1,836	2,483

Fonte: autora

3.2 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS UTILIZADOS

Foram coletadas amostras de solo arenoso retirados de um horizonte A mais horizonte E de um Argissolo Vermelho-Amarelo localizado em Paulo Lopes, Santa Catarina. Para o solo argiloso, foram coletadas amostras dos horizontes B e BC de um Nitossolo Vermelho, também localizado em Paulo Lopes, SC. Os perfis de solo

são bem próximos, porém com materiais de origem diferentes; o Argissolo foi originado a partir do granito e o Nitossolo a partir de um dique de diabásio. Contendo o solo arenoso uma média de 12,67% de argila enquanto que o argiloso 30,44% e suas quantidades de silte foram para o solo arenoso 20,97% e argiloso 36,70%. Apesar de estarem expostos aos mesmos processos de formação de solo, os materiais de origem distintos são responsáveis pelas características antagônicas dos dois solos, com destaque para a textura. Após a coleta, as amostras foram secas no ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2,0mm. Em seguida, foi realizada a caracterização química e física do solo (Tabela 2)

3.3 SOBRE OS BIOCHARS

Para este estudo foram utilizados dois tipos de biocarvão, o BC - biocarvão de cama de aviário e o BD - biocarvão de dejetos suínos provenientes de biodigestores, sendo ambos pirolisados a temperatura de 400°C. O BC foi produzido pela empresa SPPT Pesquisas Tecnológicas Ltda, enquanto o BD foi produzido na Universidade de Caxias do Sul (Marcelino, 2020). Na Tabela 3 tem-se a caracterização dos biocarvões.

Tabela 3: Caracterização química dos diferentes biochars.

Parâmetros avaliados	BC	BD
pH em água	8,2	8,5
P (g kg ⁻¹)	29,4	38
K (g kg ⁻¹)	26,9	6,4
Ca (g kg ⁻¹)	48,3	126,7
Mg (g kg ⁻¹)	14,6	12,7
Na (mg kg ⁻¹)	7300	1522
Al (mg dm ⁻³)	15549	4274
Cu (mg kg ⁻¹)	60,7	65,4
Zn (mg kg ⁻¹)	1070	4809,5

BC = biocarvão de cama de aviário; BD = biocarvão de dejetos suínos.

Fonte: dados de Marcelino (2020), tabela elaborada pela autora.

Para caracterização da granulometria dos biochars, Marcelino (2020) fez com amostragem de 20g de biocarvão, passando por peneira de malhas de 2,0 mm até 0,053mm, e a porção retirada de cada peneira pesada, sendo o percentual de massa calculado de BD em peneira de 2,0mm=4,00%, 1,0mm=19,7%, 0,5mm=74,50%, 0,25=1,2%, 0,106mm=0,5% e 0,053=0,10%; para BC: 2,0mm=17,00%, 1,0mm=23,7%, 0,5mm=40,70%, 0,25=14,3%, 0,106mm=3,30% e 0,053=1,00%.

3.4 PÓ DE ROCHA

O pó de rocha utilizado neste experimento foi elaborado pela empresa Revestical extração e comercio de pedras ltda, sendo de categoria remineralizador. Este pó de rocha é uma mistura de duas rochas ígneas moídas finamente, sendo o Microgabro e o Quartzito latito basáltico. Este pó de rocha é recomendado para repor os minerais ao solo, tornando-o mais equilibrado e seu uso pode ser empregado em todos os cultivos sem restrições. Não sendo solúvel em água, a lixiviação de seus nutrientes é reduzida, assim permanecendo no solo por mais tempo. Sua solubilidade é dada por ácidos orgânicos do solo e plantas. Além de possuir uma granulometria menor de 1 mm, formando um gradiente até 200 mesh, sendo que 50% do material tem granulometria abaixo do 0,3 mm. Na Tabela 4 tem-se a caracterização química do pó de rocha.

Tabela 4: Caracterização química do pó de rocha através de dados oferecidos pelo fornecedor Revestical.

Pó de rocha	
pH	8,92
P%	0,178
K%	1,29
Mg%	3,99
Ca%	8,45
Na%	2,67
Mg%	0,52
Al%	1,61
Mn (ppm)	536
Cu(ppm)	160,2
Zn (ppm)	59

Fonte: Dados de Revestical, elaboração da tabela pela autora.

3.5 EXPERIMENTO 1

O experimento 1 foi conduzido no período do outono-inverno, ocorrendo a semeadura no dia 29 de maio de 2023, sendo os vasos dispostos em casa de vegetação, com luminosidade natural, ventilação de ar cruzado forçada, sem controle de temperatura e umidade. O experimento foi conduzido durante 72 dias após a semeadura, sendo finalizado em 10 de agosto de 2023. Foram colocadas, em média, 6 sementes de alface por vaso, e após a emergência feito o desbaste, deixando somente com uma planta no vaso. Foi calculada a quantidade de água a ser adicionada ao solo para manter em 60% da capacidade de campo com a água da rede da UFSC.

Ao final do experimento, contou-se o número de folhas, mediu-se e cortou-se a parte aérea das plantas de alface, dispondo-as em sacos de papel e armazenadas em estufa de circulação de ar forçado para secagem, em temperatura de 55°C até

atingir o peso seco constante. Não foi possível realizar a separação das raízes do solo pois elas ficaram muito finas e quebradiças ou pequenas, sendo armazenadas juntamente com o solo que foi armazenado em sacos e secos em estufa. Posteriormente foram novamente peneirados em 2,0mm para realização das análises químicas.

3.6 EXPERIMENTO 2

O experimento 2 foi conduzido no período da primavera, ocorrendo a semeadura no dia 13 de setembro de 2023, sendo os vasos dispostos em casa de vegetação, com luminosidade natural, ventilação de ar cruzado forçada, sem controle de temperatura e umidade. O experimento foi conduzido durante 52 dias após a semeadura, sendo finalizado em 07 de novembro de 2023. Foram colocadas, em média, 6 sementes de alface por vaso, e após a emergência feito o desbaste, deixando somente com uma planta no vaso. Foi calculada a quantidade água a ser adicionada ao solo úmido em 60% da capacidade de campo com a água da rede da UFSC.

Ao final do experimento, contou-se o número de folhas, mediu-se e cortou-se a parte aérea das plantas de alface, dispondo-as em sacos de papel e armazenadas em estufa de circulação de ar forçado para secagem, em temperatura de 55°C até atingir o peso seco constante. Não foi possível realizar a separação das raízes do solo pois elas ficaram muito finas e quebradiças ou pequenas, sendo armazenadas juntamente com o solo que foi armazenado em sacos e secos em ar. Posteriormente foram novamente peneirados em 2,0mm para realização das análises químicas.

3.7 ANALISES EFETUADAS NAS PLANTAS

As plantas, no momento de colheita de cada ciclo, foram medidas conforme número de folhas, comprimento da maior e menor folha, em cm, e o peso da massa fresca da parte aérea, em gramas, e da massa seca pós retirados da estufa dos dois experimentos.

3.8 ANALISES QUÍMICAS DO SOLO

As análises químicas do solo pós cultivo foram feitas por extrações e análises de pH em água, pH SMP, segundo a metodologia de Tedesco *et al.* (1995), e

determinados em pHmetro de bancada da marca Kasvi, modelo pHmetro K39-1420A. As leituras de P, K, Cu, Zn e Na foram extraídos em Mehlich-1, de acordo com Tedesco et al. (1995). Os teores de P no extrato obtido foram determinados em espectrofotômetro UV-visível, enquanto o K e Na foram determinados em fotômetro de chamas sem diluição na determinação. O Cu e o Zn foram determinados no ICP-OES, com uma diluição de 1:10. Al, Ca, Mg e Mn foram extraídos em KCl 1 mol L⁻¹ e determinados no ICP-OES com diluição de 1:9 no momento da determinação. Os valores de H+Al foram calculados segundo Kaminiski *et al.* (2001), e a CTC_{efetiva}, CTC_{pH 7,0}, saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%) foram calculados segundo CQFSRS/SC (2016).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos das análises do solo e das plantas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste Scott-Knott a 5%, utilizando-se o software Sisvar 5.6. Foram avaliados os fatores isoladamente e feita análise da interação entre os fatores (tratamentos x solo), quando significativo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1 – outono-inverno

O crescimento da alface no período do outono-inverno ocorreu do dia 29 de maio de 2023 ao dia 10 de agosto de 2023, computando 73 dias em que foram monitoradas as temperaturas e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação.

A média de temperatura durante o experimento foi de 21,8C⁰, sendo a média da máxima de 29,4C⁰ e da mínima de 15,3C⁰. Enquanto para a umidade, a média foi de 22%, a máxima de 27% e a mínima de 11%.

4.2 EXPERIMENTO 2 – primavera

O crescimento da alface no período de primavera ocorreu do dia 13 de setembro de 2023 ao dia 07 de novembro de 2023, totalizando 53 dias em que foram monitoradas as temperaturas e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação.

A média de temperatura durante o experimento foi de 26,8C°, sendo a média da máxima de 36,7C° e a mínima de 18,8C°. Enquanto para a umidade, a média foi de 31%, a máxima de 53% e a mínima de 16%. Importante ressaltar que neste período ocorreu a troca do plástico de cobertura da casa de vegetação.

4.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM AMBOS EXPERIMENTOS

Entre os parâmetros avaliados no solo, observou-se interação significativa para os atributos químicos ($p < 0,05$). Para o experimento 1, os maiores valores de pH foram observados nos tratamentos BD para o solo arenoso e testemunha+calagem, seguido de NPK+calagem no solo argiloso. O menor valor de pH, no solo argiloso, foi verificado para os tratamentos com biochar e NPK (Figura 1).

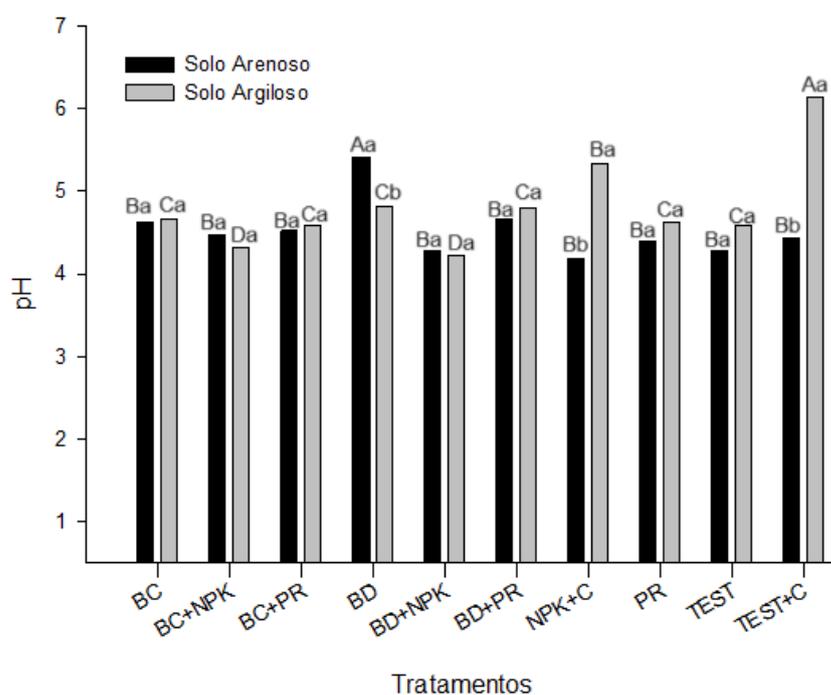


Figura 1: Valores médios de pH de solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos para o Experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Os valores de pH nos tratamentos com biochar e pó de no experimento 1, em ambos solos, foram parecidos, assim como PR e os biochar sozinhos, sendo o tratamento com BD no solo arenoso inclusive maior que NPK e em solo argiloso, menor na testemunha, enquanto que no arenoso foi menor no BD+NPK. Os biocarvões aumentaram o pH do solo em relação à testemunha, provavelmente pelo seu elevado pH, sendo 8,2 para o biocarvão de cama e 8,5 para o biocarvão de dejetos (MARCELINO, 2020), além de possuírem grupos fenólicos e carboxílicos que podem complexar o H^+ e o alumínio trocável com suas cargas negativas, diminuindo a saturação por alumínio, aumentando a CTC, como pode ser observado na Figura 8. Estes resultados indicam que o biocarvão apresentou efeito corretivo da acidez do solo, corroborando com outros trabalhos reportados na literatura (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002; Marcelino, 2020), sendo este efeito fortemente correlacionado à alcalinidade dos biocarvões (Yuan & Xu, 2011).

Para o tratamento 2 os maiores valores de pH foram observados nos tratamentos BD e os menores, na testemunha, testemunha+C e NPK+C, para o solo arenoso. Para solo argiloso, os tratamentos com NPK+calagem e testemunha mais calagem apresentaram os maiores valores, já os menores valores foram evidenciados nos tratamentos com biochar mais NPK (Figura 2).

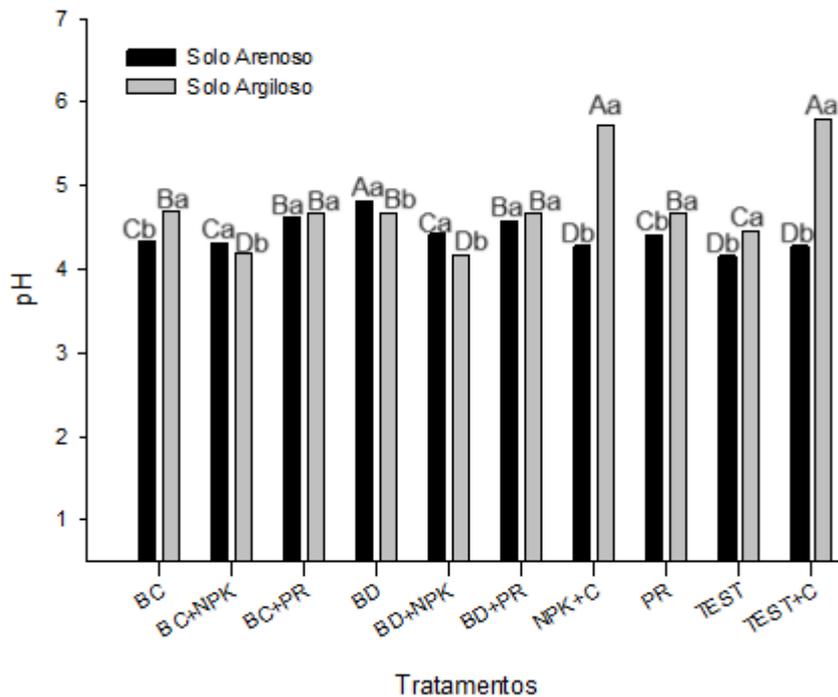


Figura 2: Valores médios de pH do solo sob diferentes tratamentos e solos para experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora

Para o segundo experimento, que ocorreu na primavera, para o pH, os valores foram semelhantes aos encontrados no primeiro experimento e mostrando novamente que os valores nos tratamentos com biochar e pó de rocha, em ambos solos, foram parecidos, assim como PR e os biocarvões sozinhos apresentaram valores de pH maiores que a testemunha (Figura 15). Esses resultados corroboram com Marcelino (2020), mostrando mais uma vez que o biocarvão apresentou efeito corretivo da acidez do solo (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002), sendo este efeito fortemente correlacionado à alcalinidade dos biocarvões (Yuan & Xu, 2011).

