



Universidade Federal
de Campina Grande

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

TESE DE DOUTORADO

**BIOCARVÃO: CARACTERIZAÇÃO, USO COMO
CONDICIONADOR DE SOLO E INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DO MILHO**

JACQUELINE DA SILVA MENDES

CAMPINA GRANDE - PB

AGOSTO – 2020

JACQUELINE DA SILVA MENDES

**BIOCARVÃO: CARACTERIZAÇÃO, USO COMO
CONDICIONADOR DE SOLO E INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DO MILHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADORES: Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves

Dr. Josely Dantas Fernandes

CAMPINA GRANDE - PB

AGOSTO – 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

JACQUELINE DA SILVA MENDES

**BIOCARVÃO: CARACTERIZAÇÃO, USO COMO
CONDICIONADOR DE SOLO E INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DO MILHO**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves
Orientadora (UAEA/UFCG)

Dr. Josely Dantas Fernandes
Orientador (CCA/UEPB)

Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Examinador (UAEA/UFCG)

Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias (UAEA/UFCG)

Dr. Iede de Brito Chaves
Examinador (CCA/UFPB)

Dra. Gilvanise Alves Tito
Examinadora (UAEA/UFCG)

HOMENAGEM

A memória daqueles que partiram, meu pai Everaldo, meus avós Cicero e Hernestina e meu tio-padrinho Luis por todo exemplo de carinho, amor, dedicação e pela educação que me deram e que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

OFERECIMENTO

A minha mãe Josefa, a meus irmãos Gloriquele e Ewerton, aos meus cunhados Richardson e Júlia e a todos os meus familiares e amigos. Vocês são os meus pilares e constituem a força que eu preciso para lutar e superar todos os desafios e obstáculos impostos ao longo da minha vida.

DEDICATÓRIA

A meus filhos amados Wendell e Ana Clara e meus sobrinhos queridos Guilherme, Anajú, Gustavo (in memoriam) e Felipe que nascerá em breve e trará ainda mais luz na vida da minha família. Vocês são o meu combustível diário, a razão do meu viver e o motivo que me faz acordar todos os dias e lutar para alcançar todos os meus objetivos, pois quero ser pra vocês sempre motivo de orgulho e superação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida, por me acompanhar ao longo de minha trajetória, por ser meu fiel confidente, por me amar exatamente como eu sou, imperfeita mas buscando sempre ser uma pessoa melhor e evoluir a cada dia e por me fazer acreditar que tudo posso naquele que me fortalece.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade de realizar este curso e a todos os professores do programa pelos conhecimentos repassados, por toda contribuição ao ensino e a pesquisa e por estarem sempre dispostos a passar suas experiências e ensinamentos.

As Coordenadoras de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, professora Vera Antunes (gestão anterior) e Professora Josivanda Palmeira (gestão atual) pela competência com a qual coordenam esta Pós, e por se mostrarem sempre de braços abertos a nos atender e nos ajudar.

Aos meus orientadores Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves e Dr. Josely Dantas Fernandes, pelo tempo dedicado a orientação, pela competência, paciência, profissionalismo, dedicação, esforço e confiança, me conduzindo aos caminhos certos para a concretização deste trabalho. Muito obrigado pelos ensinamentos, atenção e amizade.

Professora Lúcia é muito mais que uma orientadora, muito mais que uma chefe, é uma amiga, é uma ouvinte, uma mãe que cuida e defende seus orientandos e como toda mãe puxa nossa orelha como ninguém rrsrs uma mulher que tenho a mais profunda admiração como pessoa e como profissional. Fica aqui o meu muito obrigada, por tudo!

Josely foi muito mais que meu orientador, foi um amigo, parceiro, companheiro de todas as horas, que pegou na minha mão e caminhou ao meu lado, em todos os momentos. Como foi maravilhoso ter lhe reencontrado após tantos anos e ter realizado esse trabalho junto contigo. Só não me chame mais pra trabalhar com as isotermas de adsorção kkk não teria chegado até aqui se não fosse por toda sua ajuda. Que Deus conserve essa sua inteligência, empatia, seu coração bom e generoso, tudo isso proporcional aos seus quase 2m de altura rrsrs Receba os agradecimentos dessa pessoa aqui tão grande no tamanho, quanto no carinho, admiração e respeito que tem por você Muito obrigada meu amigo, essa tese também é sua e o mérito também é seu!

Ao professor Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, não apenas por ter aceito o convite para participar da banca examinadora, mas também por se mostrar sempre disponível em sanar as dúvidas referentes a parte de física dos solos, por ter cedido a casa de vegetação para a condução dos experimentos e por contribuir ativamente nas correções e sugestões na elaboração dos artigos da tese.

A professora Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias por ter aceito prontamente participar da banca examinadora. Professora Sally, como todos a chamam, além de ser muito simpática é uma profissional que se destaca no âmbito acadêmico por sua empatia e por estar sempre motivando e estimulando seus alunos em seu desenvolvimento acadêmico.

Ao professor Dr. Iede de Brito Chaves, pelo qual eu tenho o mais profundo respeito e admiração. Nunca irei esquecer o quanto me ajudou nas coletas do meu trabalho de Mestrado e quanto aprendi com o senhor. Era sempre um prazer ouvir seus ensinamentos em nossas coletas e agora é um prazer tê-lo novamente em minha banca de Doutorado. Muito obrigada!

A Dra Gilvanise Alves Tito, uma amiga que nos acompanha há anos nos nossos trabalhos de pesquisa. Obrigada Gil (como carinhosamente te chamamos)! Obrigada pela amizade, pelo apoio de sempre, por sempre se mostrar disponível em ajudar e por toda contribuição.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Wilson, José Maria e Sergiana por tornarem meus dias mais leves, pelas risadas nas nossas pausas para o cafezinho, por terem me ajudado na realização de todas as análises e principalmente pela amizade, força e apoio diário.

Deixo aqui registrado minha singela homenagem ao colega de trabalho Francisco Clementino (in memorian), Doutor, como era mais conhecido em nossa instituição. Que você esteja descansado nos braços do nosso Pai

Aos amigos e também excelentes profissionais que compõe a Unidade Acadêmica e a Coordenação de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Aldaniza Moraes, Michele Feitosa, Roberto Romão. Aparecida e Gilson, pela competência, agilidade, por estarem sempre dispostos a ajudar e acima de tudo pela força e torcida para que eu concluísse minha tese.

Aos meus colegas do doutorado e todos com os quais convivi e paguei disciplinas, pelo companheirismo e pelas boas risadas que demos juntos ao longo desta caminhada. Desejo muito sucesso a cada um de vocês.

Ao Centro de Ciências Agrárias da UEPB por terem cedido a cama de aviário para produção do Biocarvão. E ao funcionário Guga por ter coletado o solo utilizado dos nossos experimentos.

Ao amigo Adilson por ter conseguido o carro para o transporte do solo de Lagoa Seca até a UFCG.

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), ao RIBERSOLO, AO CERTIBIO, ao CETENE e ao Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG, pelas análises realizadas imprescindíveis para conclusão desta pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que se participaram direta e indiretamente para a concretização deste trabalho

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO I – Introdução Geral, Objetivos e Revisão de Literatura

1. INTRODUÇÃO GERAL	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo Geral.....	20
2.2. Objetivos Específicos.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1. A cultura do milho e o Híbrido BRS 2022.....	21
3.2. Origem do Biocarvão.....	22
3.3. Potencial do Biocarvão como condicionador de solo e sua influência nas propriedades químicas do solo.....	24
3.4. Influência do Biocarvão nas propriedades físicas do solo.....	27
3.5. Crescimento e Produtividade de culturas agrônômicas em solos tratados com Biocarvão.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

CAPÍTULO II – Caracterização do biocarvão de cama de aviário e sua influência nas propriedades físico-químicas de um Argissolo

RESUMO	39
ABSTRACT	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1. Instalação e condução do experimento.....	42
2.2. Caracterização do biocarvão.....	44

2.3. Caracterização físico-química do solo incubado.....	45
2.4. Análise estatística.....	45
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.1. Caracterização do biocarvão.....	45
3.2. Caracterização química do solo incubado.....	51
3.3. Caracterização física do solo incubado.....	57
4. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

CAPÍTULO III – Disponibilidade de nutrientes do biocarvão da cama de aviário para o crescimento inicial do milho

RESUMO	71
ABSTRACT.....	71
1. INTRODUÇÃO.....	72
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
3.1. Sintomatologia visual das plantas.....	80
3.1.1. Deficiência de Nitrogênio (N)	80
3.1.2. Deficiência de Fósforo (P)	82
3.1.3. Deficiência de Potássio (K)	82
3.1.4. Deficiência de Cálcio (Ca)	83
3.1.5 Deficiência de Magnésio (Mg)	83
3.2. Avaliações das características de crescimento e produção de matéria seca.....	84
3.2.1. Omissão de Nitrogênio (N)	84
3.2.2. Omissão de Fósforo (P)	88
3.2.3. Omissão de Potássio (K)	90
3.2.4. Omissão de Cálcio e Magnésio (Ca e Mg)	92
4. CONCLUSÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

CAPÍTULO IV – Biocarvão e sua influência no desempenho agrônômico do milho híbrido BRS 2022

RESUMO	103
ABSTRACT.....	104
1. INTRODUÇÃO.....	105
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	106
2.1. Instalação do experimento.....	106
2.2. Coleta e preparação de amostras.....	106
2.3. Produção de biocarvão a partir de cama de aviário.....	108
2.4. Seleção da cultura experimental.....	108
2.5. Configuração e condução do experimento.....	109
2.6. Características avaliadas durante a condução do experimento.....	111
2.7. Análise estatística.....	111
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	111
3.1. Crescimento e produção de fitomassa do milho BRS 2022.....	111
3.2. Produção de espigas do milho híbrido BRS 2022.....	117
3.3. Nutrição mineral do milho híbrido BRS 2022.....	121
3.4. Características químicas do solo após a colheita do milho híbrido BRS 2022	126
4. CONCLUSÕES.....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

CAPÍTULO V – Considerações Finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
-----------------------------------	------------

APÊNDICES

APÊNDICES.....	146
-----------------------	------------

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1.	Análise físico-química do solo utilizado na condução do experimento.....	43
Tabela 2.	Caracterização química da cama de aviário e do biocarvão pirolisado a 350°C.....	46
Tabela 3.	Análise de variância para pH do solo, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono (C), fósforo (P), soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al), sódio (Na) e potássio (K), analisados após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão.....	52
Tabela 4.	Análise de variância para densidade aparente (DA), porosidade (PO), capacidade de campo (CC), água disponível (AD) e ponto de murcha permanente (PMP) do solo analisado após período de incubação.....	58

CAPÍTULO III

Tabela 1.	Caracterização química do biocarvão pirolisado a 350°C.....	75
Tabela 2.	Tratamentos formados pela combinação entre doses de biocarvão e solução nutritiva.....	75
Tabela 3.	Quantidade dos adubos utilizados no preparo das soluções nutritivas em função dos tratamentos.....	77
Tabela 4.	Quantidade dos nutrientes fornecidos por planta (g) em função dos tratamentos.....	78
Tabela 5.	Quadro de análise de variância para altura da planta (APL), diâmetro caulinar (DCL), número de folhas (NF), área foliar (AF), biomassa seca da planta inteira (BSPI), biomassa seca da parte aérea (BSPA), biomassa seca da raiz (BSRA) e relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz (BSPA/FSRA) em função da omissão de nutrientes e doses de biocarvão.....	84

CAPÍTULO IV

Tabela 1.	Quantitativo dos ingredientes utilizados na formulação de 100 kg de ração de frangos de corte.....	107
Tabela 2.	Composição química das rações fornecidas nas diferentes fases de desenvolvimento dos frangos de corte.....	108
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para a altura da planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), comprimento de internódios (CIN), número de internódios (NIN), fitomassa seca de colmo (FSC), fitomassa seca de folhas (FSF) e fitomassa seca total (FST) em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.....	112
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para massa da espiga (ME), massa de grãos por planta (MG), massa de 1000 grãos (M1000), comprimento (CE) e diâmetro de espigas (DE) em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.....	117
Tabela 5.	Resumo da análise de variância dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados no tecido foliar das plantas de milho BRS 2022 em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão.....	122
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico (C), acidez potencial (H+Al), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P) e potencial hidrogeniônico analisados ao término do cultivo do milho BRS 2022 adubado com diferentes doses de biocarvão.....	126

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura do biocarvão de cama de aviário pirolisado a 350°C. Imagem ampliada 250x (A), 500x (B), 1000 (C) e 2000 (D)..... 48
- Figura 2. Curva de distribuição de tamanho de poros (A), isoterma de adsorção-dessorção do N₂ a 77,3 K (B) e pH PCZ para o biocarvão de cama de aviário pirolisado a 350C (C)..... 49
- Figura 3. Padrão de difração de raios X do biocarvão de cama de aviário..... 50
- Figura 4. Valores de pH do solo, condutividade elétrica (CE), fósforo (P), potássio (K), hidrogênio (H + Al), sódio (Na), carbono (C), soma de bases (SB) após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão..... 53
- Figura 5. Capacidade de troca catiônica (A) e saturação por bases (B) em função da aplicação de doses de biocarvão. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntese correspondem às médias..... 56
- Figura 6. Valores de Densidade Aparente, Porosidade, Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e água Disponível no solo após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão..... 59
- Figura 7. Argila (A), silte (B), areia (C) e densidade real do solo (D) incubado com diferentes doses de biocarvão. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntese correspondem às médias..... 62

CAPÍTULO III

- Figura 1. Diagnose por subtração dos macronutrientes na cultura do Milho Híbrido BRS 2022 aos 37 dias após a emergência em função da aplicação das doses de biocarvão..... 81
- Figura 2. Altura da planta, número de folhas, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz em função da interação omissão de nutrientes e doses de biocarvão. Médias seguidas de mesma letra minúscula as soluções não diferem entre si dentro da mesma dose de biocarvão e médias seguidas de mesma letra maiúscula as doses de biocarvão não diferem entre si dentro da mesma solução nutritiva..... 85

Figura 3.	Diâmetro caulinar e relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz em função do efeito isolado de solução nutritiva e doses de biocarvão....	86
-----------	--	----

CAPÍTULO IV

Figura 1.	Perfil do Solo ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico utilizado na condução dos experimentos.....	107
Figura 2.	Croqui do experimento realizado com o milho BRS 2022 em função da aplicação das diferentes doses de biocarvão.....	109
Figura 3.	Gabinete com os componentes responsáveis pelo acionamento do sistema de irrigação.....	110
Figura 4.	Temperatura registrada no interior da estufa durante a condução do experimento.....	110
Figura 5.	Altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo, área foliar, comprimento de internódios e fitomassa seca dos colmos, folhas e total (colmos + folhas + espigas) por planta em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.....	113
Figura 6.	Massa da espiga, massa de grãos por planta, massa de 1000 grãos, comprimento e diâmetro de espigas em função das doses de biocarvão aplicadas no milho BRS 2022.....	118
Figura 7.	Concentração dos nutrientes analisados no tecido foliar do milho BRS 2022 em função da aplicação de diferentes doses de biocarvão. Os valores das colunas correspondem aos teores críticos dos nutrientes conforme Büll (1993), cujos valores não transformados são: 27,5; 1,9; 17,5; 2,3; 1,5 e 1,5 g kg ⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. PC é a dose mínima necessária para que haja ou não deficiência nutricional.....	123
Figura 8.	Valores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e carbono (C) após plantio do milho BRS 2020 em função da aplicação de doses de biocarvão.....	127
Figura 9.	Fração dos elementos na forma absorvida ou indisponível para a planta, concentração final e inicial no solo e no biocarvão em função das diferentes doses do biocarvão aplicado.....	130

MENDES, J. S. Biocarvão: caracterização, uso como condicionador de solo e influência no desempenho agrônômico do milho. 2020. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

RESUMO

A aplicação de biocarvão como um condicionador de solos, apesar de ser um conceito relativamente novo, tem sido proposta como uma abordagem atraente, em virtude de sua contribuição na melhoria das propriedades químicas e físicas do solo e consequentemente na melhoria da produtividade das culturas. No Brasil, um tipo de resíduo disponível é a cama de aviário o qual tem sido utilizado na fabricação do biocarvão. No entanto, os seus efeitos sobre o ambiente demandam estudos específicos, pois, o conhecimento sobre o impacto desse material sobre a qualidade e composição do solo ainda é escassa. Embora vários estudos tenham demonstrado benefícios agrônômicos importantes, outros não mostraram efeitos significativos e até mesmo mostraram efeitos adversos à aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Considerando as poucas informações a respeito de biocarvão aplicado ao solo, um estudo foi conduzido visando caracterizar o biocarvão de cama de aviário e avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses nos atributos químicos e físicos do solo e no desempenho agrônômico da cultura do milho BRS 2022. Os experimentos, conduzidos em laboratório e em casa de vegetação, foram realizados para estudar o biocarvão como condicionador de solos em relação a suas propriedades químicas e físicas dos solos, disponibilidade de nutrientes e nutrição das plantas. Para tal, foram utilizadas amostras de um solo Argissolo Acizentado distrófico e como cultura teste o milho híbrido BRS 2022. O uso de biocarvão obtido a partir da cama de aviário demonstrou um alto potencial como condicionador de solo, uma vez que favoreceu as características químicas deste, observando-se um alto potencial do biocarvão como corretivo da acidez do solo e como fonte de nutrientes, bem como proporcionou melhorias nas características físico-hídricas do solo, tais como aumento na capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível, aumentando seus benefícios com as doses aplicadas. O biocarvão mostrou ser uma fonte prontamente disponível de nutrientes do solo, em especial, P e K. Além disso, sua aplicação aumentou todas as variáveis de crescimento e produção analisadas. Houve acúmulo de todos os nutrientes (macronutrientes) analisados na folha do milho em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão. As características químicas do solo, analisadas após a colheita do milho BRS 2022, revelou uma alta influência das doses de biocarvão nos teores de cálcio, carbono orgânico, potássio e fósforo. A aplicação do biocarvão pode assim, ser uma alternativa às formas tradicionais de adubação, fortalecendo o aspecto ecológico da engenharia bioenergética.

Palavras-chave: adubo orgânico, propriedades físicas e químicas, nutrição de plantas.

MENDES, J. S. Biocarvão: caracterização, uso como condicionador de solo e influência no desempenho agrônômico do milho. 2020. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

The application of biochar as a soil conditioner, although being a relatively new concept, has been proposed as an attractive approach, due to its contribution in improving the chemical and physical properties of the soil and, consequently, in improving crop productivity. In Brazil, one readily type of waste available is the poultry litter, which has been used in the manufacture of biochar. However, its effects on the environment require specific studies, since the knowledge about the impact of this material on soil quality and composition is still scarce. Although several studies have shown important agronomic benefits, others have not shown significance and even have shown adverse effects of the application of biochar on crop productivity. Considering the scarce information about the biochar applied to the soil, a study was conducted to characterize the poultry litter biochar and to evaluate the effect of the application of different doses on the chemical and physical attributes of the soil and on the agronomic performance of the 2022 BRS corn crop. The experiments, conducted in the laboratory and in a greenhouse, were carried out studying the biochar as a soil conditioner in relation to its chemical and physical properties, nutrients availability and plant nutrition. For this purpose, soil samples of an Argisol Acizentado dystrophic were used and the hybrid corn BRS 2022 was used as a test crop. The use of biochar obtained from poultry litter demonstrated a high potential as soil conditioner, since it favored the chemical characteristics of it, observing a high potential of the biochar as a corrective of soil acidity and as a source of nutrients, as well as providing improvements in the physical-hydric characteristics of the soil, such as increasing field capacity, permanent wilting point and available water for the plants, increasing its benefits with the applied doses. The poultry litter biochar was a readily available source of soil nutrients, in particular P and K. In addition, its application increased all the growth and production variables analyzed. There was an accumulation in the leaf of all nutrients (macronutrients) with the application of aviary litter biochar. The chemical characteristics of the soil, analyzed after the BRS 2022 corn harvest, reveals that there was an influence of the doses of biochar on the levels of calcium, organic carbon, potassium and phosphorus. Thus, the application of aviary bed biochar can be an alternative to the traditional forms of fertilization and strengthening the ecological aspect of the bioenergetic engineering.

Key words: organic fertilizer, physical and chemical properties, plant nutrition.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial deverá aumentar para 9,5 bilhões até 2050, promovendo naturalmente, o aumento da demanda por alimentos (UN., 2013). Na agricultura, para aumentar a quantidade de nutrientes no solo, de modo a elevar a produtividade são utilizados, por exemplo, fertilizantes minerais. No entanto, o uso excessivo desses insumos, além de aumentar o custo da produção, pode gerar sérios problemas ambientais, como a degradação e salinização do solo, bem como a poluição de corpos hídricos (PEREIRA, 2019).

Nessa perspectiva de diminuir a dependência por fertilizantes, bem como otimizar a produção e reduzir o risco de poluição, faz-se necessário a utilização de alternativas para o manejo do solo, tais como o plantio direto, a adubação verde, biofertilizante e o uso de “biocarvão” (BIBAR, 2014).

O biocarvão é o termo dado à biomassa submetida ao processo de decomposição, degradação ou de alteração da composição pela ação de calor (pirólise) rápida ou lenta, aquecendo essencialmente com pouco ou na ausência de oxigênio. Quimicamente é difícil caracterizar o biocarvão devido à grande variedade de biomassas possíveis de serem empregadas para sua produção, bem como das condições de carbonização empregadas para a conversão das biomassas em biocarvão (LEHMANN et al., 2006), no entanto, sabe-se que é um material rico em carbono.

As principais vantagens da aplicação do biocarvão para as propriedades do solo são: aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (macro e micronutrientes); aumento do pH, diminuição da acidez e da toxidez por alumínio; redução de odores e das emissões de gases de efeito estufa; sequestro de carbono; aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), da aeração e retenção de água no solo (EKEBAFE et al., 2013).

No Brasil a agropecuária desempenha um papel de grande importância no cenário da economia nacional. Esta atividade gera uma quantidade elevada de resíduos (resíduos florestais, resíduos de serrarias, resíduos de culturas deixadas no campo após a colheita, resíduos de dejetos animais) que podem ser convertidos em biocarvão, trazendo benefícios ao meio ambiente (destino de resíduos e fixação de carbono que seria lançado para atmosfera) e na agricultura (GLASER et al., 2002). Por ser advindo de uma energia limpa, produzido através da pirólise de resíduos orgânicos, a utilização

do biocarvão torna-se uma alternativa cada vez mais viável para o melhoramento de solos e incremento da produtividade agrícola (REZENDE et al., 2011).

Em virtude da grande disponibilização de resíduo de cama de aviário no Brasil, esta tem sido uma matéria prima utilizada para a fabricação do biocarvão. A pirólise da cama de aviário para obtenção de biocarvão, representa uma opção adicional para reciclagem desse resíduo na agricultura, permanecendo no solo por um maior período de tempo ao contrário da biomassa fresca (CORRÊA & MIELE, 2011).

Considerando que o milho é a segunda maior cultura de importância na produção agrícola no Brasil e que apesar do seu alto potencial produtivo, as deficiências nutricionais contribuem significativamente para a queda da produtividade e, conseqüentemente, do lucro do produtor, a busca por tecnologias que aperfeiçoem a produção agrícola bem como de pesquisas no sentido de diagnosticar problemas nutricionais na planta tornam-se de grande importância.

Os diversos efeitos positivos do biocarvão têm despertado o interesse de muitos pesquisadores no mundo, entretanto, embora vários estudos tenham demonstrado benefícios agrônômicos importantes, outros não demonstraram efeitos significativos e até mesmo adversos à aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Além disso, seus efeitos sobre o ambiente demandam estudos específicos, pois, o conhecimento sobre o impacto desse material sobre a qualidade e composição da matéria orgânica do solo (MOS) ainda é escassa.

Portanto, em virtude dos fatos mencionados acima, o estudo do potencial de uso de biocarvão de cama de aviário, tanto para avaliação dos efeitos na qualidade física e química do solo quanto na produtividade das culturas agrônômicas torna-se de extrema relevância, tanto por representar uma nova opção de uso da expressiva quantidade de resíduos gerados nas atividades agropecuárias, quanto por poder promover uma melhoria socioeconômica para os produtores.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Considerando as poucas informações a respeito de biocarvão aplicado ao solo, objetivou-se com a realização deste trabalho caracterizar o biocarvão de cama de aviário e avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses nos atributos físico-químicos do solo e no desempenho agrônômico da cultura do milho BRS 2022.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar o biocarvão de cama de aviário produzido a 350°C por meio de análise imediata, fertilidade, morfológica e difração de raio X (DRX);
- ✓ Avaliar o efeito de diferentes doses do biocarvão no comportamento dos atributos químicos, físicos e físico-hídricos de um Argissolo Distrófico acizentado.
- ✓ Verificar a disponibilidade de nutrientes do biocarvão de cama de aviário e a sintomatologia de deficiência nutricional através do método do diagnóstico por subtração, utilizando-se como planta teste o milho híbrido BRS 2022;
- ✓ Avaliar o crescimento e produção do milho híbrido BRS-2022 quando adubado com doses crescentes de biocarvão;
- ✓ Avaliar os efeitos das diferentes doses de biocarvão sobre o teor de macronutrientes nos tecidos foliares do milho BRS 2022.
- ✓ Analisar as características químicas apresentadas no solo após colheita.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do milho e o Híbrido BRS 2022

De acordo com a classificação botânica, o milho é uma monocotiledônea, pertencente à família Poaceae, Subfamília Panicoidae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. É uma planta herbácea, monóica, portanto possuem os dois sexos na mesma planta em inflorescências diferentes, completa seu ciclo em quatro a cinco meses caracterizando uma planta anual (SILOTO, 2002).