Para o parâmetro de fósforo disponível nos solos do experimento 1, encontraram-se os maiores valores em ambos os solos no tratamento BD, e em menor concentração nas testemunhas e PR de ambos os solos. Entre os tipos de solos,

apenas os tratamentos BD e NPK+C diferiam, com maiores valores para o solo arenoso (Figura 3).

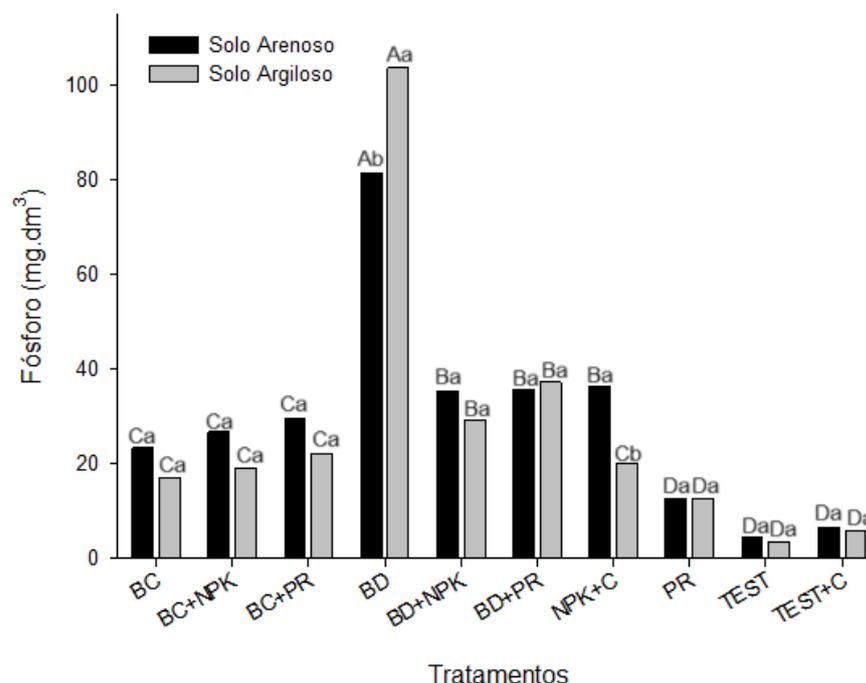


Figura 3: Valores médios de fósforo do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos para experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora

Em relação ao P, em ambos os solos, a maior quantidade encontrada foi no tratamento BD, sendo 28% maior que a testemunha no solo argiloso e 17,3% maior que a testemunha no solo arenoso (Figura 2). Enquanto que para o potássio, os maiores valores são nos tratamentos que apresentavam BC em ambos os solos. No solo argiloso, a mistura de BC+NPK apresentou valores de K 11% maiores que a testemunha, seguido de BC com 7,3% maior e BC+PR com 6,6% superior à testemunha (Figura 3). Para o solo arenoso verificaram-se valores de 5,3% a mais de K no tratamento BC+NPK em relação à testemunha, seguido por BC+PR (4%) e BC (3,4%). Esses resultados indicam que o P e K dos biocarvões foram disponibilizados no solo.

Nas análises do experimento 2 para P, o maior valor foi evidenciado nos tratamentos com BD em ambos os solos. Já os menores valores no solo arenoso foram no tratamento de NPK+C e testemunha, e no argiloso, nos tratamentos testemunha, além de BC e PR (Figura 4). Destaca-se que os tratamentos com NPK+biochar apresentaram mais P do que somente o tratamento com NPK+calagem para ambos os solos.

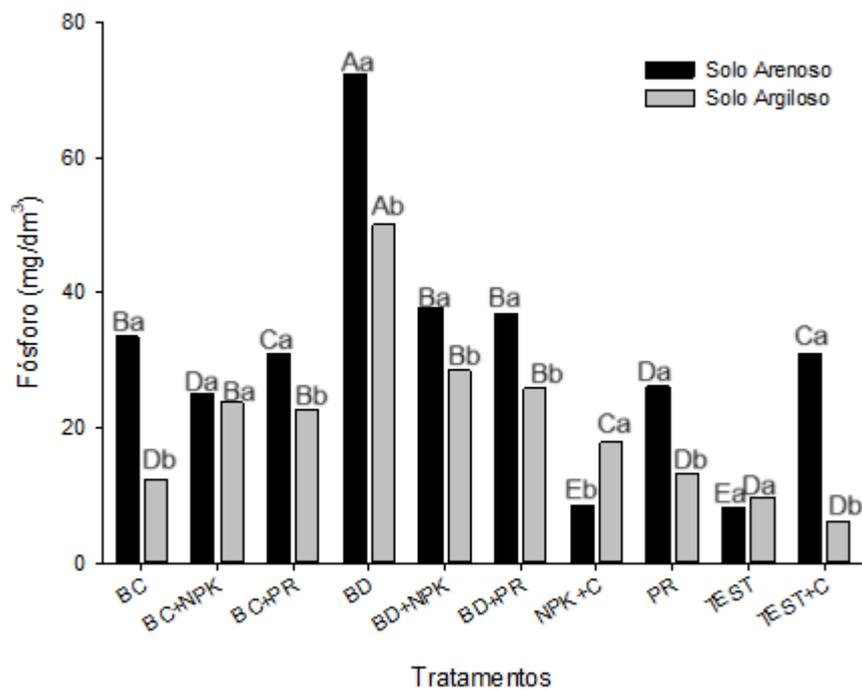


Figura 4: Valores médios para fósforo do solo sob diferentes tratamentos e solos para experiento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem

Fonte: autora.

Em relação ao fósforo (Figura 4) em ambos os solos a maior quantidade encontrada foi no tratamento com BD com 893% a mais que a testemunha em solo arenoso e 521% em solo argiloso, seguido por valores parecidos de BD+NPK e BD+PR em ambos os solos; e para BC em solo arenoso verificou-se aumentos de 413% e em solo argiloso 128%. Esses resultados indicam que em todos os tratamentos com biocarvão, o P foi disponibilizado no solo, principalmente quando se

compara com a testemunha, corroborando com literatura existente, especialmente com Jabborova (2021).

Para o K, para o experimento 1, os maiores valores foram observados no tratamento BC+NPK de ambos os solos e os menores foram evidenciados nas testemunhas, PR, BD e mistura de BD+PR, para ambos os solos. Entre os solos, para BC e BC+NPK, maiores valores foram encontrados para o argiloso, já para o tratamento NPK+C, o solo arenoso apresentou maior valor (Figura 5).

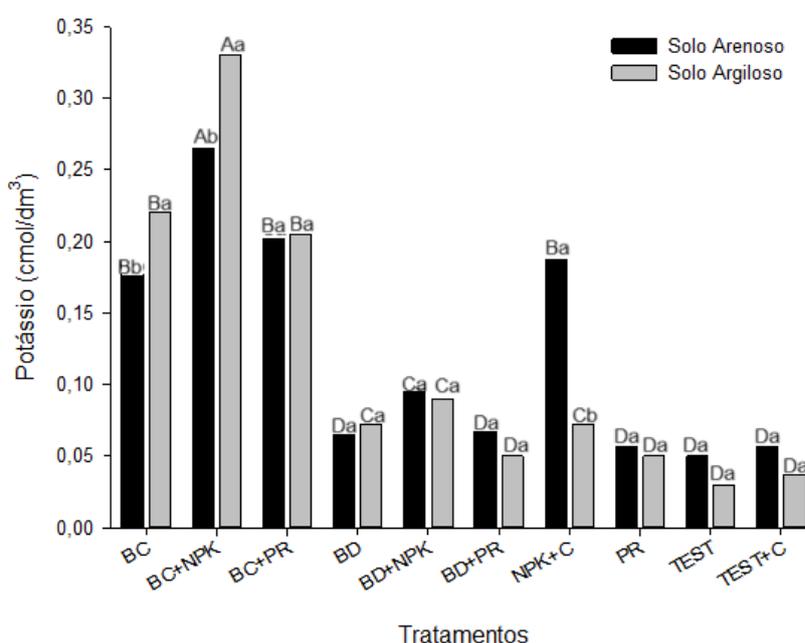


Figura 5: Valores médios de potássio do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos para experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Os maiores valores de potássio foram encontrados no tratamento de BC+NPK em ambos os solos, seguido dos maiores valores nos tratamentos BC, BC+PR e testemunha+calagem para solo arenosos e BC e BC+PR para o argiloso (Figura 6).

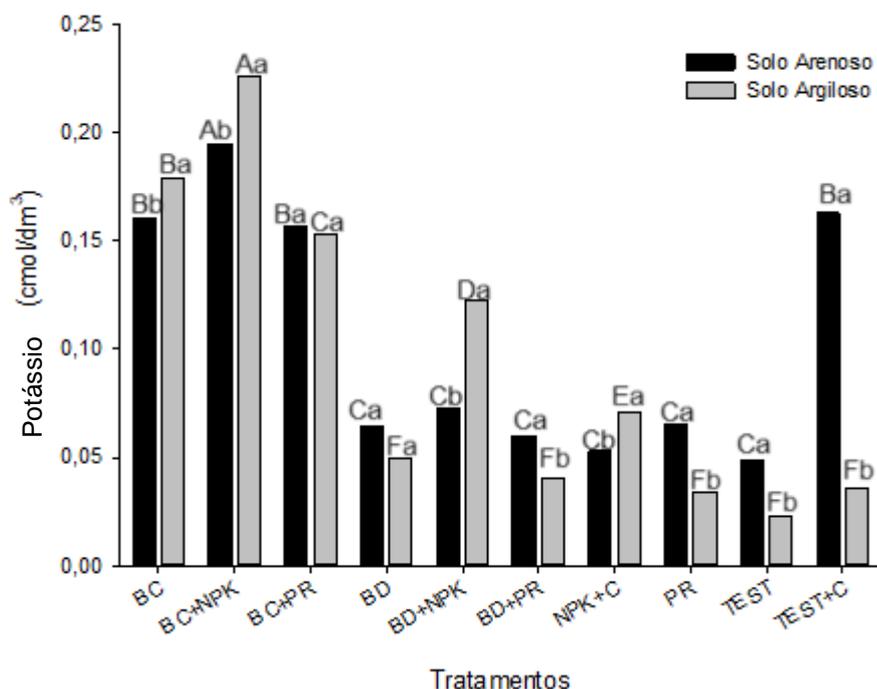


Figura 6: Valores médios para potássio do solo sob diferentes tratamentos e solos para o experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para o K, o biochar de cama de aviário apresentou os valores mais significativos em ambos solos (Figura 6). Para BC+NPK observou-se 397% maior que a testemunha em solo arenoso e 982% no argiloso. Novamente apresentando maiores valores em relação aos demais tratamentos para o potássio.

Os maiores valores de sódio para o tratamento 1 foram encontrados nos tratamentos que apresentavam PR, sendo eles o BC+PR, BD+PR e PR para ambos os solos, sendo maior no solo argiloso apenas para o tratamento BD+PR (Figura 7).

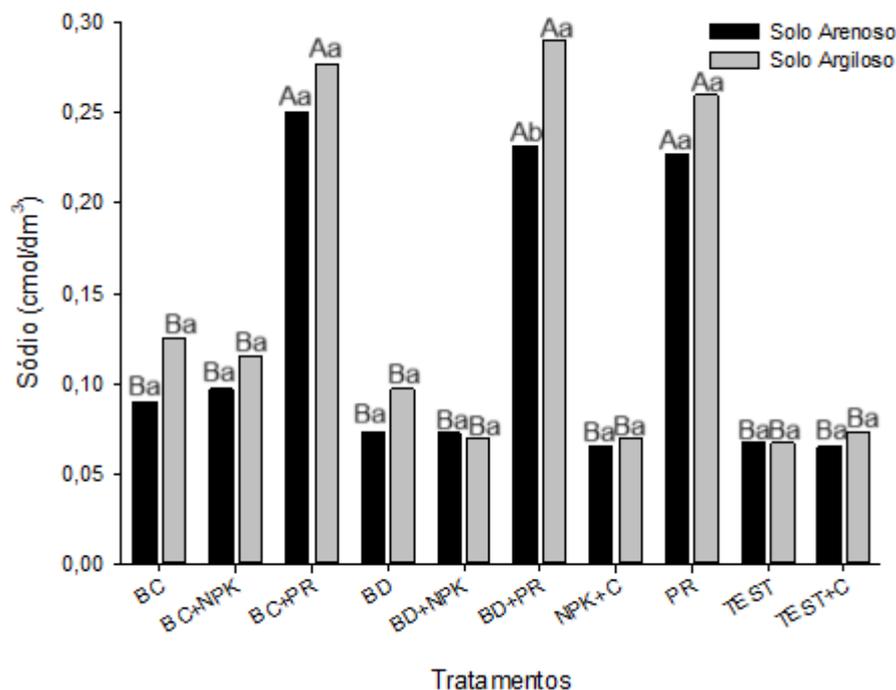


Figura 7: Valores médios de sódio do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos em tratamento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para o sódio (Figura 7) todos os tratamentos que envolviam o PR apresentaram maiores concentrações que a testemunha. Para o solo argiloso, BD+PR apresentou 4,3% a mais de Na que a testemunha, seguido de BC+PR (4%) e PR sozinho (3,8%). Para o solo arenoso, a mistura de BC+PR apresentou 3,7% acima da testemunha, seguido de BD+PR (3,4%) e PR (3,2%). Os resultados indicam que nem todo o Na adicionado ao solo esteve disponível, uma vez que tanto o biocarvão de cama de aviário como o de dejetos continham sódio (MARCELINO, 2020). Porém, o biocarvão de cama apresenta uma quantidade maior de Na (Marcelino, 2020), o que não refletiu necessariamente nos resultados encontrados no solo, enquanto que para o pó de rocha a quantidade de sódio liberada pelo pó depende da composição mineral

específica da rocha utilizada, sendo esta uma rocha ígnea que normalmente não possui tanto desse elemento em sua composição (ALOVISI et al., 2021). Destaca-se que o Na não apresenta valores que podem ocasionar problemas para a cultura, conforme CQFS (2016).