O milho tem como centro de origem o México e a Guatemala, sendo encontrada a mais antiga espiga de milho no vale do Tehucan na data de 7000 a.C, essa região atualmente é onde se localiza o México.

A cultura do milho é cultivada em todas as partes do mundo. Sendo os maiores produtores mundiais os Estados Unidos, a China e o Brasil ocupando este, o terceiro lugar com média de produção estimada de 93,6 milhões de toneladas para 2022/23. O consumo interno é 66,7% da produção e a exportação atual de 18 milhões de toneladas deve aumentar para 24,74 milhões de toneladas em 2022/2023. O Paraná é o principal produtor em milhões de toneladas representando 23,5% da produção total (BRASIL, 2013).

O Brasil destaca-se mundialmente em relação à cultura do milho como produtor, consumidor e exportador e com a grande multiplicidade de usos que o cereal apresenta, as estimativas de procura pelo grão tendem aumentar.

Sua importância econômica está relacionada as várias formas de utilização, da alimentação animal a indústria de alta tecnologia. Seu uso em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo, sendo que no Brasil varia de 70% a 90% da produção total. Embora o percentual destinado a alimentação humana não seja tão grande em relação a sua produção, é um cereal de grande importância, principalmente para a população de baixa renda. Também possui grande importância social, principalmente porque no Brasil grande parte de seus produtores não é altamente tecnificada, não possuem grandes extensões de terras e dependem de sua produção para viver (CRUZ et al., 2013)

O milho apresenta uma grande variabilidade, existindo atualmente cerca de 250 variedades. Com um aumento significativo na segunda metade do século XX houve uma grande evolução com desenvolvimento de variedades e híbridos (SOUZA & PIRES, 2013).

O milho BRS 2022 é um híbrido duplo, de ciclo precoce, recomendado para cultivos em safra e safrinha, apropriado para agricultura de baixo investimento, que reúne bons níveis de produtividade com moderada resistência à Ferrugem Polissora, Cercospora e Mancha Branca e boa tolerância ao acamamento e ao quebraamento (PACHECO et al., 2009). Possui, em média, as seguintes características agronômicas: Florescimento masculino e feminino: 58 dias; Altura da planta: 213 cm; Altura da espiga: 113 cm; Comprimento médio das espigas: 15,9 cm; Diâmetro médio das espigas: 5,0 cm; Número de fileiras de grãos: 16; Textura dos grãos: Semidentados; Coloração dos grãos: Alaranjada; Grau de empalhamento: Alto; Peso de 1000 sementes: 358 g.

3.2. Origem do Biocarvão

A utilização de resíduos de biomassa carbonizados como substrato para retenção de água, gases e nutrientes com benefícios para as culturas não é uma técnica recente, existindo muitos registros da sua recomendação. No entanto, o uso do termo biochar foi criado recentemente para descrever a aplicação de matéria orgânica carbonizada ao solo em uma forma deliberada, para melhorar as propriedades do solo ou para sequestrar carbono (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

O termo Biocarvão ou biochar é um material sólido, bastante rico em carbono, obtido a partir da carbonização de biomassa, por um processo denominado pirólise (LEHMANN, 2007).

A pirólise é uma tecnologia de conversão térmica que ocorre na ausência completa ou quantidade mínima de agente oxidante. De maneira geral, consiste na degradação de um combustível sólido que implica na ruptura de ligações carbono-carbono dando origem a ligações carbono-oxigênio (SANTOS, 2011). Durante o processo, parte da biomassa é reduzida a carbono e a outra parte é oxidada e hidrolisada. Como resultado, obtém-se gases não condensáveis (syngas), vapor/líquido condensável (bio-óleo) e uma fração sólida (finos de carvão) (BREWER et al., 2011; STEWART et al., 2013). Existem diferentes tipos de pirólise e dentre eles, os principais são a pirólise lenta e a pirólise rápida. A pirólise rápida implica em altas taxas de aquecimento, geralmente acima de $100^{\circ}\text{C s}^{-1}$ com temperaturas próximas a 500°C , visando a obtenção do bio-óleo (NACHENIUS et al., 2013). Por outro lado, a pirólise lenta é realizada em baixas taxas de aquecimento (abaixo de $80^{\circ}\text{C min}^{-1}$), na faixa de

temperatura entre 350 a 750°C, com o objetivo de favorecer a produção da parte sólida, o carvão ou biocarvão (LAIRD et al., 2010; NACHENIUS et al., 2013).

O biocarvão foi inspirado nas Terras Pretas de Índio (TPI), que são solos férteis de ocorrência localizada na Amazônia. Esses solos foram descobertos há mais de cem anos, e são identificados por sua cor escura. Essa diferença de coloração deve-se principalmente à presença de material orgânico decomposto, em parte na forma de carvão residual de fogueiras domésticas e da queima da vegetação para uso agrícola do solo. Acredita-se que por essa razão, a fertilidade da TPI é significativamente superior à maioria dos solos amazônicos não perturbados pela atividade humana pré-histórica, que geralmente são ácidos e pobres em nutrientes (WOODS & MCCANN, 1999).

Com o objetivo de reproduzir esse solo com alta fertilidade, surgiu então a ideia de adicionar carvão ao solo. Além da alta fertilidade, o biocarvão está associado à benefícios físicos, químicos e biológicos do solo. O biocarvão se distingue do carvão vegetal ou outros materiais similares, pelo fato de ser produzido com a intenção de aplicação no solo.

O biocarvão pode ser produzido a partir de diferentes fontes de biomassa, tais como resíduos florestais (resíduos de corte, madeira morta, mudas excedentes), resíduos de serrarias (madeira, celulose), resíduos de culturas deixadas no campo após a colheita e esterco. Mas, de acordo com Coomer et al. (2012), a produção de biocarvão a partir de resíduos animais tem maior qualidade nutricional em relação ao biocarvão produzido de resíduos vegetais, em virtude dos níveis mais elevados de nitrogênio.

No Brasil, dada a grande disponibilização de resíduo de cama de aviário (produção por ano em torno de 6,8 milhões de m³), esta tem sido uma matéria prima utilizada para a fabricação do biocarvão (CORRÊA & MIELE, 2011). De acordo com Santos e Grangeiro (2013) a adubação com cama de frango constitui uma técnica de baixo custo e economicamente viável para os agricultores familiares, podendo contribuir significativamente para promover maior produtividade assegurando o estabelecimento dessa cultura dentro do sistema de produção dos pequenos produtores rurais.

Muito embora a grande quantidade de cama de aviário, proveniente da criação de galináceos, apresente potencial para produzir grandes quantidades de biocarvão e conseqüentemente uma melhoria ambiental e socioeconômica para os produtores, é necessário mais informações sobre os aspectos agrônômicos que envolvem este biocarvão.

3.3. Potencial do Biocarvão como condicionador de solo e sua influência nas propriedades químicas do solo

Condicionadores de solo de origem orgânica são produtos que concentram grandes quantidades de matéria orgânica, derivados muitas vezes de turfas e ricos em ácidos húmicos, associados a fontes de macronutrientes e micronutrientes, capazes de devolver aos solos a fertilidade e equilíbrio físico, químico e biológico, destruídos pelo manejo inadequado do mesmo (BEAUCLAIR et al., 2007).

O emprego de condicionadores de solo é uma alternativa interessante para a melhoria do sistema agrícola como um todo, pois envolve a aplicação de materiais aos solos que modificam favoravelmente as propriedades físicas adversas, tais como a baixa capacidade de retenção de água (BERNARDI et al., 2009), além de permitir a reciclagem de uma série de dejetos orgânicos, reduzindo impactos indesejados ao meio ambiente.

Na literatura encontram-se diversos materiais que têm sido avaliados e utilizados como condicionadores de solo, como por exemplo: resíduos da indústria de celulose (ELSAIED et al., 2004), resíduos da bovinocultura ou mesmo resíduos urbanos (NOLASCO et al., 1999). Fatores como a porosidade, capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de cátions (CTC), densidade, entre outros, são bastante relacionados à melhoria das propriedades do solo

Muitos estudos têm confirmado a eficácia do biocarvão na melhoria das propriedades físico-químicas do solo (KOOKANA et al., 2011) mantendo os níveis de matéria orgânica do solo, aumentando a eficiência do uso de fertilizantes e aumentando a produção agrícola segundo Major et al. (2010), principalmente para solos cultivados em regiões subtropicais e tropicais.

Singh et al. (2010) caracterizaram uma série de biocarvões de diferentes matérias-primas e descobriram que o pH mais alto era o do biocarvão de resíduo de aves caipiras. Yuan et al. (2011) também relataram aumento no pH do solo com o uso do biocarvão provavelmente em consequência das altas concentrações de carbonatos e ânions orgânicos presentes em sua constituição.

Conforme a biomassa utilizada, cátions básicos como Ca, K, Mg e silício (Si) podem formar óxidos ou carbonatos alcalinos durante o processo de pirólise do biocarvão. Após a liberação desses óxidos no ambiente, os mesmos podem reagir com íons H^+ e de Al de diferentes origens, aumentando o pH do solo e diminuindo a acidez trocável (NOVAK et al., 2009). Ainda segundo os mesmos autores, biocarvão com alta

concentração de óxido de cálcio (CaO) neutraliza a acidez do solo, isto porque, o Ca substitui as espécies de Al nos sítios trocáveis do solo gerando alcalinidade. Posteriormente, há um aumento no pH da solução do solo como resultado da redução do Al prontamente hidrolisável e da subsequente formação das espécies neutras $[Al(OH)_3]$ (SPARKS, 2003).

A incubação após 105 dias de biocarvão proveniente de madeira (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), em solo altamente intemperizado, Ultissol ácido, melhorou as propriedades químicas deste solo (JIEN & WANG, 2013). O efeito calagem do biocarvão (pH > 9,0) aumentou o pH deste solo (de 7,41 a 9,26) corroborando Yuan e Xu (2011), que indicaram uma significativa correlação linear positiva entre o pH do solo tratado com o biocarvão e o pH do biocarvão. Semelhantes resultados foram obtidos por Lehmann et al. (2003) trabalhando em Oxissolo e por Petter et al. (2012) em Plintossolo Háptico franco arenoso.

Petter et al. (2012) mostraram que o biocarvão proveniente de *Eucalyptus* melhorou a fertilidade do solo arenoso, com maior efeito na camada superficial do solo e, no primeiro ano após a sua incorporação. Além disso, os macronutrientes P e Ca influenciaram positivamente na acidez do solo (H + Al, Al e pH). Segundo estes autores, a aplicação de biocarvão influenciou positivamente na disponibilidade do fósforo corroborando Novak et al. (2009) que encontraram aumento de 16% na disponibilidade de fósforo no horizonte superficial (0-10 cm de profundidade) de um solo arenoso misturado com biocarvão. Estes resultados, no entanto, diferem daqueles por Lehmann et al. (2003), em um Latossolo Vermelho distrófico com baixo teor de areia, em que adições de carbono não teve efeito sobre a disponibilidade de fósforo.

No estudo de Jien e Wang (2013) os teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis aumentaram significativamente com a aplicação de biocarvão comparado com a testemunha. Ambas as taxas de aplicação de biocarvão aumentaram a saturação por bases, de 6,40% para 14,2% (na dose aplicada de 2,5%) e 26,0% (na dose aplicada de 5%), sugerindo uma melhoria na fertilidade do solo e retenção de nutrientes. O aumento da capacidade de troca catiônica pode ser atribuído a alta superfície específica da área do biocarvão devido a sua estrutura porosa.

Além disso, a oxidação lenta do biocarvão aumentou o número de grupos carboxílicos, que, por sua vez, aumentou a CTC do solo corroborando Lehmann (2007), que mostrou que a CTC do biocarvão aumentou com o envelhecimento, principalmente

devido ao aumento da carboxilação de carbono por oxidação abiótico (CHENG et al., 2006).

Os resultados de Jien e Wang (2013) confirmaram que o biocarvão pode melhorar os cátions trocáveis do solo, especialmente para o cálcio, o que corrobora os resultados Lehmann et al. (2003), e Chan et al. (2008), que afirmaram que os nutrientes originários do biocarvão forneceu cátions trocáveis para recuperação da vegetação em solos degradados. O aumento dos teores de cálcio no solo em função da aplicação de biocarvão também foram observados por Novak et al. (2009), Steiner et al. (2007) e Van Zwieten et al. (2010).

As pesquisas mostram que valores mais altos de CTC foram provenientes dos biocarvões produzidos a partir de cama de frango e dejetos bovinos, quando comparados aos de biomassa vegetal produzidos pelo mesmo processo e temperatura de pirólise (400°C) (SINGH et al., 2010).

Além dos biocarvões apresentarem alta CTC, muitos estudos reportaram o incremento da CTC do solo em função de doses crescentes de biocarvão, sendo esta a forma de estudo mais encontrada (ATKINSON et al., 2010). Embora isso possa parecer óbvio, deve-se destacar que não se deve supor uma simples relação linear em função da dose porque após ser incorporado no solo o biocarvão está sujeito a sofrer oxidação, biótica ou abiótica, do C orgânico instável, o que provoca o aumento dos grupos ácidos de superfície e conseqüentemente aumenta a CTC do solo (SONG & GUO, 2012). CHENG et al., (2006) encontraram um aumento de 90% da CTC do solo após adição de biocarvão. No entanto, alguns trabalhos também reportaram que não houve alterações na CTC do solo após adição do biocarvão (BREWER et al., 2011; MÉNDEZ et al., 2012).