Para a análise de sódio, no experimento 2, o tratamento com PR sozinho ou misturado com biochar apresentaram os valores mais altos nos dois tipos de solo. Entre os solos, quando evidenciaram-se diferenças, o solo argiloso apresentou maiores valores (Figura 8).

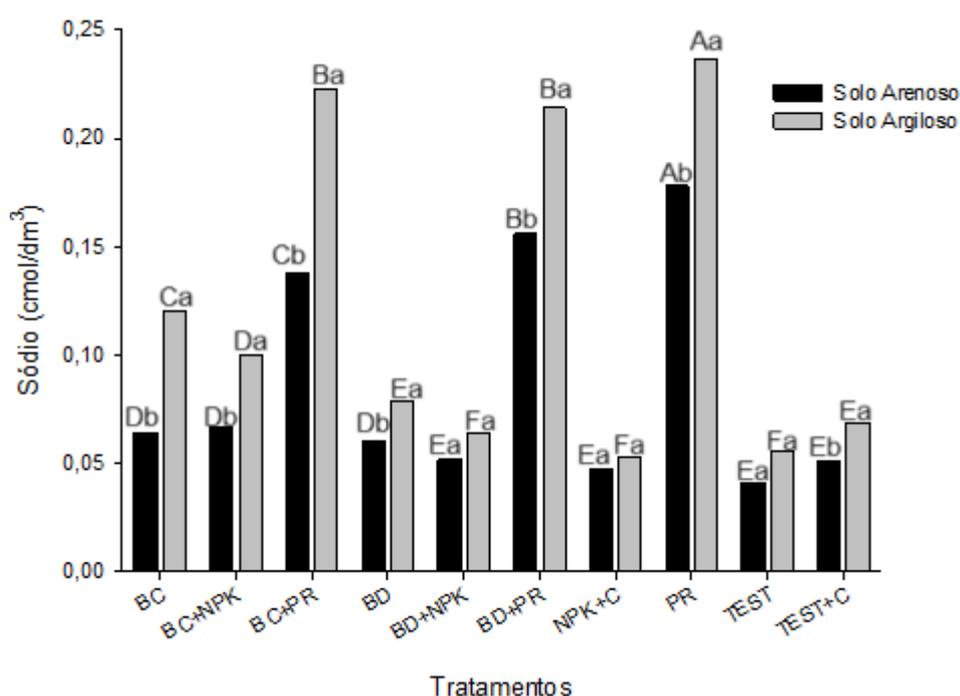


Figura 8: Valores médios para sódio do solo sob diferentes tratamentos e solos para o experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem

Fonte: autora.

Já para o sódio no experimento 2, todos os tratamentos que envolviam PR novamente apresentaram maiores valores que a testemunha. Para o solo argiloso, PR apresentou 4,2% maior que a testemunha, seguido de BC+PR 3,9% e BD+PR 3,7%. Para o solo arenoso, o maior desempenho foi de PR com 4,3% acima de sua testemunha, seguindo de BD+PR (3,8%) e BC+PR (3,3%).

Para o cálcio, os maiores valores no experimento 1 em solo argiloso foram observados nos tratamentos que tiveram calagem, sendo o NPK+C e a Test+c, enquanto que para o solo arenoso, os tratamentos de BD+NPK e BD+PR foram os maiores. Em ambos os solos, o menor valor se encontrou na testemunha (Figura 9).

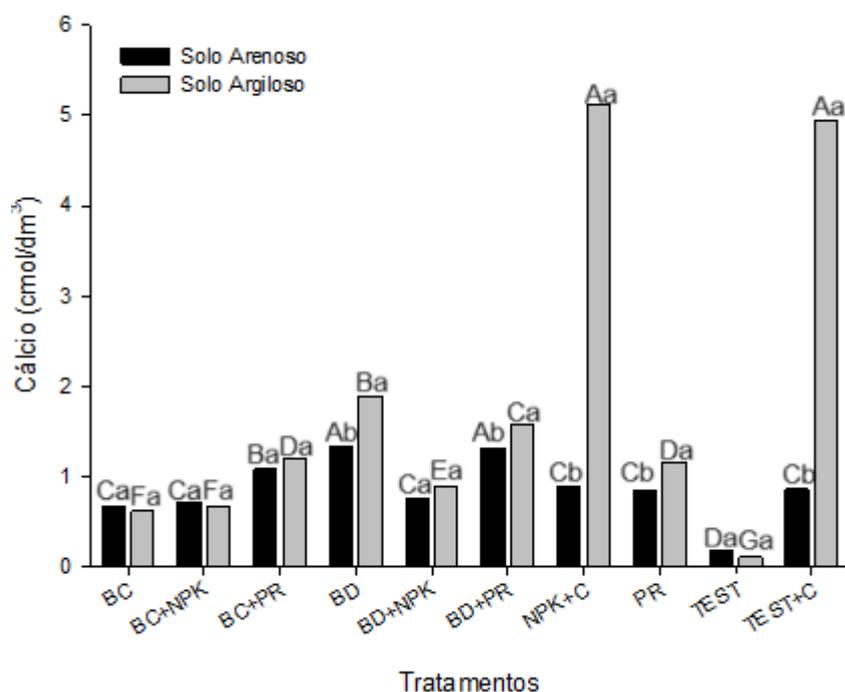


Figura 9: Valores médios de Ca do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

A quantidade de Ca no solo foi maior em todos os tratamentos em relação a testemunha, sendo verificados aumentos em solo argiloso de NPK (512%), seguido de BD (180%), BD+PR (157%) e PR (115%). Para o solo arenoso, o tratamento BD foi o mais significativo, com 134% a mais de Ca, seguido de BD+PR com 131% e

BC+PR (108%), enquanto BC sozinho aumentou somente 65%; mostrando maior eficiência acompanhado de pó de rocha (Figura 9).

Para o experimento 2 o cálcio, no solo argiloso, os tratamentos de NPK+C e test+C apresentaram maiores valores. Enquanto que para o arenoso, os tratamentos com BD, BD+PR, BC+PR e test+C apresentaram os maiores valores. Em ambos os solos, o menor valor de cálcio se encontra na testemunha sem calagem (Figura 10).

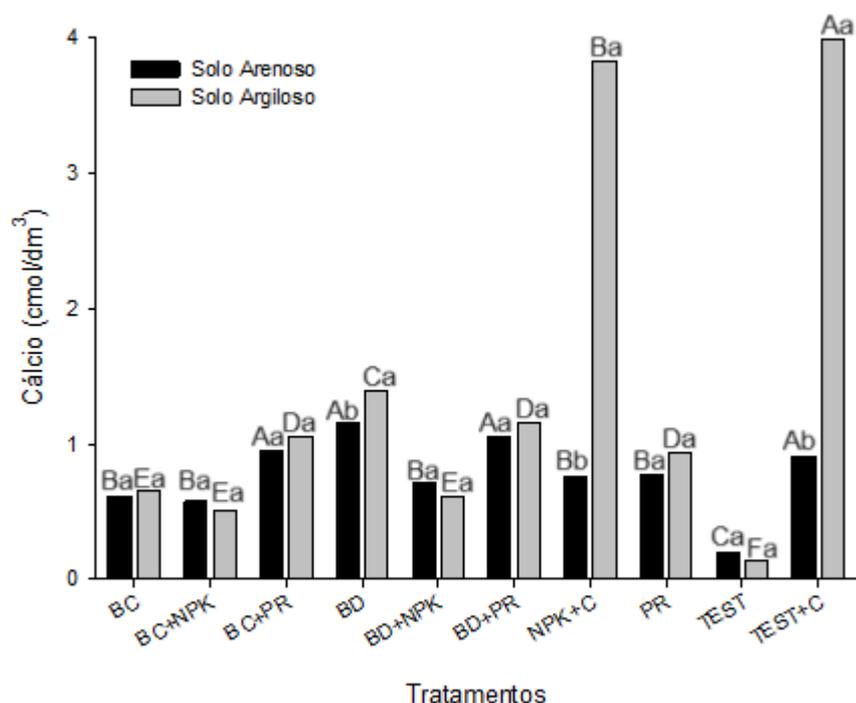


Figura 10: Valores médios para cálcio sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Assim como no experimento 1, para o experimento 2 a quantidade de Ca no solo foi maior em todos os tratamentos em relação a testemunha, sendo verificado aumento em solo argiloso de: Testemunha + Calagem (295%), seguida de NPK + Calagem (270%), BD (98,5%). Para o arenoso, assim como no experimento 1, o BD foi o mais significativo com 58,7% a mais, seguido de BD+PR com 53,6% e BC+PR (48,6%).

No experimento 1 para o magnésio, em solo arenoso, o maior valor foi encontrado no tratamento de BD, seguido das misturas de BC+PR e BD+PR, e os menores valores nas testemunhas e NPK+calagem. Para o solo argiloso, os tratamentos de BD e BD+PR resultaram nos maiores valores, seguido de BC+PR e os menores valores nos tratamentos com NPK+calagem e nas testemunhas (Figura 11). Entre os solos, de maneira geral, o argiloso apresentou maiores valores (Figura 11)

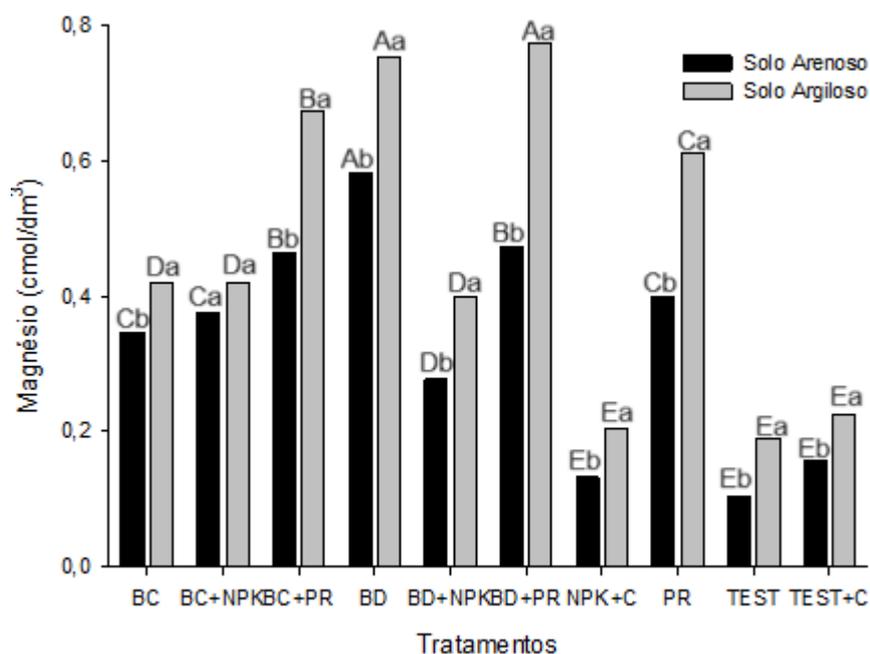


Figura 11: Valores médios de magnésio do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

A maior concentração de Mg, em solo argiloso, foi encontrada na mistura BD+PR, sendo 4,5% maior que a testemunha, seguido de BD (3,9%), BC+PR (3,5%) e PR (3,2%). Para o solo arenoso o padrão foi parecido, sendo BD com maior

proporção (5,8%) em relação a testemunha, seguido de BD+PR (4,7%) e BC+PR (4,6%) (Figura 11).

Os maiores valores de Mg, os tratamentos com BC+PR, BD e BD+PR apresentaram os maiores valores em ambos os solos no experimento 2. E os menores valores foram encontrados para NPK+C, testemunha e tesatemunha+C para ambos os solos (Figura 12). Entre os solos, quando foram verificadas diferenças, o solo argiloso apresentou maiores valores de Ca (Figura 10) e Mg (Figura 12).

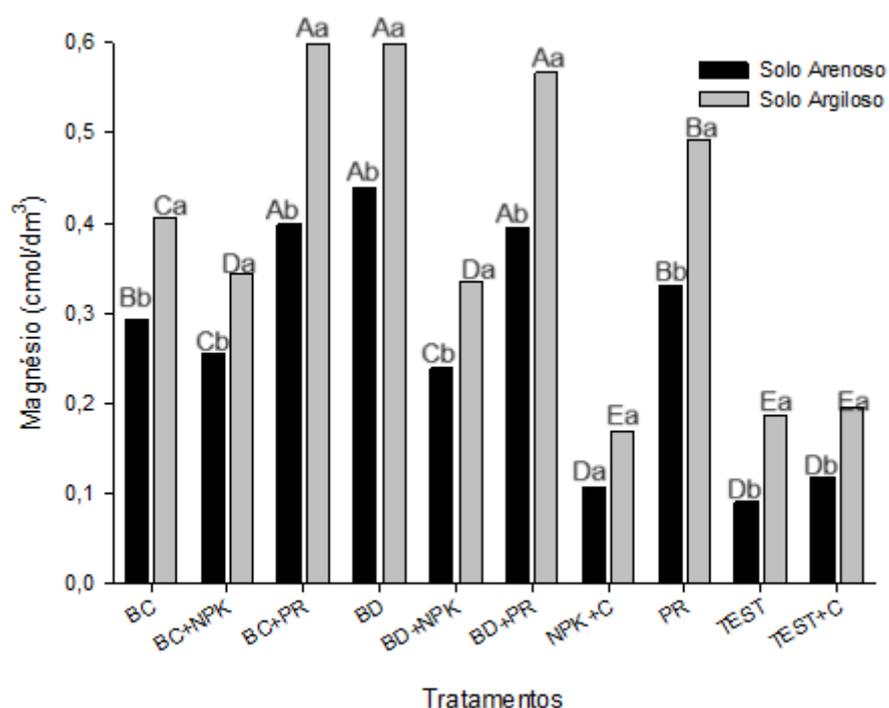


Figura 12: Valores médios para magnésio sob diferentes tratamentos e solos em experimento 2. Legenda: BC: biocavão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

A maior concentração de Mg em solo argiloso ficou entre BC+PR e BD (ambos com 3,2% maior que a testemunha) seguido de BD+PR (3%). Para o solo arenoso, o tratamento de BD se mostrou o maior com 4,8% a mais que a testemunha, seguido de BC+PR (4,4%) e BD+PR (4,3%).