O biocarvão é considerado uma fonte de nutriente mais estável quando comparado a outros adubos orgânicos (CHAN et al., 2007). Estudos realizados aplicando-se biomassa fresca e um biocarvão produzido a partir da mesma biomassa em solos com características semelhantes demonstram que, devido principalmente à sua natureza recalcitrante (STEINER et al., 2007), o biocarvão, ao contrário da biomassa fresca, permanece no solo por um maior período de tempo (ZIMMERMAN, 2010).

3.4. Influência do Biocarvão nas propriedades físicas do solo

Dentre as propriedades físico-hídricas do solo, a capacidade de retenção de água é uma das mais importantes do ponto de vista do aproveitamento eficiente da água na

agricultura, principalmente em regiões onde a frequência de chuvas é baixa. A retenção de água é determinada pela distribuição e conectividade da rede porosa que compõe a estrutura do solo, que por sua vez é influenciada pelo tamanho das partículas (textura), pelo tamanho dos poros e pelo conteúdo em matéria orgânica (BRADY & WEIL, 2002). Portanto, a adição de resíduos que contribuam na agregação das partículas e na formação do sistema capilar pode potencialmente resultar em melhorias no sistema de armazenamento de água no solo. É o que tem sido observado após a aplicação de biocarvão ao solo (KARHU et al., 2011)

O efeito do biocarvão no solo é mais expressivo em solos mais intemperizados e de textura muito arenosa (KARHU et al., 2011). Em solos arenosos tratados com biocarvão, Kammann (2012), observou considerável aumento na capacidade de retenção de água. Isso está relacionado com a elevada área superficial tanto externa quanto interna do biocarvão, e com a grande quantidade de microporos, o que aumenta a capilaridade. Para Nóbrega (2011), os mecanismos que levam o biocarvão a promover melhorias na retenção de água são relativamente simples, podendo ter efeitos diretos que consiste na retenção de água na própria partícula do carvão e indiretos quando o biocarvão promove uma maior estruturação dos solos, podendo ser de curta ou longa duração. Os benefícios do biocarvão no solo vão além do aumento na capacidade de absorção e retenção de água. A sua estrutura porosa e textura (quando aplicado na forma de pequenos pelets ou lascas) promove maior arejamento e melhor ambiente para desenvolvimento da biota do solo, estimulando a atividade biológica ao solo.

Brantley et al. (2013) verificaram que a taxa de aplicação afetou a relação entre o potencial hídrico e teor de água para biocarvão produzido a partir de cama de frango. Neste trabalho também foi observado que as diferentes matérias primas (chips de madeira e cama de frango) utilizadas na produção de biocarvão diferem quanto à retenção de água. Abel et al. (2013) e Ulyett et al. (2014) verificaram um aumento na retenção de água em solos arenosos que foram tratados com biocarvão, sendo atribuído esses resultados à estrutura porosa do biocarvão. Madari et al. (2006), utilizando biocarvão de madeira de eucalipto, verificaram uma alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que pode contribuir com a retenção de água no solo, principalmente os de textura arenosa.

Segundo Jien e Wang (2013) a aplicação do biocarvão diminuiu a densidade e aumentou a porosidade, a condutividade hidráulica e o diâmetro médio dos agregados do solo. A diminuição da densidade do solo tratado com biocarvão concordou com

Busscher et al. (2011) os quais mostraram que o aumento do carbono orgânico total pela adição de resíduos orgânicos em solos pode diminuir significativamente a densidade. A porosidade e a condutividade hidráulica podem também ser efetivamente melhoradas pela aplicação de biocarvão.

Asai et al. (2009) indicaram que a incorporação de biocarvão em solo cultivado com arroz mudou a distribuição do tamanho dos poros, o que aumentou a permeabilidade da água. Da mesma forma, a taxa de perda de solo diminuiu significativamente com a aplicação de biocarvão, indicando que a incorporação deste subproduto reduz o potencial de erosão de solos altamente intemperizados.

Após incubar o solo com biocarvão em colunas, Laird et al. (2010) verificaram uma diminuição na densidade aparente do solo de 1,66 para 1,53 g cm⁻³. Da mesma forma, Albuquerque et al. (2013) concluíram que a adição de biocarvão de palha de trigo promoveu um aumento significativo na capacidade de campo do solo de 14,0 para 15,8% e uma diminuição da densidade aparente do solo de 1,56 para 1,49 g cm⁻³ com a maior taxa de aplicação de biocarvão. Redução da densidade aparente do solo adubado com biocarvão também foi relatada por Chen et al. (2011), cuja aplicação de 2,3 e 4,5 t ha⁻¹ de biocarvão diminuiu a densidade aparente em 4,5 e 6,0%, respectivamente. Resultados semelhantes também foram observados por Mukherjee e Lal. (2013), onde relatam que a diminuição da densidade do solo pode estar associada a alta concentração de poros no biocarvão.

3.5. Crescimento e Produtividade de culturas agronômicas em solos tratados com Biocarvão

A incorporação de biocarvão no solo vem sendo investigada no meio agrícola caracterizando a utilização do biocarvão como um condicionador de solos. Entretanto, em crescimento vegetal estudos com a incorporação de biocarvão ainda são incipientes despertando interesse sobre esses resultados em diversas culturas.

Lima (2014) verificou um melhor desempenho agronômico e uma maior produtividade da cultura da soja em solos tratados com biocarvão, porém esse efeito foi reduzido quando observado a longo prazo. Petter et al. (2012), utilizando biocarvão de eucalipto, verificaram no primeiro ano de cultivo após a aplicação, um efeito positivo tanto no desenvolvimento quanto na produtividade da cultura do arroz de terras altas. Marimon Júnior et al. (2012) verificaram que quando mistura-se biocarvão a outros resíduos, como esterco suíno, bovino e pó-de-serra, há um aumento da biomassa de

mudas. Porém, Morales (2010) chama a atenção para algumas possíveis limitações no desenvolvimento de culturas após tratamento com biocarvão em função de características como pH, muitas vezes muito elevado, e concentrações de sais. Parece existir um limite máximo para a aplicação de biocarvão no solo em relação à produtividade das culturas.

Resposta positiva foi observada na produtividade de milho após tratamento do solo com biocarvão obtido a partir de chips de madeira e esterco suíno (JEFFERY et al., 2011). Em alguns estudos, aumentos de até 140% foram observados para a produtividade do milho (MAJOR et al., 2010) e 100% para o feijão (GLASER et al., 2002). Jeffery et al. (2011) observaram aumentos de 10% em média na produtividade de culturas agrônômicas após adição de biocarvão no solo em dose de 10, 25, 50 e 100 t ha⁻¹. Liu et al. (2013) fizeram uma extensa revisão em artigos publicados em vários países e encontraram resultados animadores. Por exemplo, observaram aumentos de 11%, em média, na produtividade de culturas agrícolas tratadas com biocarvão, especificamente 30% em leguminosas, 29% em vegetais folhosos e 14% em gramíneas. Reportaram também que os melhores resultados foram obtidos em doses de biocarvão inferiores a 30 t ha⁻¹.

Lehmann et al. (2006) observaram resposta positiva para a aplicação de biocarvão no solo apenas até 55 t ha⁻¹, doses maiores causaram reduções na produtividade. Outros autores (BIEDERMAN & HARPOLE, 2013; KAMMANN et al., 2011; ASAI et al., 2009) observaram reduções na produtividade vegetal em solos tratados com doses elevadas de biocarvão, porém as causas ainda são desconhecidas. Já Biederman e Harpole (2013), em estudo avaliando dados de produtividade em diversos trabalhos com biocarvão, observaram que espécies perenes (incluindo gramíneas, plantas forrageiras, e cana-de-açúcar) não tinha resposta quanto a aplicação do biocarvão. Graber et al. (2010), também verificou que não houve efeito significativo na produtividade de tomate em solos tratados com biocarvão de madeira pobre em nutrientes.

De acordo com Madari et al. (2006), a aplicação de carvão vegetal de eucalipto no plantio de arroz mostrou melhor vigor inicial e acúmulo de biomassa, um desenvolvimento mais uniforme, massa de sementes maior, redução da acidez potencial e aumento do fósforo e potássio. Um estudo realizado por Agboola e Moses (2015) mostraram que o crescimento e o rendimento de soja [*Glycinemax* (L.) Merr.] aumentaram com o uso do biocarvão de casca de arroz. Conforme Gebremedhin et al.

(2015), o biocarvão aumentou significativamente os rendimentos do grão e da palha de trigo (*Triticuma estivum* L.) em 15,7 e 16,5%, respectivamente, em relação à aplicação de NPK.

Furtado (2015) em pesquisa com adubação de doses crescentes de biocarvão de cama de frango no crescimento e produção do girassol constatou redução linear da altura de plantas, diâmetro de caule, número de folhas, área foliar e que não houve efeito significativo sobre a produção de fitomassa.

O que se percebe é que, muito embora vários estudos tenham demonstrado benefícios agrônômicos importantes, outros não demonstraram efeitos significativos e até mesmo adversos à aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Esta alta variabilidade está provavelmente relacionado com as diferentes interações biofísicas e aos processos que ocorrem quando o biocarvão é aplicado ao solo, que ainda não são totalmente compreendidos.

Por isso, os estudos com biocarvão são necessários para o esclarecimento de muitas questões a respeito de seus benefícios e desvantagens, bem como a questão da quantidade a ser aplicada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v.202-203, p.183-191, 2013.
- AGBOOLA, K.; MOSES, S.A. Effect of biochar and cowdung on nodulation, growth and yield of soybean (*Glycine max l. Merrill*). **International Journal of Agriculture and Biosciences**, v.4, p. 154-160, 2015.
- ALBURQUERQUE, J.A.; SALAZAR, P.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M.C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p.475–484, 2013.
- ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRSIWA, T.; HORIE, T. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, v. 111, p. 81–89, 2009.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, v. 337, p.1–18, 2010.
- BEAUCLAIR, E. G. F.; OTAVIANO, J. A.; MALFATO, C.A. Condicionador orgânico de solo no incremento da produtividade da cana. **Idea News**, Ribeirão Preto, SP, 2007, 30 p.
- BERNARDI, A.C.C.; MENDONÇA, F.C.; HAIM, P.G.; WERNECK, C.G.; MONTE, M.B. Disponibilidade de água e produção de arroz em função de doses de concentrado zeolítico. **Irriga**, v. 14, n. 2, p. 123-134, 2009.
- BIBAR, M. P. S. **Potencial agrícola de biocarvão proveniente de biomassas alternativas**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico. Campinas-SP.
- BIEDERMAN, L.A.; HARPOLE, W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202–214, 2013.
- BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall, 2002. 960p.

- BRANTLEY, K.E., BRYE, K.R., SAVIN, M.C. AND LONGER, D.E. Biochar Source and Application Rate Effects on Soil Water Retention Determined Using Wetting Curves. **Open Journal of Soil Science**, v.5, p. 1-10, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília: Mapa/ACS, 2013.
- BREWER, C. E.; UNGER, R.; SCHMIDT-ROHR, K.; BROWN, R. C. Criteria to Select Biochars for Field Studies based on Biochar Chemical Properties. **BioEnergy Research**, v. 4, n. 4, p. 312–323, 2011.
- BUSSCHER, W.; NOVAK, J. M.; AHMEDNA, M. Physical effects of organic matter amendment of a southeastern US coastal loamy sand. **Soil Science**, v. 176, p. 661–667, 2011.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWIE, A.; JOSEPH, S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 437–444, 2008.
- CHAN, K.Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWINE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, n.8, p.629–634, 2007.
- CHEN, H.X.; DU, Z.L.; GUO, W.; ZHANG, Q.Z. Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the North China Plain. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v. 22, p. 2930-2934, 2011.
- CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; THIES, J. E.; BURTON, S. D.; ENGELHARD, M. H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v. 37, p. 1477–1488, 2006.
- COOMER, T.D.; OOSTERHUIS, D.M.; LONGER, D.E.; LOKA, D.A. Effect of poultry litter biochar on early-season cotton growth. **Summaries of Arkansas Cotton Research**, p. 89-94, 2012. (Research series 610).
- CORRÊA, J. C.; MIELE, M. **A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos**. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. Manejo ambiental na avicultura. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p. 125-152, 2011. (Documentos, 149).
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho – Cultivares para 2013/2014**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013. Disponível em: <<http://www.cnpmis.embrapa.br/milho/cultivares>>. Acesso em Dez. 2019

- EKEBAFE, M. O.; EKEBAFE, L. O.; MALIKI, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. **Science Progress**, v. 96, p.85-94, 2013.
- EL-SAIED, H.; WALEY, A.I.; BASTA, A.H.; EL-HADI, O. High water absorbents from lignocelluloses II. Novel soil conditioners for Sandy soil from lignocellulosic wastes. *Polymer – Plastic Technology and Engineering*, London, v. 43, n. 3, p. 779-795, 2004.
- FURTADO, G. F. **Crescimento e Produção de Girassol sob doses de biocarvão de cama de frango e NPK**. 2015. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.
- GEBREMEDHIN, G.H.; BEREKET, H.; BERHE, D.; BELAY, T. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. **Journal of Fertilizers and Pesticides**, v.6, p. 158, 2015.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.219-230, 2002.
- GRABER E.R.; MELLER-HAREL Y.; KOLTON M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant and Soil**, v.337, p.481-496, 2010.
- JEFFERY, S., F.G.A. VERHEIJEN, M. VAN DER VELDE, A.C. BASTOS. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using met-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, p.175-187, 2011.
- JIEN, S. H.; WANG, C. S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, v.110, p. 225-233, 2013.
- KAMMANN, C. Chancen und Risiken des Einsatzes von Pflanzenkohle. Biokohle in Böden. **Müll und Abfall**, p. 256-263, 2012.
- KAMMANN, C.I.; LINSEL, S.; GÖßLING, J.W.; KOYRO, H.W. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa*: Willd and on soil–plant relations. **Plant Soil**, v. 345, p.195-210, 2011.
- KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a

- shortterm pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 309- 313, 2011.
- KOOKANA, R.S.; SARMAH, A.K.; VAN ZWIETEN L. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, v.112, p.103-143, 2011.
- LAIRD, D.A.; FLEMING, P.; DAVIS, D.D.; HORTON, R.; WANG, B.; KARLEN, D.L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical mid-western agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, p.443-449, 2010.
- LEHMANN J., JOSEPH S. **Biochar for Environmental Management – Science and Technology**. Earthscan, London, 2009. 416p.
- LEHMANN, J. **Bio-energy in the black**. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5, n.7, p.381-387, 2007.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. **Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review**. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 11, p. 403-427, 2006.
- LEHMANN, J.; SILVA, J.P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v.249, p.343-357, 2003.
- LIMA, L. B. **Desempenho agrônômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 78f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO.
- LIU, X.; ZHANG, A.; JI, C.; JOSEPH, S.; BIAN, R.; LI, L.; PAN, G.; Paz-Ferreiro, J. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions-A meta analysis of literature data. **Plant and Soil**, v. 373, p. 583-594, 2013.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. de M.; ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 6p. (Embrapa Arroz e Feijão. (Comunicado técnico, 125).
- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, v. 333, p. 117-128, 2010.

- MARIMON JÚNIOR, B.H.; PETTER, F.A.; ANDRADE, F.R.; MADARI, B.E.; MARIMON, B.S.; SCHOSSLER, T.R.; GONÇALVES, L.G.; BELÉM, R., Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. **Comunicata Scientiae**, v.3, p. 108-114, 2012.
- MENDEZ, A.; GOMEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J.; GASCÓ, G. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. **Chemosphere**, v.89, p.1354–1359, 2012.
- MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu-SP.
- MUKHERJEE, A.; LAL, R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. **Agronomy**, v.3, p. 313-339, 2013.
- NACHENIUS, R.W.F.; VENDERBOSCH, R.H.; PRINS, W. **Biomass Pyrolysis**. Academic Press, v. 42, p. 75–139, 2013.
- NÓBREGA, I.P.C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 2011. 46f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa-PT.
- NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos em plantas florestais. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 1999. Piracicaba. Resumos expandidos. Piracicaba: IPEF – ESALQ/USP, 1999. Publicação apresentada em CD Rom.
- NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern Coastal Plain soil. **Soil Science**, v.174, p.105-112, 2009.
- PACHECO, C. A. P.; PARENTONI, S. N.; GUIMARAES, P. E.O.; GAMA, E. E. G.; MEIRELLES, W. F.; FERREIRA, A.S.; CASELA, C.R.; SILVA, A.R.; GUIMARAES, L. J. M.; ROCHA, L. M. P.; GARCIA, J. C.; CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L.; PAES, M. C. D.; COSTA, R. V. **BRS 2022: híbrido duplo de milho**. Embrapa Milho e Sorgo. (Comunicado Técnico), 2009. 7p
- PEREIRA, J.R.C. **Potencial do biocarvão para a produção de milho e melhoria da qualidade do solo**. 2019. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido). Universidade de Pernambuco, Petrolina-PE.

- PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.5, p.699-706, 2012.
- REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; SANTOS, S. S. DOS; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e sequestro de carbono. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 426–433, 2011.
- SANTOS, J.F.; GRANJEIRO, J.I.T. Doses de cama de galinha em relação aos componentes de produção de girassol. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, n.2, p. 15-20, 2013.
- SANTOS, K.G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo**. 2011. 261f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- SILOTO, R. C. **Danos e biologia de Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) em genótipos de milho**. 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em entomologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.
- SINGH, B.; SINGH, B.P.; COWIE, A.L. Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Soil Research**, v.48, p.516-525, 2010.
- SONG, W.; GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 94, p. 138–145, 2012.
- SOUZA, A.W.A.; PIRES, G.A. **Revisão de literatura: Milho**. Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2013. 22p
- SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. Academic Press, San Diego, CA, USA. 2003.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J.L.V. de; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v.291, p.275-290, 2007.
- STEWART, C.E.; ZHENG, J.; BOTTE, J.; COTRUFO, M.F. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. **Global Change Biology Bioenergy**, v.5, n. 2, p. 153–164, 2013.

- U.N. Population Division World Population Prospects: **The 2012 Revision Population**. <<http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>>. 25 Out. 2013.
- ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal of Soil Science**, v. 65, p.96-104, 2014.
- VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v.27, p.235-246, 2010.
- WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. **The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths**. In: The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers, Austin. University of Texas, p.7-14, 1999.
- 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, p.110–115, 2011.
- ZIMMERMAN, A. R. Abiotic and microbial oxidation of Laboratory-Produced Black Carbon (Biochar). **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 1295-1301, 2010.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DO BIOCÁRVÃO DE CAMA DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO

CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO DE CAMA DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO

RESUMO: A grande atividade avícola no Brasil leva a uma produção significativa de resíduos de cama de aviário, uma fração orgânica que pode ser um insumo valioso devido à sua alta concentração de nutrientes. A transformação e reciclagem desses resíduos através do processo de pirólise produz um co-produto chamado biocarvão que, aplicado ao solo, melhora as características químicas do solo. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi caracterizar o biocarvão produzido a partir da cama de aviário e avaliar seus efeitos sobre as propriedades físico-químicas de um Argissolo Acizentado Distrófico. O biocarvão foi produzido em forno mufla sob pirólise lenta a 350°C e em seguida procedeu-se a sua caracterização química. Para avaliação dos efeitos do biocarvão sobre as propriedades químicas, os tratamentos consistiram de seis doses de biocarvão equivalentes aos quantitativos de 0,0; 2,024; 4,048; 6,072; 8,096 e 10,12 t ha⁻¹, calculadas pelo método de saturação por bases, com níveis de correção de 61 a 87%. Na avaliação dos efeitos sobre as propriedades físicas do solo as doses foram aumentadas de modo a elevar o teor de matéria orgânica do solo na camada arável, o que correspondeu a uma aplicação de 0,0; 12,39; 24,78; 37,17; 49,56 e 61,95 t ha⁻¹, respectivamente. Ambos os ensaios foram montados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Após o período de incubação de 100 dias, as amostras de solo foram analisadas física e quimicamente. O biocarvão apresentou um tamanho de poros característicos de mesoporos e quando comparado a cama de aviário in natura, apresentou maior caráter alcalino e uma maior salinidade, bem como teores aumentados de nutrientes como ferro, manganês, zinco, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e potássio. Os resultados deste estudo mostraram a eficácia do biocarvão de cama de aves para melhorar as propriedades do solo do Argissolo usado no estudo. As doses de biochar promoveram aumento significativo do pH e diminuição da acidez potencial. Outras variáveis, como condutividade elétrica, potássio, sódio, carbono e fósforo aumentaram com as doses de biocarvão. Houve uma diminuição na capacidade de troca catiônica do solo devido à menor acidez potencial. O aumento da saturação da base com a aplicação do biocarvão contribuiu para o aumento da fertilidade do solo. O experimento mostrou que a aplicação do biocarvão de cama de aviário no solo melhorou as propriedades físicas do solo, diminuindo a densidade aparente e aumentando a porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha e água

disponível para as plantas. Em geral, o uso deste biocarvão demonstra um grande potencial como condicionador do solo.

Palavras-chave: Resíduo agrícola, saturação por base, propriedade física.

CHARACTERIZATION OF AVIARY BED BIOCHAR AND INFLUENCE ON ULTISOL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

ABSTRACT: The large poultry activity in Brazil leads to a significant poultry litter waste production, an organic fraction that can be a valuable input due to its high nutrient concentration. The transformation and recycling of these wastes through the pyrolysis process produces a co-product called biochar which, applied to the soil, improves the chemical characteristics of the soil. In view of the above, the objective of the work was to characterize the biochar produced from the poultry litter and to evaluate its effects on the physical and chemical properties of a Gray Dystrophic Argisol. The biochar was produced in a muffle furnace under slow pyrolysis at 350⁰C and then proceeded to its chemical characterization. To evaluate the effects of biochar on chemical properties, the treatments consisted of six doses of biochar equivalent to the quantitative of 0.0; 2,024; 4,048; 6,072; 8.096 and 10.12 t ha⁻¹, calculated using the base saturation method, with correction levels from 61 to 87%. In the evaluation of the effects on the physical properties of the soil, the doses were increased in order to raise the organic matter content of the soil in the arable layer, which corresponded to an application of 0.0; 12.39; 24.78; 37.17; 49.56 and 61.95 t ha⁻¹, respectively. Both trials were set up using a completely randomized design with four replications. After the 100-day incubation period, soil samples were analyzed physically and chemically. The biochar had a pore size characteristic of mesopores and when compared to fresh poultry litter, it had a higher alkaline character and a higher salinity, as well as increased levels of nutrients such as iron, manganese, zinc, sulfur, calcium, phosphorus, magnesium and potassium. . The results of this study showed the efficacy of poultry litter biochar to improve the soil properties of the Ultisol, used in the study. Biochar doses promoted significant increase in pH and decrease in potential acidity. Other variables, such as electrical conductivity, potassium, sodium, carbon and phosphorus increased with the biochar doses. There was a decrease in the soil cation exchange capacity due to decreased potential acidity. The increase of base saturation with the application of

biochar contributed to the increase of soil fertility. The experiment showed that the application of poultry litter biochar to the soil improved the physical properties of the soil, decreasing the bulk density and increasing porosity, field capacity, wilting point and available water for plants. In general, the use of this biochar demonstrates a great potential of it as a soil amendment.

Key words: Agricultural waste, base saturation, physical property.

1. INTRODUÇÃO

A população mundial deverá aumentar para 9,5 bilhões até 2050, promovendo naturalmente, o aumento da demanda por alimentos (UN., 2013). Todavia a utilização de tecnologias que aperfeiçoem a produção agrícola com menor impacto ambiental tornou-se o desafio do novo milênio. Nesse sentido a aplicação de biocarvão como uma alternativa para produção sustentável, apesar de ser um conceito relativamente novo, tem sido proposta com uma abordagem atraente em virtude de sua contribuição para a melhoria na qualidade do solo e consequente produtividade das culturas (LEHMANN et al., 2006).

O biocarvão é o termo dado à biomassa submetida ao processo de decomposição, degradação ou de alteração da composição pela ação de calor (pirólise) rápida ou lenta, aquecendo essencialmente com pouco ou nenhum oxigênio presentes. Quimicamente é difícil caracterizar o biocarvão devido à grande variedade de biomassas possíveis de serem empregadas para sua produção, bem como das condições de carbonização empregadas para a conversão das biomassas em biocarvão (LEHMANN et al., 2006), no entanto, sabe-se que é um material rico em carbono.

Em muitos sistemas de produção agrícolas e florestais há uma expressiva quantidade de resíduos produzidos, tais como resíduos florestais (resíduos de corte, madeira morta, mudas excedentes), resíduos de serrarias (madeira, celulose) e resíduos de culturas deixadas no campo após a colheita. Muitos destes resíduos podem ser usados para produzir biocarvão que pode ser aplicado ao solo agrícola tanto para sequestrar carbono quanto para melhorar o potencial de produção de colheitas. Quando aplicado no solo, o biocarvão atua como um condicionador favorecendo o crescimento

das plantas por reter os nutrientes e melhorar as propriedades químicas e físicas do solo (GLASER et al., 2002).

Experimentos realizados em campo com aplicação do biocarvão no solo têm resultado em benefícios para a produtividade agrícola, além da proteção ambiental. Embora os mecanismos fisiológicos influenciados pela sua aplicação permaneçam obscuros (ATKINSON et al., 2010), os efeitos favoráveis do biocarvão sobre a produtividade das culturas é atribuída a elevada superfície específica, CTC e, dependendo das condições de pirólise, á microporosidade deste, que ainda melhora a retenção de água e de nutrientes no solo (THIES & RILLIG, 2009).