No experimento 1, os maiores valores de alumínio se encontraram na testemunha para o solo argiloso e o menor valor na testemunha com calagem, enquanto que para o solo arenoso, foram verificados maiores valores nos tratamentos PR, testemunha, testemunha mais calagem e NPK+calagem, e o menor encontrado no tratamento de BD (Figura 13). Entre os tipos de solos, destaca-se que os teores de Al foram maiores no solo argiloso, exceto par aos tratamentos que receberam calagem, onde no solo arenoso verificaram-se maiores valores de Al (Figura 13).

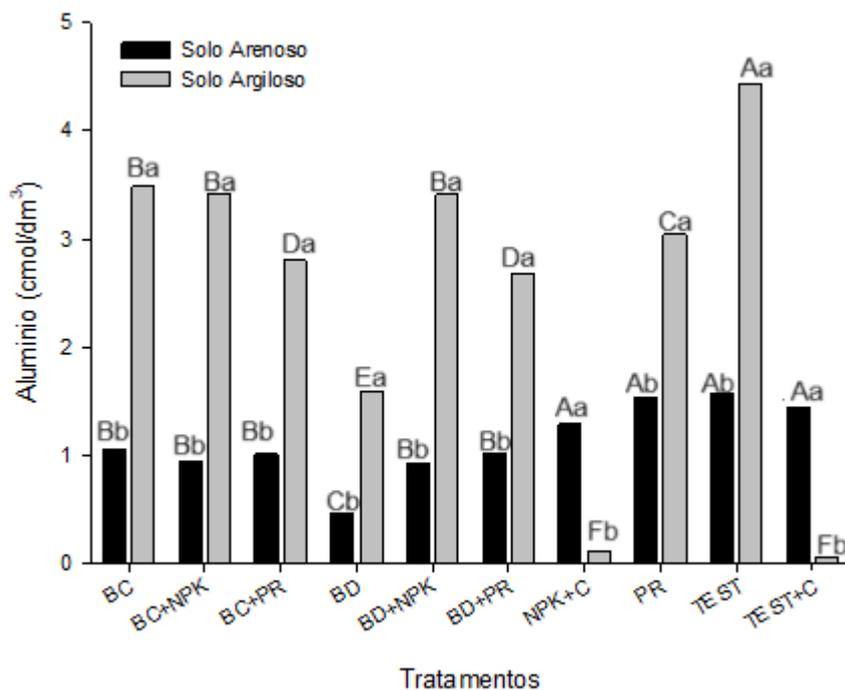


Figura 13: Valores médios de alumínio do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para o experimento 2 o alumínio, os maiores valores foram evidenciados na testemunha sem calagem para ambos os solos. No solo argiloso, os tratamentos com calagem apresentaram os menores valores, porem para o solo arenoso, enquanto que

para o solo arenoso, os menores valores foram evidenciados para BD, BD+PR e BC+PR (Figura 14). Com exceção dos tratamentos com calagem, todos os demais apresentam maiores concentrações de Al no solo argiloso.

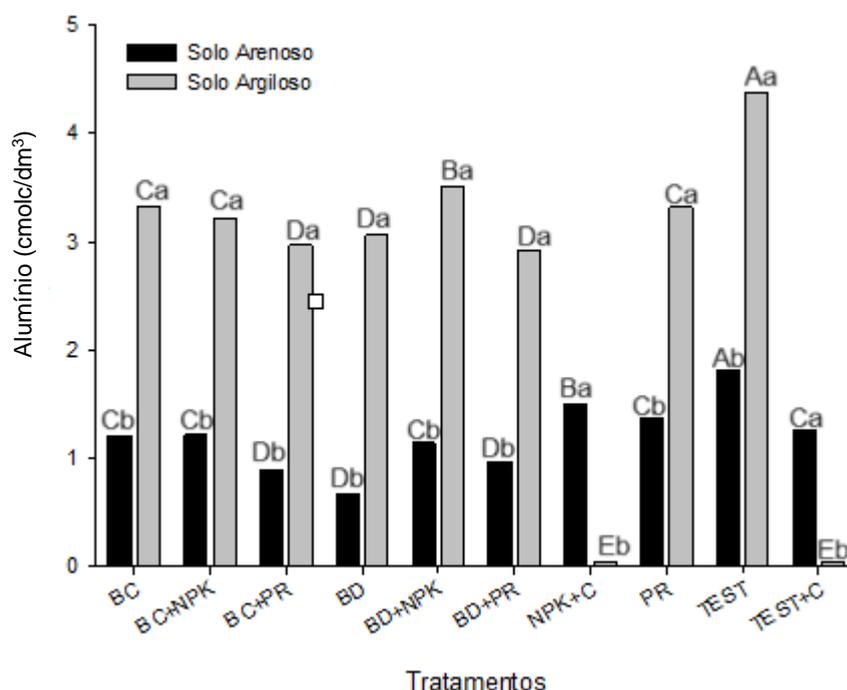


Figura 14: Valores médios para alumínio sob diferentes tratamentos e solos em experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

O experimento 1 mostrou que o tratamento que apresentou maior valor de H+Al no solo argiloso foi a testemunha, seguido pelo BD+NPK. E os menores valores foram evidenciados nos tratamentos que receberam calagem. Para o solo arenoso, os tratamentos que receberam calagem apresentaram maiores valores de H+Al (Figura 15).

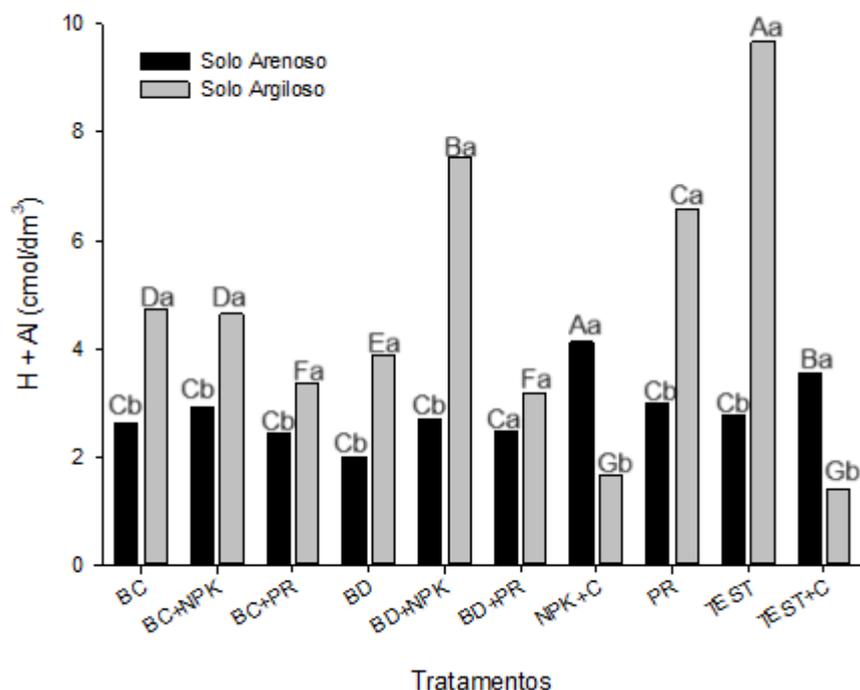


Figura 15: Valores médios de acidez potencial do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para acidez potencial (H+Al), os menores valores foram evidenciados no test+C em solo argiloso com 85% menor que a Testemunha e os tratamentos com BC, BD e misturas tiveram valores estatisticamente parecidos, estando abaixo da testemunha, diminuindo a acidez potencial do solo (Figura 15). Em contrapartida, para o solo arenoso, a maior acidez encontrada foi em NPK+C, sendo 32% maior que na testemunha, enquanto que o menor valor encontrado foi no tratamento com BD que se apresentou 51% menor que o NPK+C e 28% menor que a testemunha.

Para a análise de H+Al, os maiores valores em solo argiloso foram na testemunha, seguido pelo PR e BD+NPK, em contrapartida no solo arenoso não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. Entre os tipos de solos,

para os tratamentos com calagem, os menores valores ocorreram no solo argiloso, enquanto para os demais tratamentos, quando se verificaram diferenças, o solo arenoso apresentou menores valores (Figura 16).

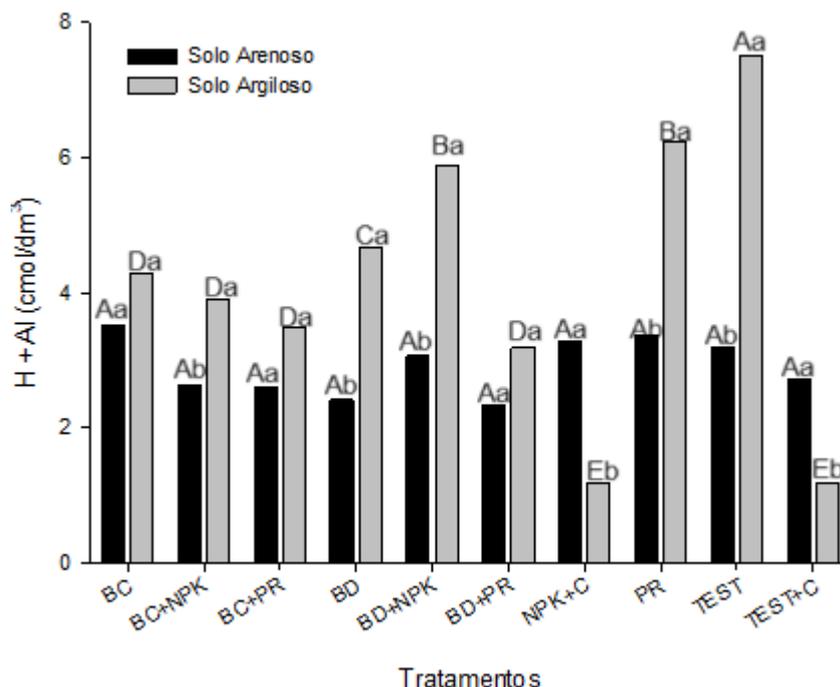


Figura 16: Valores médios para acidez potencial sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para acidez potencial (H+Al), Figura 16, o tratamento de NPK+C e test+C em solo argiloso apresentou os menores valores, enquanto que em arenoso foi o tratamento de BD, compactuando com os valores encontrados no experimento de inverno. A testemunha, no solo argiloso apresentou o maior valor, e para o arenoso foi o BC. Entre os tratamentos só com biocarvão em solo arenoso, BD apresentou saturação por Al 15% menor que a testemunha e BC 4%. Para o solo argiloso, os valores mais significativos foram do PR (8,3%) e BD+NPK (7,8%) maior que testemunha. Tocasni (2017) afirma que o pó de rocha pode diminuir a saturação por alumínio no solo através da remineralização, pois geram hidroxilas que neutralizam a

acidez do solo. Quando são transformados, liberam cátions básicos (como cálcio, magnésio e potássio que compactuam com os resultados deste estudo) e geram hidroxilas que competem com os íons de alumínio, reduzindo sua concentração e, assim, a toxicidade. Este processo também pode melhorar a CTC do solo, promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento das plantas. Porém neste estudo, a concentração mais alta de alumínio no tratamento PR em solo argiloso se dá pelo pouco tempo de experimento (53 dias), não havendo tempo o suficiente para efeitos mais significativos nesse quesito.

No experimento 1, para os níveis de saturação de alumínio, a testemunha, em ambos solos, apresentou os maiores valores, seguido, no solo arenoso pela testemunha+calagem, que é o tratamento de menor valor para o solo argiloso, junto do NPK+Calagem. O menor valor encontrado no solo arenoso é referente ao tratamento de BD (Figura 17).

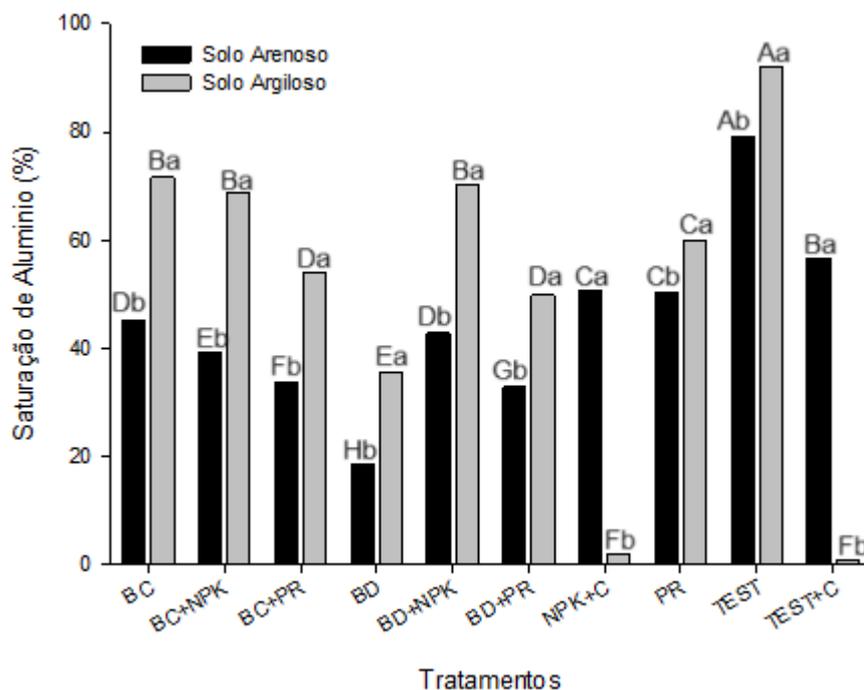


Figura 17: Valores médios de saturação por Al do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e

minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Em relação a saturação por Al (Figura 17), o tratamento de NPK+C e test+C em solo argiloso apresentou os menores valores, enquanto que em solo arenoso foi o tratamento com BD que se destacou com os menores valores. A testemunha, tanto em solo argiloso quanto arenoso, apresentou os maiores valores de saturação por Al. Entre os tratamentos, somente o BD no solo arenoso apresentou saturação por Al 60% menor que a testemunha e somente o BC, a redução foi de 33%; enquanto as misturas de BC+NPK e BD+NPK também proporcionaram saturação próxima a 60% em comparação a testemunha. O restante dos tratamentos com as misturas apresentaram valores de saturação superior a esses tratamentos. Para o solo argiloso, o tratamento com BD apresentou 63% menor que a testemunha e BC 22%, sendo menor que BC+PR que apresentou 36%, semelhante a BD+PR com 41%. Esses resultados evidenciam a importância do biocarvão sozinho ou em conjunto ao pó de rocha para diminuir os teores de Al tóxicos no solo.