Embora vários estudos tenham demonstrado benefícios agrônômicos importantes, outros não demonstraram efeitos significativos e até mesmo adversos à aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Esta alta variabilidade está provavelmente relacionado com as diferentes interações biofísicas e aos processos que ocorrem quando o biocarvão é aplicado ao solo, que ainda não são totalmente compreendidos.

No Brasil, dada a grande disponibilidade de resíduos de cama de aviário, esta tem sido uma das fontes de matéria prima mais utilizadas para a fabricação do biocarvão. No entanto, os seus efeitos sobre o ambiente demandam estudos específicos, pois, o conhecimento sobre o impacto desse material sobre a qualidade e composição da matéria orgânica do solo (MOS) ainda é escassa.

Em virtude dos fatos mencionados e possibilidades econômicas, principalmente por representar uma nova opção de uso da expressiva quantidade de resíduos gerados nas atividades agropecuárias, faz-se necessário o desenvolvimento de experimentos pilotos, que tragam, em um futuro próximo, subsídios aos agricultores, principalmente, no que diz respeito ao uso de biocarvão de cama de aviário como fertilizantes e como condicionador nos solos.

Assim, o presente trabalho objetivou caracterizar o biocarvão obtido a partir da cama de aviário e avaliar o efeito de diferentes doses no comportamento dos atributos químicos e físico-hídricos do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalação e condução do experimento

O experimento, que consistiu na incubação do solo ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico com doses de biocarvão, foi conduzido no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade

Federal de Campina Grande. A amostra deste solo foi coletada no município de Lagoa Seca, Paraíba, Brasil, na camada de 0-20 cm de profundidade, seca ao ar e peneirada com malha de 2,0 mm com as características físico-químicas analisado conforme Teixeira et al. (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise físico-química do solo utilizado na condução do experimento.

Características	Profundidades de coleta(0-20cm)
pH (H ₂ O)	5,35
Matéria orgânica, g kg ⁻¹	18,8
P, mg dm ⁻³	12,7
Na, cmol _c dm ⁻³	0,11
K, cmol _c dm ⁻³	0,17
Al, cmol _c dm ⁻³	0,44
H, cmol _c dm ⁻³	2,83
Ca, cmol _c dm ⁻³	2,78
Mg, cmol _c dm ⁻³	1,26
T, cmol _c dm ⁻³	7,59
V, %	57,0
Areia, g kg ⁻¹	841,7
Silte, g kg ⁻¹	83,6
Argila, g kg ⁻¹	74,7
Classificação textural	Areia Franca
Densidade do solo, g cm ⁻³	1,38
Densidade de partículas, g cm ⁻³	2,70
Porosidade, %	48,88
<u>Umidade, % base solo seco</u>	
Natural	0,35
0,10 atm	13,62
0,33 atm	11,81
1,00 atm	9,48
5,00 atm	7,84
10,0 atm	5,37
15,0 atm	4,66
Água disponível	8,96

O biocarvão utilizado neste estudo foi produzido no LIS a partir da cama de aviário, resultante da criação de frangos de corte, sob pirólise lenta a 350°C (apêndice A). Para avaliar o efeito do biocarvão nas propriedades químicas do solo, utilizou-se o método de incubação, em que inicialmente as amostras de solo e biocarvão foram passadas por uma peneira de 10 malhas (2 mm); em seguida, as amostras de solo de 1,0 kg foram colocadas em sacos plásticos (unidades experimentais), misturados ao biocarvão de acordo com os tratamentos (0; 0,353; 0,706; 1,059; 1,412 e 1,765 g, correspondentes a 0; 2,024; 4,048; 6,072; 8,096 e 10,12 t ha⁻¹, respectivamente) e incubados por 100 dias com água deionizada a cerca de 60% da capacidade de campo. As doses utilizadas corresponderam ao dobro das quantidades necessárias para elevar a saturação por bases do solo em torno de 63; 69; 75; 81 e 87% calculados com base no carbonato de cálcio (Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) 100%). Isto foi feito porque não é conhecido o PRNT do biocarvão. O efeito do biocarvão nas propriedades físicas do solo seguiu a mesma metodologia de incubação descrita anteriormente, contudo, as doses foram aumentadas seguindo sugestão de Chaves et al. (2018) e a quantidade de solo reduzida para 300g. O cálculo para determinação das novas doses foi realizado de modo a elevar o teor de matéria orgânica do solo na camada arável (primeiros 20 cm de profundidade) de 18,8 g kg⁻¹ (tratamento controle) para 25,0; 31,2; 37,4; 43,6 e 49,8 g kg⁻¹ o que correspondeu a uma aplicação de 0,0; 12,39; 24,78; 37,17; 49,56 e 61,95 t ha⁻¹, respectivamente. Ambos os ensaios de incubação foram montados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

2.2. Caracterização do biocarvão

Inicialmente, uma amostra do biocarvão foi seca em estufa na temperatura de 65°C até massa constante. Em seguida procedeu-se a sua caracterização química de acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2014). A análise imediata seguiu metodologia conforme a norma ASTM: D1762–84 (2007), elaborada para carvão de madeira.

Para obter uma impressão dos poros do biocarvão foi visualizada a morfologia dos caracteres por microscopia eletrônica SEM Hitachi TM-1000. A propriedade textural do biocarvão foi analisada via isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio. O aparelho utilizado foi o Micromeritics ASAP 2420 do LAMM no CETENE. A superfície específica foi calculada de acordo com o método de Brunauer–Emmett–Teller

(BET), enquanto que a distribuição do tamanho dos poros foi obtida via método de Barrett–Joyner–Halenda (BJH). A determinação do ponto de carga zero (PCZ) foi realizada utilizando a metodologia denominada de “experimento dos 11 pontos”, descrita por Regalbutto e Robles (2004).

As análises de difração de raios X foram conduzidas a temperatura ambiente em aparelho XRD-7000 Shimadzu, utilizando radiação $K\alpha$ do cobre (1,5418 Å), tensão de 40 kV e corrente 30 mA. O biocarvão foi examinado em um intervalo de 2θ entre 10 e 80,0 graus a uma velocidade de 1°/min.2.3.

2.3. Caracterização físico-química do solo incubado

As amostras de solo incubadas foram analisadas no LIS segundo a metodologia de Teixeira et al. (2017), quanto aos seguintes atributos: pH em água, condutividade elétrica (CE), fósforo assimilável, potássio, sódio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H+Al), alumínio, Valor T (CTC do solo), Valor S (soma de bases), V% (saturação por bases), carbono orgânico (C), teores de areia, silte e argila, como também, densidade aparente e de partículas, porosidade, ponto de murcha permanente, capacidade de campo e água disponível.

2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo pelo teste F as médias foram submetidas à análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR. Para atender as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias, os valores das variáveis: acidez potencial, sódio, potássio e ponto de murcha permanente foram transformados em $1/\sqrt{x}$, $1/x$, \sqrt{x} e $\frac{x^{-2,5}-1}{-2,5}$, respectivamente. Como as variáveis não satisfizeram as pressuposições para análise de variância, a exemplo da capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), teores de areia, silte e argila, como também a densidade real, aplicou-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal- Wallis.

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização do biocarvão

A caracterização química da cama de aviário, assim como do biocarvão proveniente desta biomassa pirolisada a 350°C encontra-se na Tabela 2. Com exceção

do teor de nitrogênio, boro e umidade, verificou-se que o biocarvão obteve um aumento em todos os parâmetros analisados comparado a cama de aviário in natura. A diminuição no teor de nitrogênio era esperada uma vez em altas temperaturas de pirólise ocorrem grandes perdas de N por volatilização (AMELOOT et al., 2015).

Tabela 2. Caracterização química da cama de aviário e do biocarvão pirolisado a 350°C

Parâmetros avaliados	Cama de aviário in natura	Biocarvão de cama de aviário
pH	8,24	9,44
CE, dS m ⁻¹	5,52	7,33
Nitrogênio total, %	2,78	2,25
Fósforo (P ₂ O ₅) total, %	2,08	4,08
Potássio (K ₂ O) total, %	2,48	4,35
Cálcio, %	2,40	5,04
Magnésio, %	0,68	1,28
Enxofre, %	0,17	0,41
Boro, %	0,01	0,01
Zinco, %	0,02	0,05
Cobre, %	<0,01	0,01
Manganês, %	0,02	0,05
Ferro, %	0,26	0,72
Umidade, %	13,29	4,52
Carbono orgânico, %	37,57	42,22
Relação C/N	13,51	18,76

O biocarvão, quando comparado a cama de aviário in natura, apresentou um maior caráter alcalino e uma maior salinidade. Tanto o pH quanto a CE são parâmetros importantes associados ao crescimento da planta. Segundo Franchini et al. (2001), Pavinato (2007) e Pavinato e Rosolem (2008), é comum ocorrer elevação no pH do solo com a adição de resíduos vegetais. Segundo os autores, este resultado seria o efeito da complexação dos cátions H⁺ e Al³⁺ pela matéria orgânica e do aumento da saturação da CTC do solo com Ca, Mg e K oriundo do resíduo vegetal. Com relação aos valores mais altos de CE, os mesmos estão associados à alta salinidade, uma condição que pode levar a uma diminuição na absorção de água pelas raízes das plantas e causar um subsequente desequilíbrio de nutrientes (MENDEZ et al., 2016).

Quanto aos demais nutrientes (Tabela 2), os que apresentaram maiores aumentos após a pirólise foram: Ferro (176,9%) > manganês e zinco (150%) > enxofre (141,2%) > cálcio (110%) > fósforo (96,2%) > magnésio (88,2) > potássio (75,4%). Tais resultados sugerem que o biocarvão incorporado ao solo contribui para a melhoria das suas características químicas.

As propriedades do biocarvão dependem das condições de pirólise (temperatura, tempo de permanência e tipo de reator) e da matéria-prima. O biocarvão pirolisado a 350°C, apresentou quanto à análise imediata, os seguintes resultados: rendimento (32,03%); teor de massa de voláteis (40,1%), cinzas (32,1%), carbono fixo (27,8%) e umidade (0,2%). O material volátil é considerado como a porção da massa do material original que é perdida durante a pirólise, sendo composta de materiais lábeis (metanol, ácido acético, CO, H₂ e CO₂, moléculas com pequenas massas moleculares, tais como: ácidos graxos, óleos e resinas, além da decomposição das hemiceluloses e da liberação de água). Os teores de voláteis variam em função da matéria prima utilizada no processo de pirólise, por exemplo, os biocarvões provenientes de madeira têm maior conteúdo de material volátil quando comparado aos provenientes de resíduos culturais e rejeitos animais. Entretanto, de forma geral, os voláteis resultam em maior variação entre os valores de biocarvões produzidos em temperaturas diferentes (ENDERS et al., 2012; ZHAO et al., 2013).

O teor de cinzas é determinado após a completa combustão de algum material quando todos os elementos orgânicos são volatilizados (ENDERS et al., 2012). O teor de cinzas (32,1%) está correlacionado à considerável concentração de elementos inorgânicos (K, P, Ca e Mg) presente na cama de aviário, que se acumulou após a volatilização dos compostos de C, O e H. Tais resultados corroboram (DOMINGUES et al., 2017). O teor de carbono fixo (TCF) é a porção do material na sua forma mais resistente que permanece no biocarvão depois que os materiais voláteis são retirados, geralmente organizados em cadeias aromáticas (AMONETTE & JOSEPH, 2009).

A análise morfológica permitiu analisar o biocarvão quanto ao tamanho da massa, forma e estrutura. A morfologia é geralmente obtida como uma imagem da superfície do biocarvão, diferindo em função da temperatura de pirólise e da biomassa utilizada do processo de produção (MUKOME et al., 2013; ÖZÇİMEN & ERSOY-MERICBOYU, 2010). A imagem de microscopia eletrônica de varredura da superfície do biocarvão de cama de aviário (Figura 1) demonstra haver uma relativa uniformidade de poros em alguns pontos na superfície da amostra.

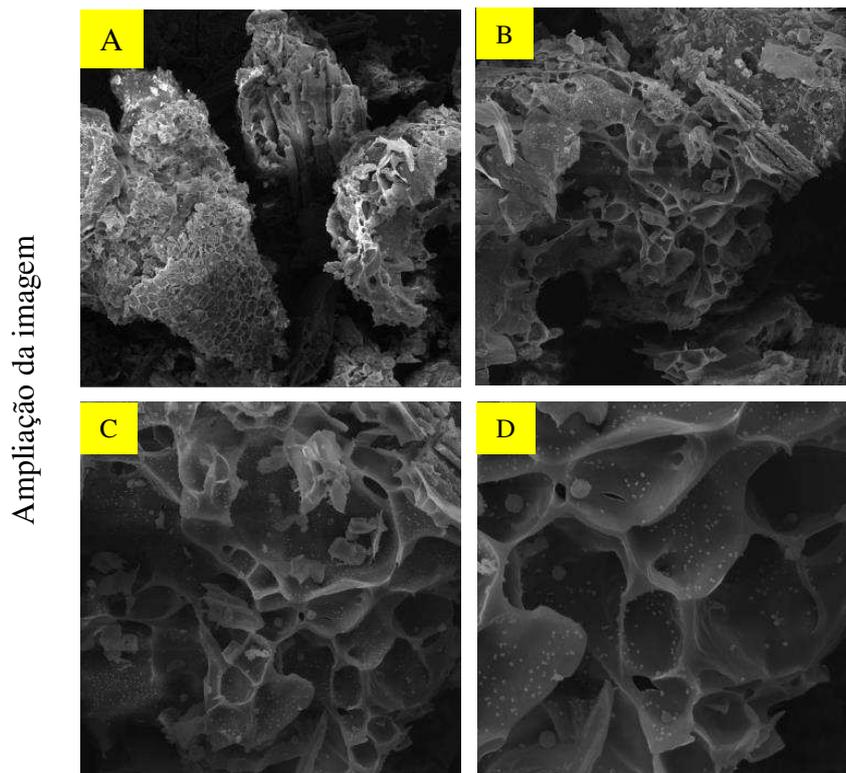


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura do biocarvão de cama de aviário pirolisado a 350°C. Imagem ampliada 250x (A), 500x (B), 1000 (C) e 2000 (D).

Segundo Sharma et al. (2004), a biomassa utilizada no preparo do biocarvão, após iniciar a decomposição térmica, sofre modificação estrutural com a formação de poros. Os poros inicialmente observados quando pirolisados a baixa temperatura indicam o início da liberação dos gases voláteis aprisionados dentro da biomassa de origem (ZHAO et al., 2017). Com o aumento da temperatura, a estrutura porosa é aumentada, mas nem sempre em ordem uniforme e homogênea, indicando ainda, possivelmente, material volátil contido à estrutura. A porosidade é uma característica importante dos biocarvões, pois influenciam no transporte de fluídos, principalmente quando os mesmos são utilizados como materiais adsorventes (ATKINSON et al., 2010). Além do mais, a adição de biocarvão tanto em solos arenosos, como argilosos reduz a densidade e aumenta a retenção de água do solo, o que pode ser explicado pela natureza porosa do biocarvão (ULYETT et al., 2014).

A análise por adsorção de N₂ permitiu a determinação da área superficial específica (BET), do volume de poro e do tamanho médio dos poros do biocarvão de cama de aviário. O biocarvão apresentou um tamanho médio de poros de aproximadamente 14,8 nm (Figura 2A), característico de mesoporos (2 a 50 nm) e uma

área superficial de $3,37 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Durante o processo de pirólise da cama de aviário, dependendo da temperatura empregada no processo, há formação de macro, meso e microporos devido à perda de massa em volume na forma de compostos voláteis, incluindo hemicelulose, celulose e lignina o que contribui para o aumento da área de superfície específica do biocarvão (BROWN et al., 2006). Como verificado na análise morfológica (Figura 1), a presença de túbulos intactos correlaciona-se com uma distribuição de mesoporos confirmada pelo método de sorção de gás N_2 (Figura 2A).

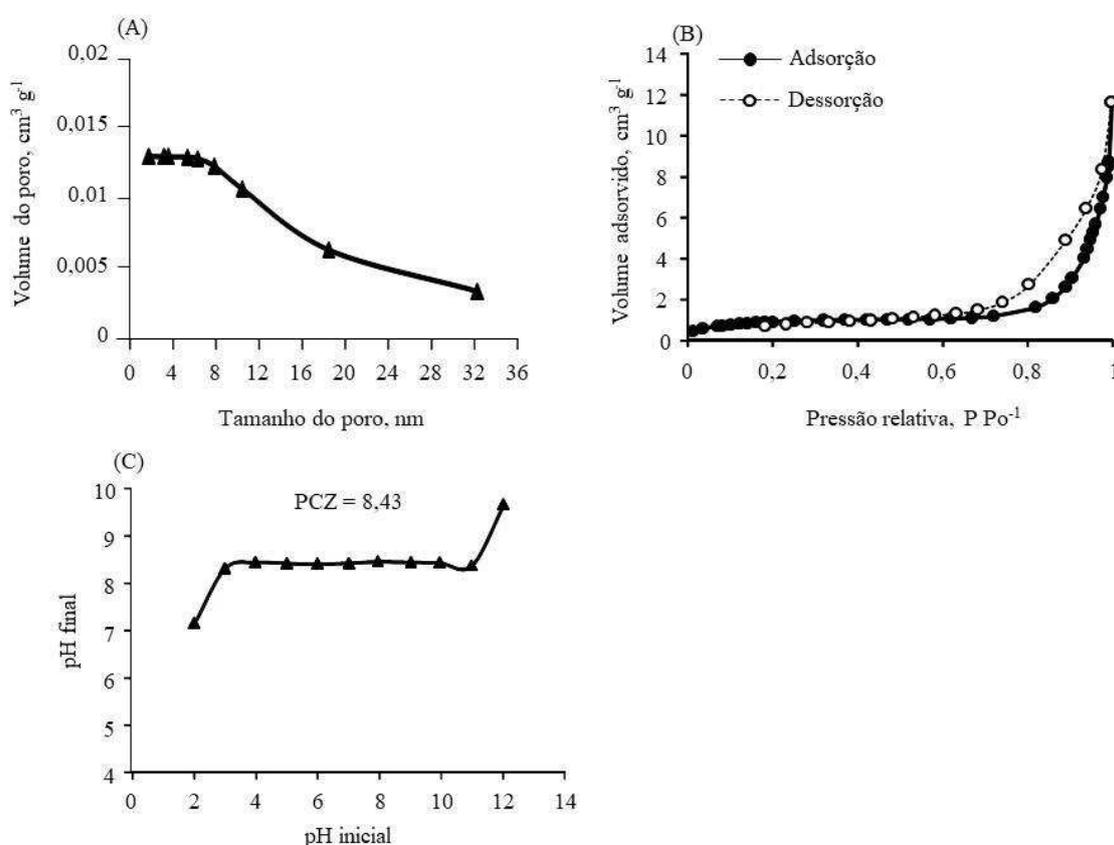


Figura 2. Curva de distribuição de tamanho de poros (A), isoterma de adsorção-dessorção do N_2 a 77,3 K (B) e pH PCZ para o biocarvão de cama de aviário pirolizado a 350°C (C).

A isoterma de adsorção-dessorção de N_2 para o biocarvão de cama de aviário (Figura 2B) assemelha-se à isoterma do tipo IV (THOMMES et al., 2015), característica de sólidos contendo mesoporos. A histerese natural ocorrida para essas frações é ocasionada pelo formato interno e condensamento do gás nos mesoporos, em partículas esferoidais de tamanho uniforme, compactas ou aglomeradas (LOWELL et al., 2004).

Em processos de adsorção, a determinação do ponto de carga zero (PCZ) é importante uma vez que a variação do pH da solução influencia diretamente nas cargas superficiais do biocarvão e conseqüentemente nas interações eletrostáticas entre o adsorvente e o adsorvato (OH et al., 2012). Assim, a carga superficial do biocarvão será positiva ou negativa quando inserido em solução com pH abaixo ou acima de PCZ, respectivamente (ABDEL-FATTAH et al., 2014). Realizando a média aritmética do logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica dos valores que se apresentam constantes no pH final, após o tempo de equilíbrio da solução, obteve-se para o biocarvão o valor do pHPCZ igual a 8,43 (Figura 2C).

Os padrões de DRX (Difração de Raios X) do biocarvão de cama de aviário (Figura 3) foram complexos, apresentando padrões de picos amplos com algum grau de ordem em curto alcance indicando que o material é amorfo. Tais características dificultaram a atribuição de picos menores e minerais específicos, corroborando Clemente et al. (2018).

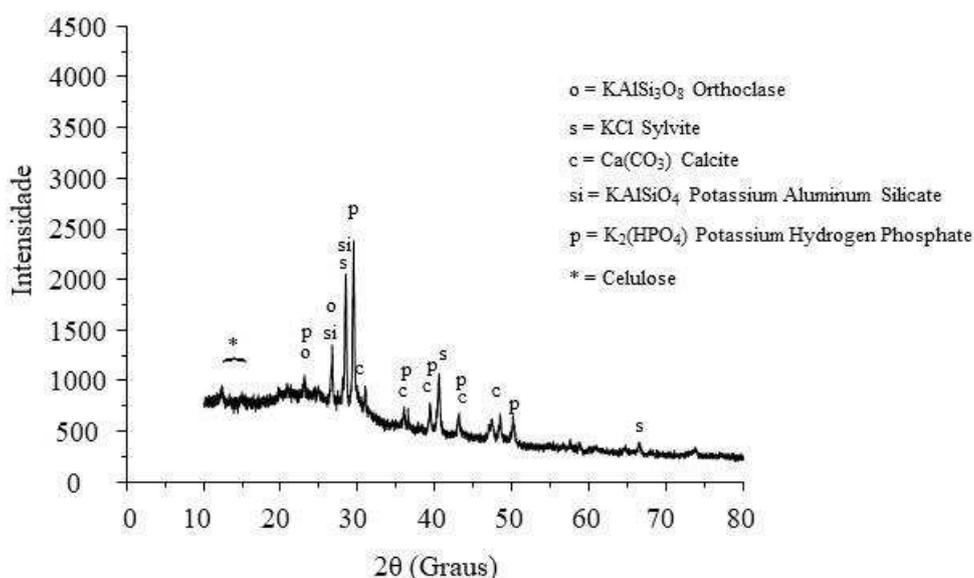


Figura 3. Padrão de difração de raios X do biocarvão de cama de aviário

Observa-se que os picos mais fortes a 2θ $28,346^\circ$ ($d = 3,146 \text{ \AA}$) e $40,509^\circ$ ($d = 2,225 \text{ \AA}$) indicam a presença de componentes inorgânicos com o elemento potássio em sua constituição, como por exemplo, a silvita (KCl, PDF 041-1476) e a 2θ $28,790^\circ$ ($d = 3,098 \text{ \AA}$) para aluminossilicato de potássio (KAlSiO_4 , PDF 050-0437). A presença de calcita (CaCO_3) evidencia, como relatado anteriormente, o caráter alcalino do biocarvão de cama de aviário. O cálcio pode formar diferentes compostos dependendo da

temperatura de pirólise empregada durante a produção do biocarvão. Clemente et al. (2018), avaliaram treze biocarvões provenientes de diferentes biomassas e verificaram que o biocarvão de salgueiro produzido a 450°C apresentou em sua constituição o oxalato de cálcio e a 500°C a calcita. A forma mineral na qual o cálcio encontra-se no biocarvão influencia a capacidade do mesmo em neutralizar solos ácidos. Com valores de pKa de 1,27 a 4,28, o oxalato pode ser menos efetivo em neutralizar solos ácidos quando comparado ao carbonato, que tem um pKa de 6,4 a 10,3 (GOLDBERG et al., 2002).

Também foram identificados compostos de feldspato [Ortoclasio (KAlSi_3O_8)] e fosfato de potássio ($\text{K}_2(\text{HPO}_4)$), confirmando o resultado da análise química do biocarvão de cama de aviário que apresentou considerável teor de P, K, Ca e Mg. Os presentes padrões de DRX foram bastante semelhantes ao padrão do biocarvão derivado da cama de galinha relatado por Koutcheiko et al. (2007). Uma vez que a cristalinidade da amostra neste trabalho não é de natureza inerente do biocarvão, acredita-se que a presença de minerais inorgânicos existente no mesmo, seja provavelmente, oriunda da existência de solo na biomassa utilizada como cama no aviário, das fezes das aves (que metabolizam aproximadamente 70% dos nutrientes) e da ração fornecida, que apresenta, além do milho e da soja em sua constituição, um composto denominado núcleo (complexo vitamínico mineral), fosfato bicálcico e cálcio calcítico.

3.2. Caracterização química do solo incubado

As doses de biocarvão influenciaram significativamente, com exceção de cálcio e magnésio, os parâmetros químicos do solo (Tabela 3). Verificou-se aumento no pH em 0,5 unidades e na condutividade elétrica (CE) em 40,8% (Figuras 4A e 4B). Considerando as propriedades químicas do biocarvão estudadas (Tabela 1), o aumento do pH do solo pode estar associado a maior disponibilidade de cátions básicos e à subsequente dissolução de hidróxidos e carbonatos (LUCCHINI et al., 2014).

Tabela 3. Análise de variância para pH do solo, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono (C), fósforo (P), soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al), sódio (Na) e potássio (K), analisados após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão.