Resultados semelhantes foram relatados nos estudos de Qian et al. (2013) em que a adição de biocarvão de dejetos bovinos, em solo com cultivar de trigo, diminuiu a quantidade de Al tóxico para as plantas.

A maior porcentagem de saturação de Al no experimento 2, em ambos solos, foi encontrada na testemunha. Já os menores valores de saturação por Al ocorreram nos tratamentos com calagem para o solo argiloso. Enquanto para o arenoso, os menores valores foram encontrados no BD, seguido dos tratamentos com biochar + pó de rocha (Figura 18). Entre os tipos de solos, com exceção daqueles que tiveram calagem, o argiloso apresentou maiores valores de saturação por Al.

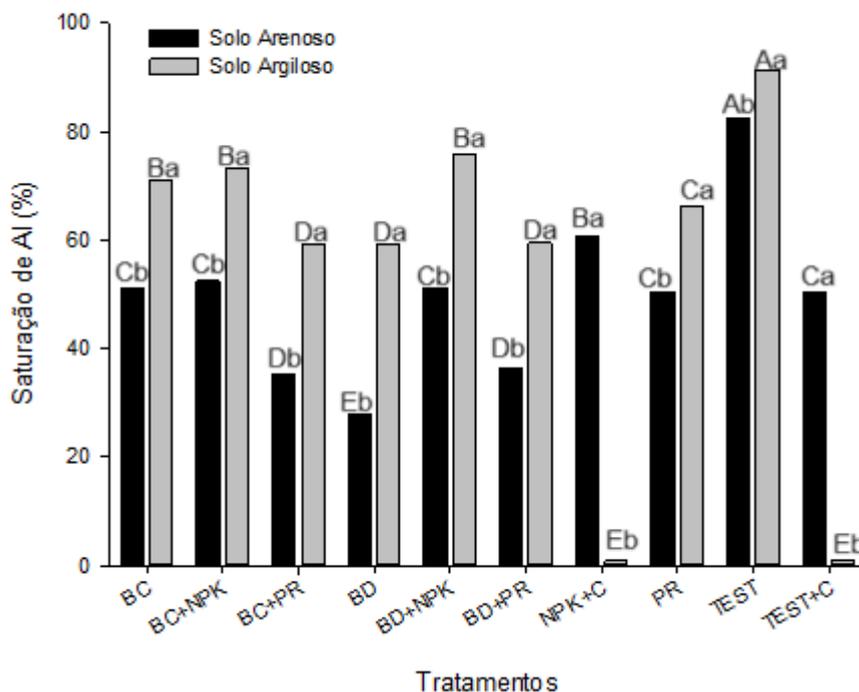


Figura 18: Valores médios para saturação por Al sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Em relação a saturação por Al, o tratamento de NPK+C e test+C em solo argiloso apresentou os menores valores, enquanto que no solo arenoso foi o tratamento com BD que se destacou com menores valores (Figura 18). Esses resultados compactuam com os valores encontrados no experimento de inverno. A testemunha, tanto em solo argiloso quanto arenoso apresentou o maior valor. Entre os tratamentos com biocarvão em solo arenoso, BD+NPK apresentou saturação por Al 37% menor que a testemunha e BC e BC+NPK, 33% menor. Para o solo argiloso, os tratamentos com BD+NPK e PR reduziram em 33% e 24%, respectivamente, a saturação por Al em relação a testemunha.

No experimento 1, os maiores valores de saturação por bases dos solos se encontraram nos tratamentos com calagem no solo argiloso, sendo eles o NPK+C e

o Test+C, e o menor na testemunha. Para o solo arenoso o maior valor foi no tratamento de BD e o menor, assim como o argiloso, na testemunha (Figura 19).

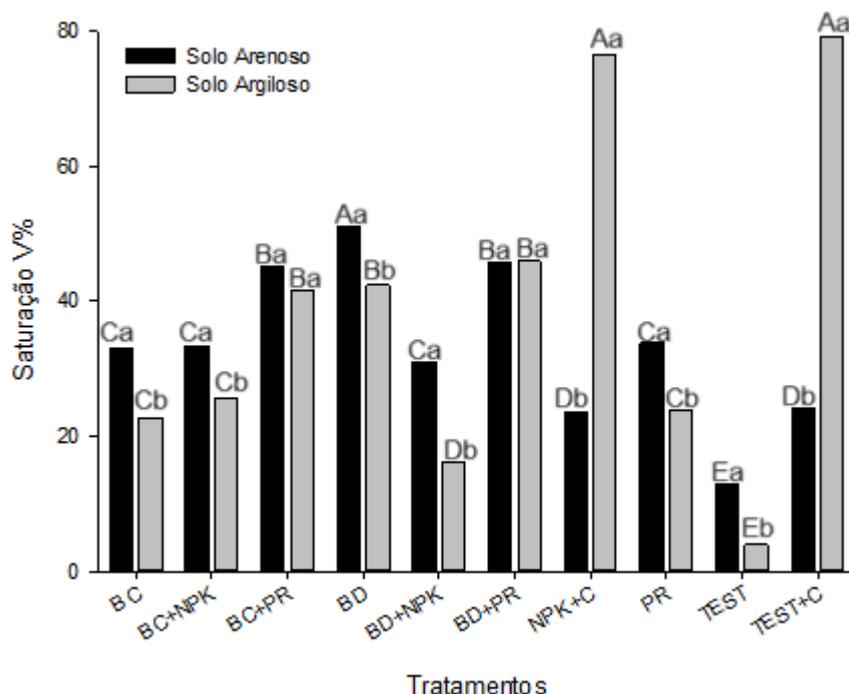


Figura 19: Valores médios de saturação por bases do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem. Fonte: autora.

Para saturação por bases (V%), o NPK+C em solo argiloso apresentou valor 19,7% maior que a testemunha, estando ainda abaixo da testemunha com calagem (20% acima da testemunha) mas acima dos biochars com adição de pó de rocha, esses últimos com uma média de 11,2% maiores que a testemunha (Figura 19). Para o solo arenoso, o BD apresentou o maior valor, sendo 3,9% maior que a testemunha, seguido do BD+PR e BC+PR, com média 3,5% acima. A maior saturação por bases nos solos só com biocarvão (BC e BD) deve-se possivelmente à adição de nutrientes

através do biocarvão (Ca e Mg) e à maior CTC potencial causada pela adição do pó de rocha.

Em relação ao experimento 2, a porcentagem de saturação por bases, em solo arenoso, os maiores valores foram encontrados em BD, BD+PR e BC+PR, enquanto que para o argiloso, os tratamentos com calagem (NPK+C e na test+C) apresentaram maiores valores. Os menores valores, em ambos os solos, foram verificados na testemunha sem calagem (Figura 20).

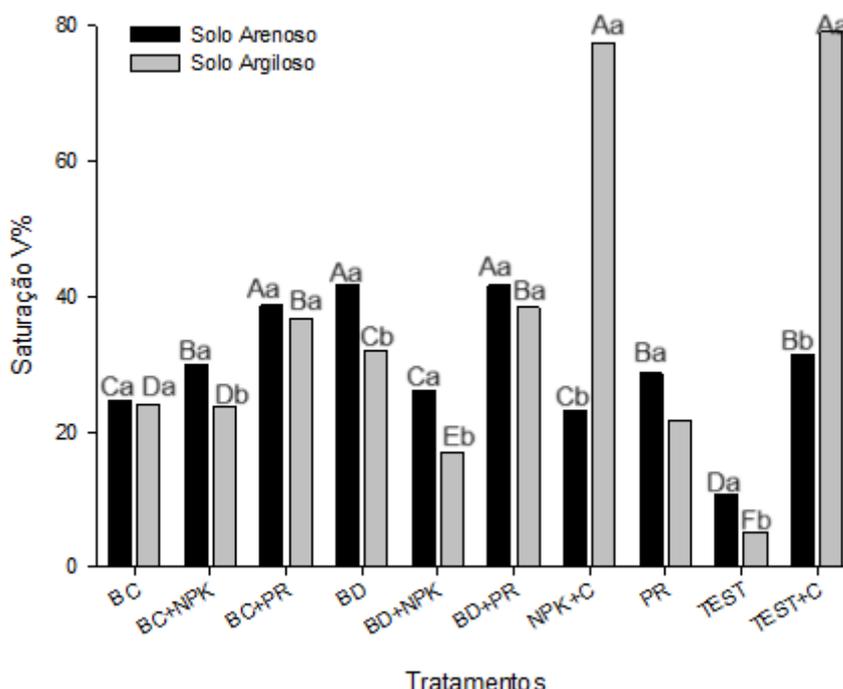


Figura 20: Valores médios para saturação por bases sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para saturação por base (V%) no experimento 2, o NPK+C em solo argiloso novamente se sobressaiu, apresentando valor 14,8% maior que a testemunha, porém o grau de saturação maior foi evidenciado na testemunha+calagem, com 15% maior que a testemunha sem calagem, seguido de BD+PR e BC+PR em solo argiloso. Já no arenoso, as maiores porcentagens se encontram com BD+PR (3,8% acima da

testemunha), BD (3,8%) e BC+PR (3,6%). A maior saturação por bases nos solos só com biocarvão (BC e BD) deve-se possivelmente à adição de nutrientes através do biocarvão (Ca e Mg) e à maior CTC potencial causada pela adição do pó de rocha.

Os maiores valores de saturação por bases nos tratamentos com biocarvão são dependentes da quantidade de substrato adicionado, sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos com biochar de dejetos e biochar de dejetos com pó de rocha. Porém no solo argiloso ainda se mantiveram cerca de 20% abaixo do V% apresentado no tratamento NPK com calagem. Esse aumento da saturação por bases é devida a adição de nutrientes, tais como o Ca e Mg e a redução da saturação por Al, corroborando com os trabalhos de Glaser *et al.* (2002) e Schulz e Glaser, (2012), que utilizaram o biocarvão em solos para fins de uso agronômico.

No experimento 1 A maior CTC em pH 7 foi evidenciada nos tratamentos testemunha, seguida de PR e BD+NPK em solo argiloso; para o arenoso, os maiores valores foram para NPK+C, BC+NPK, BC+PR, PR, BD+PR, BD+NPK (Figura 21).

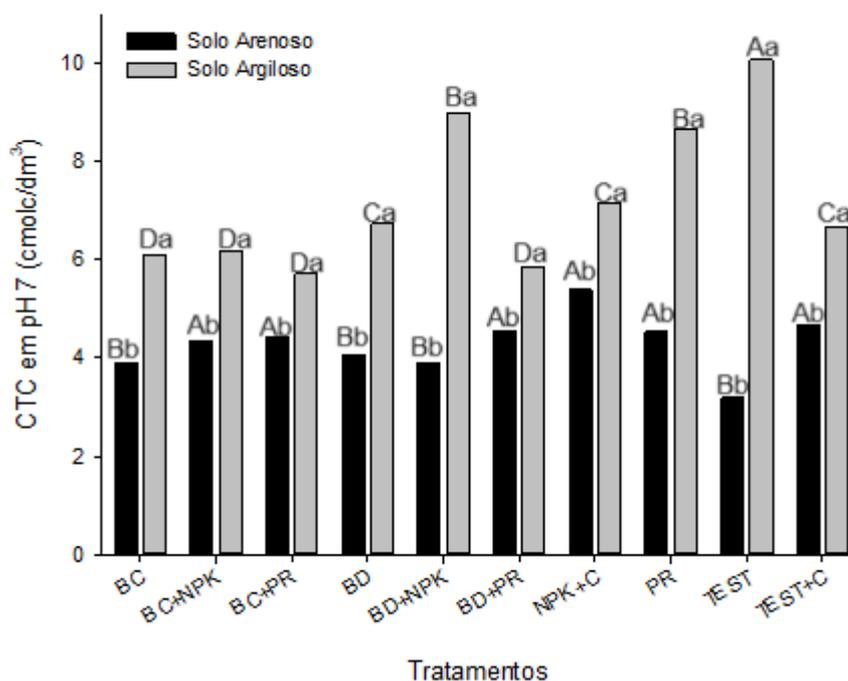


Figura 21: Valores médios de CTC do solo em pH 7 cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
 Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de

cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para a CTC em pH7,0, os maiores valores foram observados para os tratamentos com BD e NPK em solo arenoso e na testemunha e NPK+C e pó de rocha em solo argiloso (Figura 21). Estes resultados indicam que o aumento da CTC, no caso dos biocarvões, é devido à alta ASE dos biocarvões, assim como a presença de grupos carboxilas e fenólicos na sua superfície, corroborando com os resultados encontrados por outros autores, sendo que uma das principais características da aplicação do biocarvão no solo (principalmente solos de baixa fertilidade) para uso agrônômico é o aumento da CTC (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002; Marcelino, 2020). E para o pó de rocha, especialmente o pó de basalto, pode aumentar a CTC do solo através de vários mecanismos, como por exemplo por liberação de minerais, pois como é rico em minerais essenciais para as plantas como Ca e Mg, esses minerais são gradualmente liberados conforme o pó se decompõe, aumentando a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas. Este processo não só fornece nutrientes diretamente, mas também melhora a estrutura do solo, tornando-o mais capaz de reter e trocar cátions (ALOVISI et al., 2021).

A maior CTC em pH 7 foi observada no experimento 2 são nos tratamentos de PR e a testemunha, seguida de BD e BD+NPK em solo argiloso. Para o solo arenoso, os tratamentos não diferiram entre si. Entre os tipos de solos, o argiloso apresentou os maiores valores de CTC para todos os tratamentos (Figura 22).

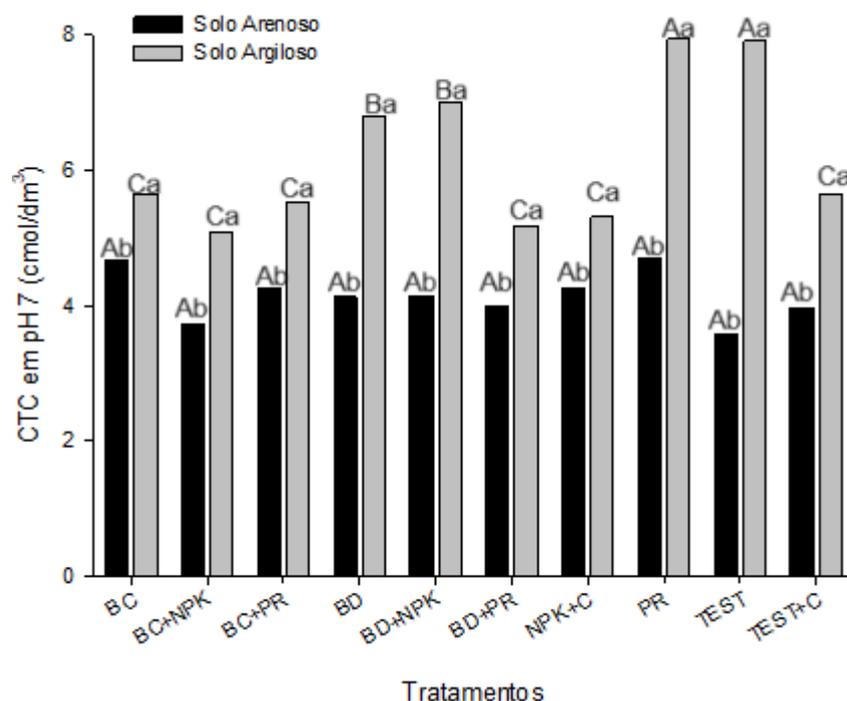


Figura 22: Valores médios para CTC sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para a CTC em pH7,0, os maiores valores foram observados para os tratamentos com BC e PR em solo arenoso e na Testemunha e PR em solo argiloso; seguido dos tratamentos com biocarvões. Estes resultados indicam, como mencionado anteriormente, que o aumento da CTC, no caso dos biocarvões, é devido à alta ASE dos biocarvões, e ao pó de rocha, especialmente o pó de basalto, que pode aumentar a CTC do solo através dos mecanismos também já mencionados.

Os valores médios para os micronutrientes manganês, cobre e zinco do solo cultivado com alface sob diferentes tratamentos e solos se encontram na Tabela 5. Para o manganês, os maiores valores foram em BC+NPK em solo arenoso; e PR, seguido de BD+NPK, BD e BC+PR no solo argiloso. E os menores valores para o arenoso foi no tratamento de BD+PR. Para o cobre, o maior valor em solo arenoso foi no tratamento de BD+PR e os menores valores para BC, BC+NPK e BD+NPK. Para

o solo argiloso, o maior valor foi evidenciado nos tratamentos PR e BD+PR. Para o zinco, tanto em solo arenoso quanto argiloso, se sobressaiu o BD, com maiores valores.

Tabela 5. Valores médios para Manganês, cobre e zinco no experimento 1.

	Tratamentos	Manganês (mg/dm ³)	Cobre (mg/dm ³)	Zinco (mg/dm ³)
Solo Arenoso	BC	16,46 (Ca)	0 (Ea)	6,025 (Ca)
	BC+NPK	22,21(Aa)	0 (Eb)	4,12(Da)
	BC+PR	11,365(Ea)	2,49(ca)	4,07(Da)
	BD	5,072(Ga)	0,08(Ea)	17,97(Ab)
	BD+NPK	14,337(Da)	0(Ea)	8,72(Ba)
	BD+PR	7,95(Fa)	5,29(Aa)	8,34(Ba)
	NPK+C	19,555(Ba)	1,12(Da)	8,33(Ba)
	PR	11,82(Ea)	3,43(Ba)	3,53Db)
	TEST	12,45(Ea)	0,44(Da)	3,1(Da)
	TEST+C	10,64(Ea)	0,65(Da)	8,27(Ba)
Solo Argiloso	BC	1,522 (Bb)	0,19(Ca)	3,59(Db)
	BC+NPK	1,592(Bb)	1,29(Ba)	4,062(Da)
	BC+PR	3,67(Ab)	0,9(Bb)	4,585(Ca)
	BD	3,83(Aa)	0,26(Ca)	19,72(Aa)
	BD+NPK	2,072(Bb)	0,028(Ca)	8,97(Ba)
	BD+PR	4,212(Ab)	2,8(Ab)	8,787(Ba)
	NPK+C	0,357(Bb)	0(Cb)	5,132(Cb)
	PR	4,405(Ab)	3,24 (Aa)	4,712(Ca)
	TEST	0,42(Bb)	0(Ca)	2,9(Da)
	TEST+C	0,345(Bb)	0(Ca)	5,125(Cb)

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem

Fonte: autora.

Para os micronutrientes no experimento 2, o manganês apresentou menores valores para BD para o solo arenoso. Para o cobre não foram evidenciadas diferenças entre os tratamentos. Para o zinco, tanto em solo arenoso quanto argiloso, teve sua maior quantidade no tratamento de BD e a menor na testemunha (Tabela 6). Entre os solos, de maneira geral, no argiloso há menores valores.

Tabela 6. Valores médios par a os micronutrientes Manganês, cobre e zinco no experimento 2.

	Tratamentos	Manganês (mg/dm ³)	Cobre (mg/dm ³)	Zinco (mg/dm ³)
Solo Arenoso	BC	12,76 (Aa)	0 (Aa)	4,445 (Ca)
	BC+NPK	15,146(Aa)	0(Aa)	4,012(Da)
	BC+PR	9,587(Ba)	2,298(Aa)	4,47(Ca)
	BD	4,774(Ca)	0(Aa)	16,271(Aa)
	BD+NPK	10,899(Ba)	0,529(Aa)	8,234(Ba)
	BD+PR	8,936(Ba)	5,593(Aa)	8,39(Ba)
	NPK+C	8,173(Ba)	0(Aa)	3,558(Da)
	PR	14,62(Aa)	3,537(Aa)	4,991(Ca)
	TEST	15,78(Aa)	0(Aa)	2,418(Ea)
	TEST+C	14,449(Aa)	0(Aa)	3,733(Da)
Solo Argiloso	BC	3,097(Ab)	0(Aa)	1,779(Cb)
	BC+NPK	1,26(Bb)	0(Aa)	2,089(Cb)
	BC+PR	2,895(Ab)	0(Ab)	2,017(Cb)
	BD	2,243(Ab)	0(Aa)	10,146(Ab)
	BD+NPK	1,356(Bb)	0(Ab)	4,972(Bb)
	BD+PR	3,26(Ab)	0,02(Ab)	4,84(Bb)
	NPK+C	0,146(Bb)	0(Aa)	1,796(Cb)
	PR	3,126(Ab)	0,304(Ab)	1,785(Cb)
	TEST	0,315(Bb)	0(Aa)	1,63(Ca)
	TEST+C	0,148(Bb)	0(Aa)	2,113(Cb)

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas para os tratamentos e minúsculas para os solos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Os teores de Cu no solo, em ambos os solos, foram maiores nos tratamentos com PR, sendo BD+PR em solo arenoso 120% maior que a testemunha, e em solo argiloso 63% maior que a testemunha (Tabela 5). Segundo ALOVISI et al. (2021), a rocha ígnea geralmente contém baixos níveis de cobre e é mais conhecida por seu conteúdo em minerais como cálcio, magnésio, e ferro, o que sugere que os maiores teores de Cu nos tratamentos com BD são oriundos dos dejetos suínos, uma vez que há altos valores de Cu nos dejetos de suínos, como consta na Tabela 3.

Os teores de Zn foram maiores nos tratamentos com BD em ambos os solos, sendo 5,7% superior a testemunha em solo arenoso e 6,8% em solo argiloso (Tabela 5). Os valores de cobre e zinco ficaram abaixo dos valores de referência da Resolução CONAMA (2009), que dispõe sobre critérios e valores orientativos da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, portanto mesmo o biocarvão apresentando altas concentrações de Cu e Zn (MARCELINO, 2020), isto não causou aumento no solo em doses que poderiam ser prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, indicando que os biocarvões podem ser usados para melhorar a fertilidade do solo, sem aumentar os teores de Cu e Zn. Alguns biocarvões são inclusive usados para fins de mobilização de metais pesados no solo, como o Zn e Cu (MÉNDEZ *et al.*, 2012, UCHIMIYA *et al.*, 2010).

Os teores de Cu no solo no experimento 2, como podemos notar na tabela 6, mais uma vez responderam significativamente para o pó de rocha, porém desta vez mais expressivo em solo arenoso. BD+PR em solo arenoso foram 529% maiores que a testemunha, e em solo argiloso só foi expressivo no tratamento PR com 300% acima da testemunha.

Os teores de Zn foram maiores nos tratamentos com BD em ambos os solos, estando acima 6,7% do que a testemunha em solo arenoso e 6,2% em solo argiloso, expressando-se melhor em solo arenoso e com os biocarvões.

4.4 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS EM AMBOS OS EXPERIMENTOS

Para o experimento 1 sobre o número de folhas, as plantas com tratamento de NPK+C seguido de BD+NPK, em solo argiloso, apresentaram o melhor desenvolvimento. Enquanto que para o solo arenoso, o maior número de folhas foi observado no tratamento de BD, seguido dos tratamentos com as misturas de biochar com NPK e biochar com pó de rocha (Figura 23). Os menores números de folhas de alface foram observados nos tratamentos PR e testemunha para ambos os solos. De maneira geral, o solo arenoso apresentou melhor desenvolvimento em comparação ao argiloso, exceto para NPK+calagem.

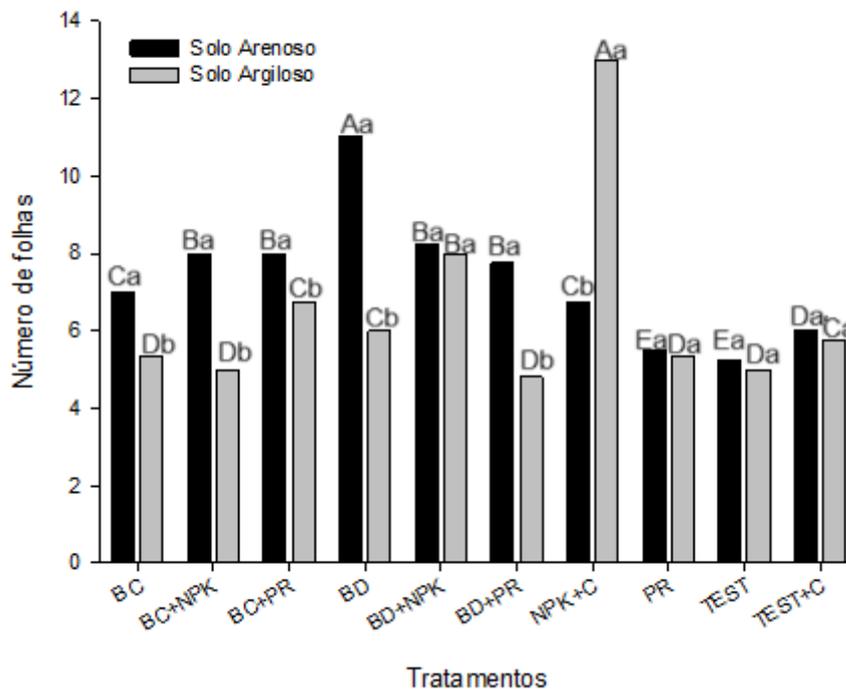


Figura 23: Valores médios para o número de folhas de alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem

Fonte: autora.

As plantas aparentemente não se desenvolveram tão bem como esperava-se em ambos os experimentos. Este comportamento, em primeiro momento, não se deve aos tratamentos propriamente dito, mas possivelmente às condições da casa de vegetação (pouca luminosidade devido problemas na cobertura plástica) e das sementes (baixo vigor). No período do primeiro experimento, algumas plantas estiolaram, mas ainda assim é possível observar pelos resultados que as plantas com BD, BC, BC+NPK e BC+PR, em solo arenoso, foram as que apresentaram melhor desenvolvimento, tanto em comprimento da maior e menor folha e quantidade de massa fresca, com destaque para o tratamento com BD, tendo 52,2% a mais o seu número de folhas em comparação com a testemunha. O mesmo se segue para o

comprimento da maior folha, atingindo 82,3% maior tamanho do que em relação a testemunha.

No experimento 2 o número de folhas as plantas que estavam no tratamento de NPK+C em solo argiloso tiveram o melhor desempenho, enquanto que no arenoso foram as plantas em BD, e o menor na testemunha. Entre os solos, no arenoso tem-se melhores resultados (Figura 24).

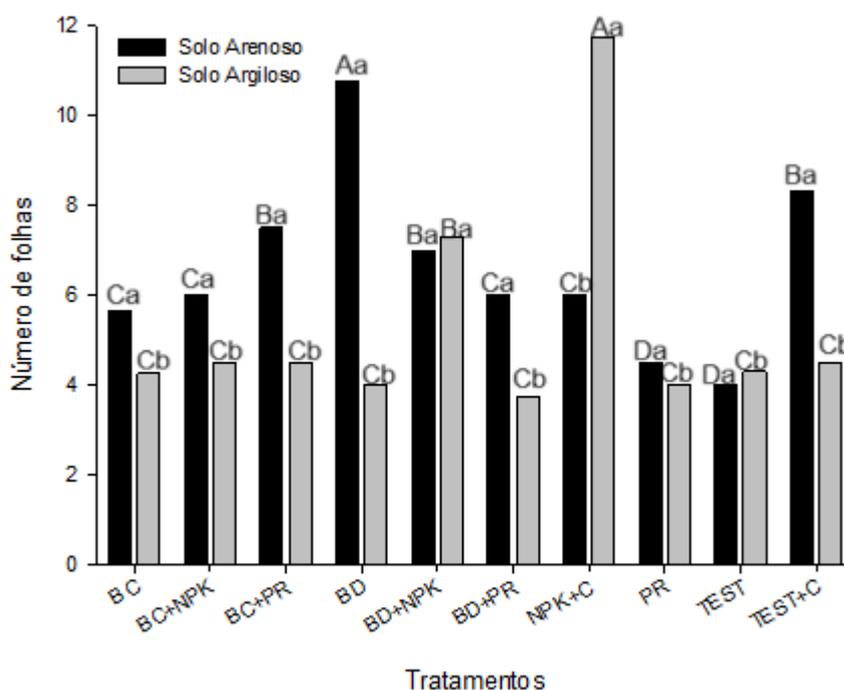


Figura 24: Valores médios para o número de folhas de alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

O número de folhas no experimento 2, em solo argiloso se sobressaiu o tratamento de NPK+C, enquanto que no arenoso, o BD teve a maior quantidade registrada. Esses resultados corroboram com os estudos de Petter (2011) que identificou maior número de folhas em cultura de alface com tratamento de biochar.

Em relação ao comprimento da maior folha, no experimento 1 em solo argiloso, os tratamentos com NPK apresentaram maiores valores, enquanto para o solo arenoso, BD, BC e BC+PR apresentaram melhores resultados. Entre os solos, os tratamentos com NPK e PR apresentaram maiores valores no argiloso. Para os demais tratamentos, o solo arenoso aparentou maior comprimento de folhas (Figura 25).

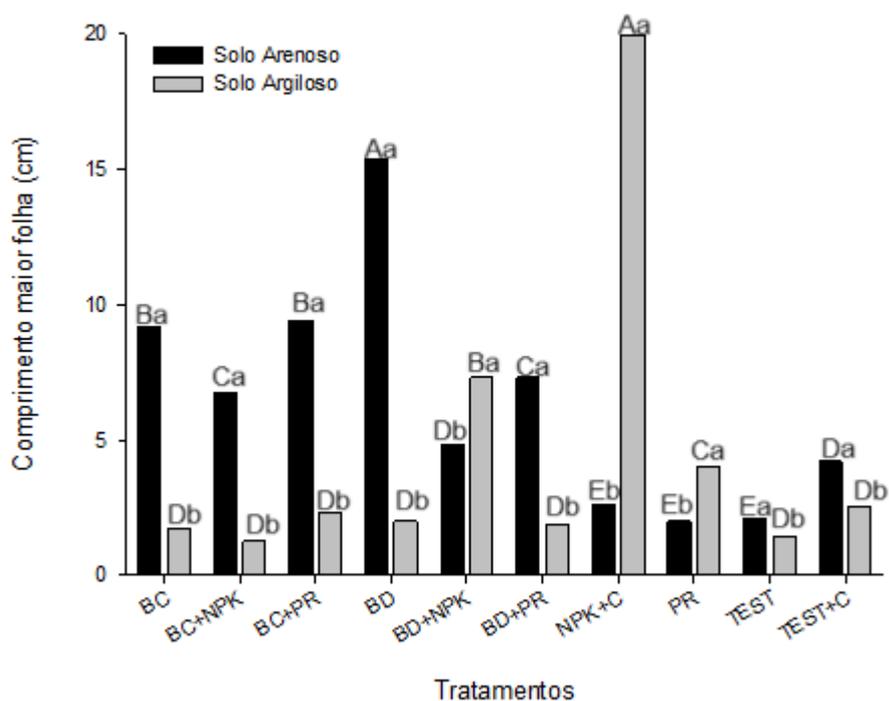


Figura 25: Valores médios para o comprimento da maior folha de alface sob diferentes tratamentos e solos em experimento 1. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

No experimento 2, o comprimento da maior folha, em solo arenoso, se mostrou no tratamento de BD, seguido por BC+PR, e o de menor em NPK+C, PR e testemunha. No solo argiloso, os melhores resultados foram para NPK+calagem e BD+NPK (Figura 26).

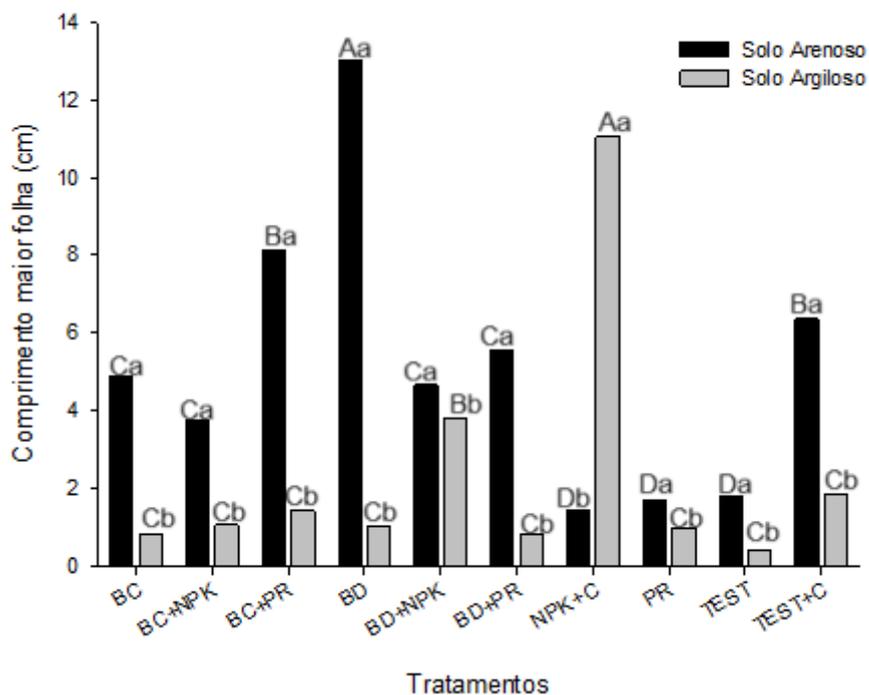


Figura 26: Valores médios para o comprimento da maior folha de alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Para os tamanhos das folhas (em cm) verificou-se uma grande diferença entre os dois solos, sendo que o arenoso se mostrou muito significativo para todos os tratamentos com biocarvões, em especial o de dejetos suínos, enquanto que em solo argiloso, novamente o único que teve magnitude foi o tratamento de NPK+C, para o maior comprimento das folhas. Demonstrando em números, em solo argiloso o BD se sobressaiu 60% maior em relação a testemunha em relação ao número de folhas, 86% em relação ao comprimento em cm da maior folha e 99,5% maior em relação a massa seca. Enquanto que o NPK+C em solo argiloso 63% em relação a testemunha em seu número de folhas, 96% quanto ao comprimento da maior folha e 99,29% massa fresca total.

A maior massa fresca total da alface foi encontrada no tratamento de NPK+C seguido de BD+NPK, em solo argiloso. Para o solo arenoso, os maiores valores de massa fresca foram evidenciados nos tratamentos como biochar sozinho (BC e BD). Entre os solos, no argiloso, os melhores resultados foram evidenciados apenas nos tratamentos com NPK+C e NPK+BD. Para o solo arenoso, os tratamentos com BC+NPK, BC, BD e BD+PR apresentaram melhores resultados em comparação ao argiloso (Figura 27).

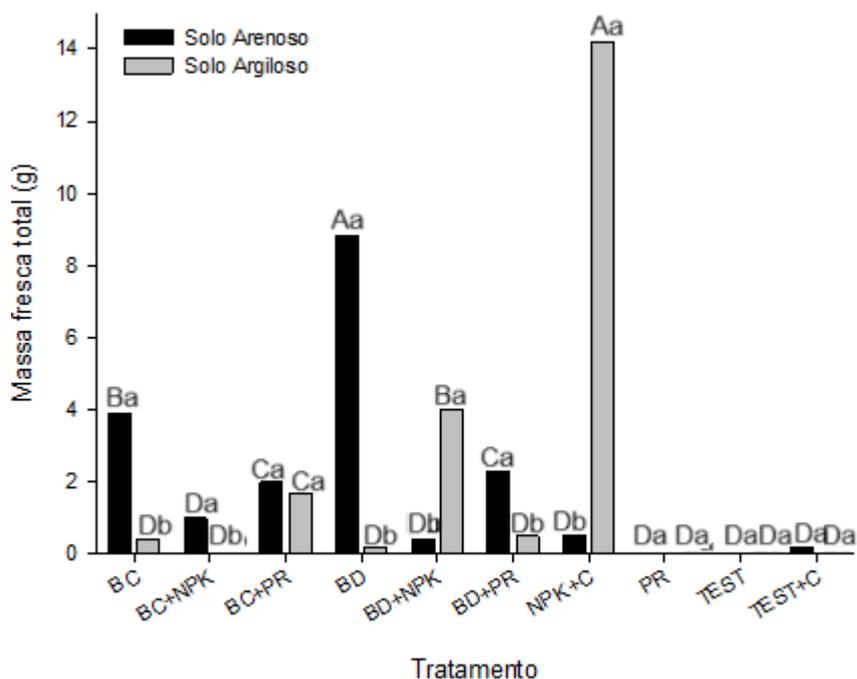


Figura 27: Valores médios para massa fresca da alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 1. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

No experimento 2 a massa fresca total das plantas, no solo argiloso, o melhor desempenho foi para o tratamento NPK+calagem. Já no arenoso, o maior valor foi observado no tratamento BD. Entre os solos, de maneira geral, o arenoso apresentou melhores resultados.

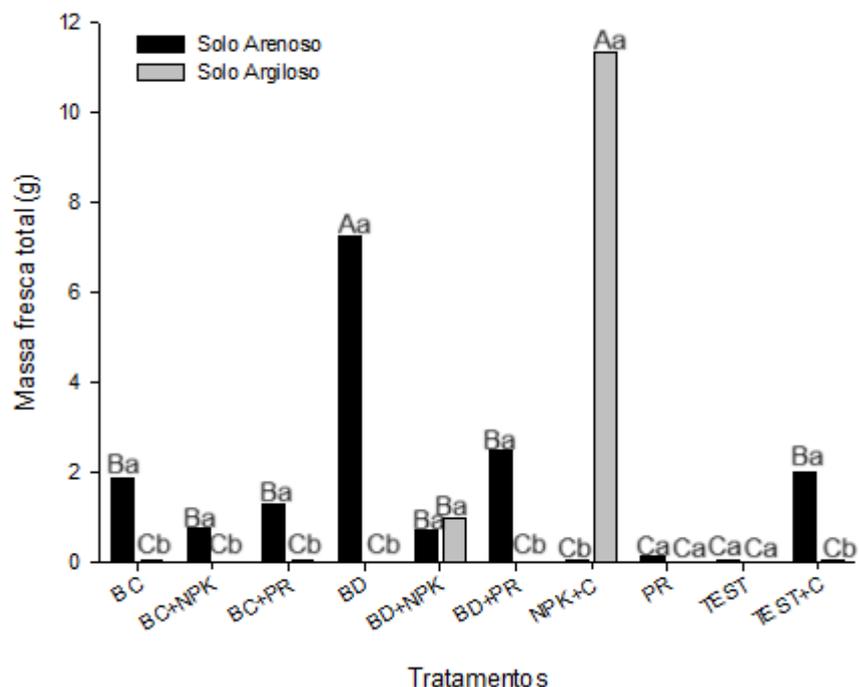


Figura 28: Valores médios para massa fresca de alface sob diferentes tratamentos e solos no experimento 2. Legenda: BC: biocarvão de cama de aviário, BC+NPK: cama de aviário mais NPK, BC+PR: biochar de cama de aviário mais pó de rocha, BD: biochar de dejetos suínos, BD+NPK: biochar de dejetos suínos mais NPK, BD+PR: biochar de dejetos suínos mais pó de rocha, NPK+C: N, P, K e calagem, PR: pó de rocha, Test: testemunha sem adubação e calagem, Test+C: testemunha mais calagem.

Fonte: autora.

Já para a massa total das plantas seguiu-se o mesmo padrão do experimento 1, em solo arenoso as plantas do tratamento de biochar de dejetos suínos foram as de maior peso, seguido dos tratamentos de biocarvões com adicional de pó de rocha; enquanto que para o solo argiloso o tratamento de NPK+C foi o mais significativo no peso das plantas.

Esses dados corroboram com os obtidos por Gomes et al. (2008), que comprovaram a viabilidade da associação do substrato alternativo à base de casca de arroz carbonizada e húmus comparado ao uso de substrato comercial na cultura da alface.

Em contrapartida, no solo argiloso, as plantas que receberam tratamento de NPK+C expressaram um desenvolvimento superior aos demais durante o decorrer

dos 73 dias. Demonstrando superioridade em 92% quanto ao comprimento da maior folha em relação a testemunha e em número de folhas 61% mais que a testemunha. Isso indica que a calagem e o NPK foram fatores determinantes para maior produção neste tipo de solo, já que em solo arenoso com os tratamentos com biocarvão e pó de rocha, em especial o BD, corroboram com os resultados de Silva (2019) que encontraram menores quantidades de folhas e peso seco em alface em aplicações com biocarvão. Este resultado indica que em solo arenoso, os biocarvões favorecem o crescimento de plantas de alface, também quando misturados com pó de rocha, sendo o biocarvão de dejetos suínos o mais sinérgico para o desenvolvimento da planta. Destaca-se que a testemunha apresentou os menores valores para massa, e comprimento da menor folha em comparação a todos os demais tratamentos e em ambos os solos (Figuras 23, 25 e 27). Isto indica que o uso de biocarvão sozinho ou combinado com o pó de rocha tem potencial para melhorar o desenvolvimento das plantas de alface em condições de baixa fertilidade natural e solo de textura arenosa; assim como diminuir consideravelmente as quantidades de fertilizantes minerais solúveis, pois os tratamentos com biocarvão também apresentaram resultados superiores aos evidenciados pelo NPK neste solo, compactuando, também, com os trabalhos de Petter (2011).

5 CONCLUSÃO

A realização dos experimentos 1 (inverno) e 2 (primavera) com a aplicação de pó de rocha e diferentes biocarvões permitiu avaliar os impactos desses tratamentos nos atributos químicos do solo e no desenvolvimento das plantas de alface, respondendo as nossas perguntas e afirmando nossos objetivos, mostrando um desempenho muito significativo para os tratamentos de biochars e pó de rocha na cultura de alface. A análise comparativa dos resultados nos dois períodos sazonais revela insights importantes sobre a eficácia e as variações dos tratamentos aplicados em diferentes condições climáticas e tipos de solo.

De maneira geral, o uso de biochar e pó de rocha aumentaram o pH do solo em relação à testemunha. No experimento 1, o tratamento com biochar de dejetos suínos (BD) aumentou significativamente os níveis de fósforo em ambos os tipos de solo nos dois experimentos. No solo arenoso, o aumento foi mais pronunciado,

indicando uma maior liberação de fósforo nesse tipo de solo. Para o K, os tratamentos contendo BC mostraram aumento significativo nos níveis de potássio em ambos os solos do experimento 1 e 2. Os níveis de cálcio e magnésio, provavelmente, foram aumentados pelos tratamentos com biocarvão, devido à alta alcalinidade e capacidade de complexação catiônica do biocarvão.

Enquanto isto nas plantas as condições climáticas distintas entre os experimentos afetaram o desenvolvimento das plantas de alface. No experimento 1, as temperaturas mais baixas e a menor umidade relativa influenciaram o crescimento de forma diferente comparado ao experimento 2, onde as temperaturas mais altas e a maior umidade relativa proporcionaram um ambiente de crescimento distinto. Em ambos os experimentos, o número de folhas, comprimento das folhas e massa seca das plantas foram medidos, indicando que os tratamentos com pó de rocha e biocarvão impactaram positivamente o desenvolvimento das alfaces, mas com variações sazonais.

Os resultados obtidos indicam que a aplicação de pó de rocha e biocarvão pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a fertilidade do solo e promover o crescimento saudável das plantas. No entanto, as variações sazonais e a composição específica do solo devem ser consideradas ao aplicar esses tratamentos. A diferença nos resultados entre os experimentos 1 e 2 sugere que as condições climáticas e o tipo de solo desempenham um papel crucial na eficácia dos tratamentos, e estudos adicionais são necessários para otimizar as práticas de aplicação para diferentes cenários agronômicos.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Para entender melhor os efeitos a longo prazo dos tratamentos com pó de rocha e biocarvão, é recomendável conduzir estudos de várias estações, monitorando continuamente os atributos químicos do solo e o desenvolvimento das plantas. Além de testar os tratamentos em diferentes culturas pode fornecer uma visão mais abrangente da eficácia dos tratamentos, além de identificar culturas que respondem melhor a essas práticas de remineralização do solo.

Outro ponto também muito importante é realizar uma análise custo-benefício dos tratamentos para determinar a viabilidade econômica para os agricultores, considerando os custos de aplicação e os ganhos potenciais em produtividade.

Em suma, a pesquisa demonstrou que o uso de pó de rocha e biocarvão tem um potencial significativo para melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade agrícola de forma ecológica e sustentável, embora seja essencial ajustar as práticas de manejo às condições específicas de cada local e período do ano.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, V.R. 1936. Nachhaltung wirksamer forstdüngungsversuch. **Forstarchiv**, 13:158-162pp.
- ANDRADE, J. E.; PAN, S. S.; SANTOS, C. A.; MELO, K. C. A indústria de fertilizantes.
- AUGUSTO, J.; DE SENA, J. O. A.; HATA, F. T.; DA CUNHA, F. A. D.; CAMPOS, T. A. Produção de alface americana orgânica sob doses de pó de rocha basáltica, composto orgânico e microrganismos eficientes. **Agrarian**, [S. l.], v. 15, n. 55, p. e15153, 2022. DOI: 10.30612/agrarian.v15i55.15153. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/15153>. Acesso em: 9 dez. 2022.
- ALOVISI, A. M. T.; RODRIGUES, R. B.; ALOVISI, A. A.; TEBAR, M. M. .; VILLALBA, L. A.; MUGLIA, G. R. P. .; SOARES, M. S. P. .; TOKURA, L. K. .; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S. da; TOKURA, W. I.; GNING, A. .; KAI, P. M. . Use of basalt rock powder as an alternative fertilizer culture of soybean. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e33710615599, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15599. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15599>. Acesso em: 4 aug. 2024.)
- BNDES Setorial, v.1, p.93-109, jul., 1995.
- BARBOSA, V. A. A. *et al.* Comparação da contaminação de alface (*Lactuca sativa*) proveniente de dois tipos de cultivo. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, Ceará, v. 10, n. 2, p. 231-242, 2016.
- BLUM W.E.H.; HERBINGER, B.; MENTLER, A.; OTTNER, F.; POLLAK, M.; UNGER, E.; WENZEL, W.W. 1989. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. I. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. **Zeitschrift für Pflanzenernährung**, Düngung, Bodenkunde, 152: 421–425.
- BRSEEDS. Sementes Alface Grand Rapids TBR Crespa. Disponível em: <https://www.brseeds.com/floresfrutashortalias/sementes-alface-grand-rapids-tbr-crespa>. Acesso em: 04 de julho de 2024.
- CHIESA, A.; MAYORGA, I. and LEON, A. (2009). Quality of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa* L.) as affected by lettuce genotype, nitrogen fertilisation and crop season. *Adv. Hort. Sci.*, 23:143-149.
- CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84.
- DELLA VECCHIA, P.T.; KOCH, P.S.; KIKUCHI, M. Vera: Nova cultivar de alface crespa resistente ao florescimento prematuro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n.2, p. 171, julho 1999
- DETTMER, C., A.; ABREU, U., G.; GUILHERME, D., O., DETTMER, T., L.; MOL, D.; SANTOS, M., H. 2019. Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do “pó de rocha” em sistemas de produção agrícola. III ENCONTRO NACIONAL DE GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO. Naviraí – MS. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209401/1/Agricultura-inovacao-2019.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2022.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set.2006

ESCOSTEGUY, P.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutriente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.1-20. 1998.

GILLMAN, G.P. 1980. The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of highly weathered soil. **Soil Science Society of American Journal**, 44: 465-468.

GLASER, Bruno; LEHMANN, Johannes; ZECH, Wolfgang. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. **Biology and fertility of soils**, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

GLASER, Bruno; LEHR, Verena-Isabell. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. **Scientific reports**, v. 9, 2019. doi: 10.1038/s41598-019-45693-z.

GRAVES, D.; Biochar and Soil Mix in Geo-Textile Bags Offers Improved Methods To Collect and Propagate Mycorrhizal Fungal Inocula. n. June, p. 1, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Don_Graves/publication/245536059_BIOCHAR_AND_SOIL_MIX_IN_GEO-TEXTILE_BAGS_OFFERS_IMPROVED_METHODS_TO_COLLECT_AND_PROPAGATE_MYCORRHIZAL_FUNGAL_INOCULA/links/00b4951d753fbed913000000/BIOCHAR-AND-SOIL-MIX-IN-GEO-TEXTILE-BAGS-OFFERS-IMPROVED-METHODS-TO-COLLECT-AND-PROPAGATE-MYCORRHIZAL-FUNGAL-INOCULA.pdf. Acesso em 30 de novembro de 2022.

HILF, H.H. 1937. Basaltgrus-der nachhaltsdünger armer sandboden. **Forstachiv**, 13:113-116.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. **IBGE**. Coordenação de trabalho e rendimento. p.150, Rio de Janeiro: IBGE: 2011.

IBI - International Biochar Initiative. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. versão 2.1, novembro 2015.

IPPOLITO, J.A; LAIRD, D.A; BUSSCHER, W.J. Biochar to improve soil fertility. **Journal of Environmental Quality**, [s.l.], v. 41, n. 4, p. 1043-1053, 2012. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2012.0151>. Acesso em: 04 de dezembro de 2023.

JABBOROVA, Dilfuza et al. Beneficial effects of biochar application on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, root morphological traits, and physiological properties. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dilfuza-Jaborova/publication/357714203_Beneficial_effects_of_biochar_application_on_lettuce_Lactuca_sativa_L_growth_root_morphological_traits_and_physiological_properties/links/61dc5328323a2268f9962edf/Beneficial-effects-of-biochar-application-on-lettuce-Lactuca-sativa-L-growth-root-morphological-traits-and-physiological-properties.pdf. Acesso em: 4 de Agosto de 2024.

JAISWAL, A.K. (2020). Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables. **Academic Press**, pp:143-157.

JOSEPH, Stephen; LEHMANN, Johannes. **Biochar for environmental management: science and technology**. London, GB: Earthscan, 2009.

JUNIOR, J.J., et al. (2020). Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.6, n.11,p. 88440-88446, nov.2020.ISSN 2525-8761.

KIN, HS., KIM, KR., KIM, HJ. *et al.* Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. **Environ Earth Sci** **74**, 1249–1259 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4116-1>.

LABEDA, A.; RYDER, E. J.; GRUBE, R.; DOLEZALOVA, I.; KRISTKOVA, E. (2007). Lettuce (Asteraceae; *Lactuca* spp.) In: Singh, R.J. (ed.). Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Vegetable Crops. Boca Raton, **CRC Press**, Taylor and Francis Group, pp:377-472.

LEHMANN, J. A handful of carbon. *Nature*, 447, 143-144, 2007. LI., D.; HOCKADAY, W.C. MASIELLO, C.A; ALVAREZ, P.J. Earthworm avoidance of biochar can be mitigated by wetting. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 43, 2011.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. 1987. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, 60:361–370.

MÉNDEZ, A. *et al.* Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. **Chemosphere**, v. 89, n. 11, p. 1354-1359, 2012.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 42, n. 4, p. 471-476, 2012. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v42n4/a04v42n4.pdf>> Acessado em: 07 de Agosto de 2024.

METE, F., Z.; MIA, S.; DIJKSTRA, F.; ABUYUSUF, M.; HOSSAIN, A.S.M.I. Synergistic effects of biochar and NPK fertilizer on soybean yield in na alkaline soil. **PEDSPHERE**. Volume 25, Issue 5. Outubro, 2015. Pg 713-719. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30052-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30052-7)
MOURATO, J.M.F. - Efeito da aplicação de biochar de *Arundo donax* L. nas propriedades de um Arenossolo e no crescimento de plantas de alface. Lisboa: ISA, 2021, 83 p. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/23861>. Acesso em 09 de dezembro de 2022.

MULABAGAL, V.;NGOUAJIO, M.; NAIR, A.; ZHANG, Y.;GOTTUMAKKALA, A.L. and NAIR, M.G. (2010). In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. **Food Chem.**; 118:300-306.

NASTARI, P., M. A crise na Ucrânia e a dependência da importação de fertilizantes. Mercado e Negocio – **AGROANALYSIS**. Mai, 2022. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/88024/82787>. Acesso em 30 de novembro de 2022.

PHAM, M.; SCHIDEMAN, L.; SHARMA, B. K.; ZHANG, Y.; CHEN, W. T.; Effects of hydrothermal liquefaction on the fate of bioactive contaminants in manure and algal feedstocks. **Bioresource technology**, v. 149, p. 126-135, 2013.

PESSOA, H., P.; JUNIOR, R.,M. Folhosas: em destaque no cenário nacional. Revista campo e negócio. Janeiro de 2021. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/folhosas-em-destaque-no-cenario>

Nacional/#:~:text=Al%C3%A9m%20de%20seu%20protagonismo%20na,milh%C3%A3o%20de%20toneladas%20ao%20ano. Acesso em 30 de novembro de 2022.

PETTER, Fabiano A.; MADARI, Beata E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761-768, 2012.

PETTER, F.; JUNIOR, B.H; ANDRADE, F.; SCHOSSLER, T.R.; GONÇALES, L.G; MARIMON, B.S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Revista Agrarian**. ISSN:1984-2538. 2012.

QIAN, Linbo; CHEN, Baoliang; HU, Dingfei. Effective alleviation of aluminum phytotoxicity by manure-derived biochar. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 6, p. 2737-2745, 2013.

RAMOS, R., M.; ALVEZ, E., R.; LIMA, A.,F. Avaliação do desenvolvimento de alface crespa cultivar Vera: absorção de ferro e chumbo. **Revista Agropecuaria Técnica**, Areia-PB, v. 38, n. 4, p. 185-190, 2017 DOI: 10.25066/agrotec.v38i4.34399. ISSN 2525-8990.

SANTOS, R.,A. Avaliação da capacidade de troca de cátions (CTC) em pó de rocha e solo que recebeu aplicação. Piracicaba, 2020. Doi: <https://doi.org/10.11606/D.91.2020.tde-10032020-144802>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/911131/tde-10032020-144802/en.php>. Acesso em 01 de agosto de 2024.

SILVA, L.F.; MELO, E.I; GONÇALVES, P.A; Biochar de serragem de eucalipto como condicionador de substratos para produção de mudas de alface. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 5, e019005, 2019.

SILVEIRA, R.T.G. Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, UnB. Universidade de Brasília, Brasília (DF). 2016. 98p.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 410-422, 2012.

SOUSA, D., V.; GUIMARÃES, L., M.; FELIX, J., F.; KER, J., C.; SCHAEFER, C., E.; RODET, M. (23 de março de 2020). «Dynamic of the structural alteration of biochar in ancient Anthrosol over a long timescale by Raman spectroscopy». **PLOS ONE** (em inglês) (3): e0229447.

SOUZA, M.; CIRO A.; MOURA M.; ABEU R.; LANGER, J. EFICIÊNCIA DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS FOSFATADOS EM MUDAS DE EUCALIPTO **Scientia Agraria**, vol. 18, núm. 4, outubro-diciembre, 2017, pp. 80-85 Universidade Federal do Paraná Curitiba, Brasil. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99554928010>.

TRUPIANO, D., et al. The Effects of Biochar and Its Combination with Compost on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth, Soil Properties, and Soil Microbial Activity and Abundance, 2017. Academic Editor: Ibrokhim Y. Abdurakhmonov. Doi: <https://doi.org/10.1155/2017/3158207>

TEBAR, M. M. .; ALOVISI, A. M. T. .; MUGLIA, G. R. P. .; VILLALBA, L. A. .; SOARES, M. S. P. . Residual effect of basaltic rock powder on the chemical and microbiological attributes of the soil and on the nutritional status of the soybean crop . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. e375101119612, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19612. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19612>. Acesso em: 9 dec. 2022.

TAHERY, S.; MUNROE, P.; MARJO, C.; RAWAL, A.; HORVAT, J.; MOHAMMED, M.; WEBBER, B. W.; ARNS, J. ARNS, C.H.; PAN, G.; BIAN, R.; JOSEPH, S. A comparison between the characteristics of a biochar-NPK granule and a comercial NPK granule for application in the soil. **Science of The Total Environment**, V. 832, 1 agosto 2022, 1555021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155021>.

TOSCANI, R.,G.; CAMPOS, J.E. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. São Paulo, **UNESP**, Geociencias, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

UCHIMIYA, M. *et al.* Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter. **Chemosphere**, v. 80, n. 8, p. 935–940, 2010.

VAN STRAATEN, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747.

VON FRAGSTEIN, P.; PERTL, W.; VOGTMANN, H. 1988. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenern.hrung und Bodenkunde**, 151:141–146.

WANG, J.; WANG, S.; Preparation, modification and environmental application of biochar: A reviw. **Journal of Cleaner Production**. Volume 227, 1 August 2019, Pages 1002-1022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>

YUAN, J.-H.; XU, R.-K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, p. 110-115, 2011.