FV	Gl	Quadrado médio									
		pH	CE	Ca	Mg	C	P	SB	H+Al ⁽¹⁾	Na ⁽²⁾	K ⁽³⁾
Dose	5	0,18**	0,04*	0,10 ^{ns}	0,13 ^{ns}	12,57**	1899,82**	0,38**	0,119**	42,92**	0,0657**
Linear	1	0,81**	0,164**	-	-	61,21**	8997,02**	0,92**	0,46**	194,13**	0,306**
Quadrático	1	0,01 ^{ns}	0,009 ^{ns}	-	-	0,29 ^{ns}	133,64 ^{ns}	0,91**	3e ^{-4ns}	0,11 ^{ns}	0,002*
Desvio	3	0,03*	0,011 ^{ns}	-	-	0,45 ^{ns}	122,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,0426**	6,79**	0,006**
Erro	18	0,01	0,01	0,06	0,05	1,63	145,14	0,05	0,002	0,70	4 e ⁻⁴
CV (%)		1,79	15,01	6,81	14,44	13,19	26,47	4,20	6,55	8,14	4,48
Média geral		5,58	0,72	3,72	1,67	9,68	45,50	5,75	0,80	10,29	0,48

**,*^{ns}Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente; ^{1,2,3}Dados transformados em 1/ \sqrt{x} , 1/x e \sqrt{x} , respectivamente.

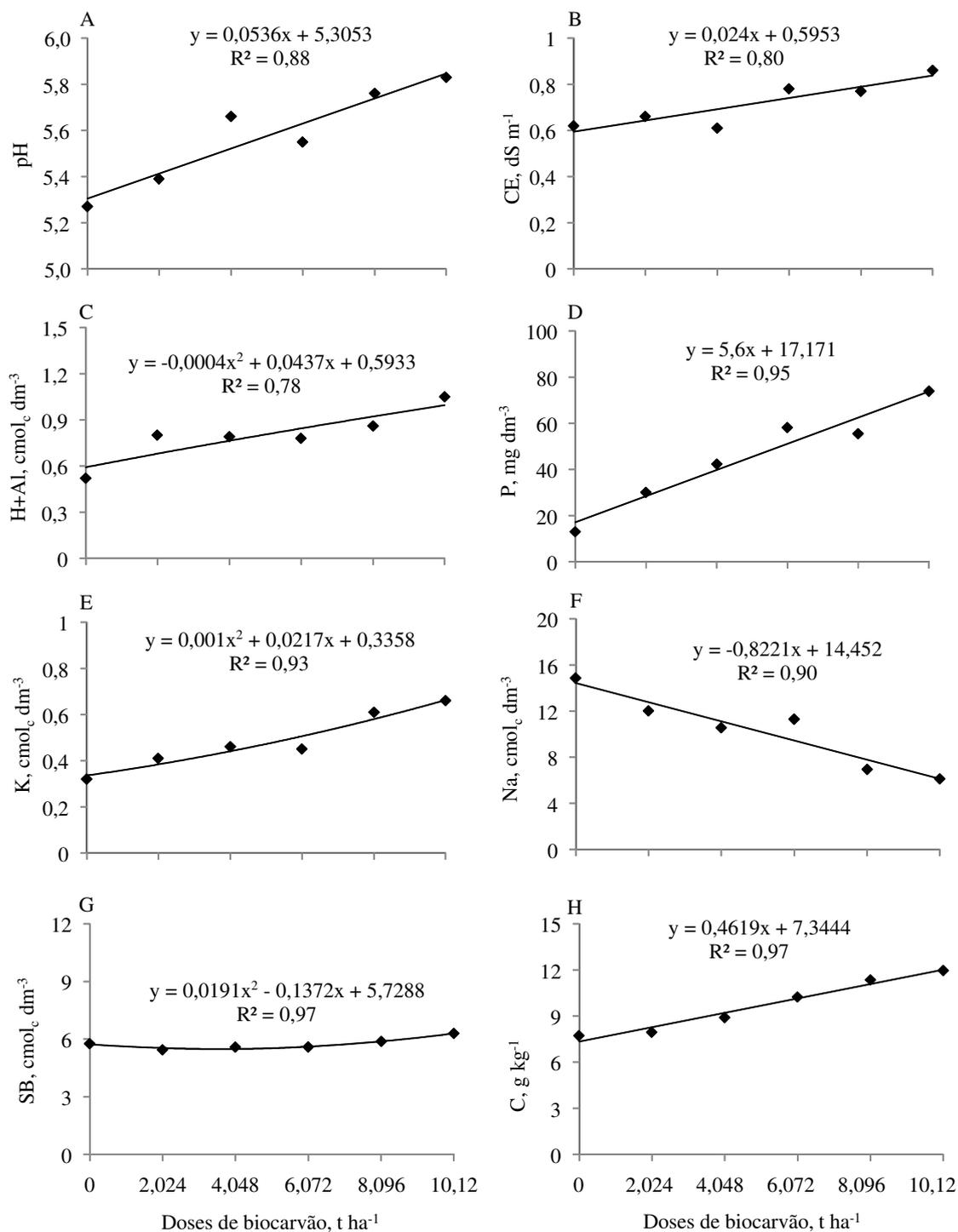


Figura 4. Valores de pH do solo, condutividade elétrica (CE), fósforo (P), potássio (K), hidrogênio (H + Al), sódio (Na), carbono (C), soma de bases (SB) após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão.

Observa-se um aumento no pH do solo com as doses de biocarvão aplicado (Figura 4A). Segundo Sparks (2003), mudanças no pH do solo ocorrem quando cátions do biocarvão deslocam o alumínio (Al) dos locais de trocas da argila e/ou

matéria orgânica e depois reagem com as espécies Al monoméricas solúveis. Além disso, dependendo da biomassa a ser utilizada na preparação do biocarvão, cátions básicos como Ca, K, Mg e Si pode formar óxidos alcalinos ou carbonatos durante o processo de pirólise e, uma vez liberado no ambiente, reagir com H⁺ e Al monomérico, aumentando o pH do solo e diminuindo a acidez trocável (NOVAK et al., 2009).

Quanto à condutividade elétrica, a liberação de nutrientes ao solo pelo biocarvão contribuiu para que ocorresse um acréscimo nas médias desta propriedade do solo (Figura 4B). Isto corrobora os resultados encontrados por BUTNAN et al., 2015. Sabe-se que a biomassa utilizada no preparo do biocarvão pode influenciar os valores de CE deste insumo. Por exemplo, Silva et al. (2017) utilizando biocarvões de silagem de arroz, serragem e sorgo observaram valores de condutividade elétrica de 121,8, 69,8 e 97 mS cm⁻¹, respectivamente. Sendo assim, a capacidade fertilizante do biocarvão será proporcional à concentração de nutriente presente na biomassa.

Embora observado um aumento na acidez potencial (H+Al) do solo (Figura 4C), quando considerados os dados não transformados, verificou-se uma redução significativa na concentração de H+Al correspondente a 75,07% entre o tratamento controle e a dose 10,12 t ha⁻¹ de biocarvão. Além do mais, foi constatado a presença de alumínio (0,11 cmol_c dm⁻³) apenas no tratamento controle (ausência de biocarvão).

A aplicação da maior dose de biocarvão promoveu, quando comparado ao tratamento controle, um aumento no teor de fósforo do solo em 330,0%. (Figura 4D). A concentração de P no biocarvão utilizado nesta pesquisa (4,08%) e o aumento do pH do solo promovido por esse insumo influenciaram positivamente o aumento do P no solo corroborando Martinez et al. (2017). Segundo estes autores, após oito dessorções consecutivas, o biocarvão de *Eucalyptus globulus* aumentou a liberação de fósforo em comparação com o solo natural, entre 78 e 84%, promovendo uma maior disponibilidade desse elemento para as plantas. É importante ressaltar que o biocarvão de cama de aviário utilizado nesta pesquisa apresenta em sua constituição o fosfato de potássio dibásico (K₂HPO₄). Este composto, durante o período de incubação, pode ter contribuído para que ocorresse o aumento significativo no teor de fósforo do solo.

Assim como o fósforo, as doses de biocarvão influenciaram significativamente o teor de potássio, apresentando uma concentração máxima de 0,43 cmol_c dm⁻³ (dados não transformados) com uma dose de 10,12 t ha⁻¹ (Figura 4E).

Quanto ao sódio (Figura 4F), seu teor no solo aumentou a uma taxa de 0,0088 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (dados não transformados) para cada tonelada de biocarvão aplicado.

Neste trabalho, os conteúdos de cálcio e magnésio não foram influenciados pelo biocarvão, cujas médias foram 3,72 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 1,67 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Estes resultados são contrários aos resultados obtidos por Fernandes et al. (2018) que verificaram um aumento no teor de todos os cátions básicos, nos primeiros 10cm de profundidade de uma coluna de lixiviação, após a aplicação de doses crescentes de biocarvão.

Os dados de soma de bases (SB) se ajustaram a um modelo de regressão polinomial de segunda ordem (Figura 4G). A menor SB (5,48 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtida com o uso de 3,59 t ha^{-1} de biocarvão e a maior teor (6,29 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) aplicando-se a maior dosagem, correspondendo a um acréscimo de 10,07% quando comparado ao tratamento controle.

O potássio foi o elemento que mais contribuiu para o aumento na soma de bases, isto porque, os teores de cálcio e magnésio não foram influenciados significativamente pelo biocarvão e o sódio e o potássio apresentaram um incremento em suas concentrações, com a aplicação de 10,12 t ha^{-1} , de somente 2,66% e 271,02% (dados não transformados), respectivamente. O aumento considerável no teor de potássio é justificado pela presença de compostos tais como: cloreto de potássio (KCl), potássio aluminossilicato (KAlSiO_4) e o fosfato de potássio dibásico (K_2HPO_4), como discutido anteriormente.

Verificou-se aumento positivo no teor de carbono orgânico do solo (C) a uma taxa de 0,4619 g kg^{-1} por t ha^{-1} de biocarvão aplicado (Figura 4H), corroborando Fernandes et al. (2018). Tal resultado é importante uma vez que o carbono orgânico ajuda a melhorar e a manter a fertilidade do solo a longo prazo. Além disso, no presente estudo, o aumento do C também resultou em benefícios sinérgicos, com redução da densidade aparente do solo e aumento da disponibilidade principalmente de K, P e Na para as plantas.

Estudos têm demonstrado que a aplicação do biocarvão, quando comparada a biomassa utilizada em sua fabricação, tem maior permanência no solo devido à sua natureza recalcitrante, que pode atingir centenas de anos (STEINER et al., 2008; CHENG et al., 2008; ZIMMERMAN, 2010). Estudos realizados por Van Zwieten et al. (2010) evidenciaram que o biocarvão de celulose aumentou significativamente o teor de C do solo na faixa de 0,5 a 1,0%. Além disso, o biocarvão mostrou-se eficaz no

seqüestro de carbono (VACCARIA et al., 2011), aumentando a fertilidade do solo (WANG et al., 2009) e melhorando o potencial de calagem de solos ácidos (YUAN et al., 2011). Benefícios práticos do biocarvão no aumento do C e manutenção da fertilidade do solo foram demonstrados em condições de campo em solos tropicais africanos na Zâmbia, onde foi alcançado um aumento no rendimento de milho de 234% (MARTINSEN et al., 2014).

A maior capacidade de troca catiônica (CTC) foi verificada no tratamento controle (Figura 5A), contudo, 39,08% dos sítios de troca estavam ocupados pela acidez potencial (H+Al). Com a aplicação de 2,024 t ha⁻¹ a CTC do solo diminuiu 25,74%, tal justificativa está associada à diminuição da acidez potencial. A partir desta dose, verificou-se um aumento na CTC do solo, porém as médias obtidas nos tratamentos 6,072; 8,096 e 10,12 t ha⁻¹ não diferiram entre si.

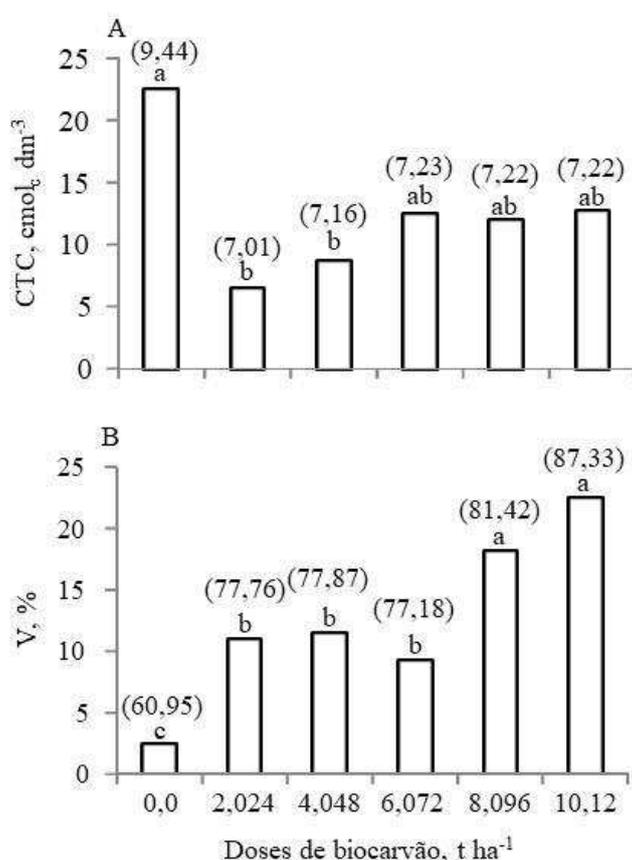


Figura 5. Capacidade de troca catiônica (A) e saturação por bases (B) em função da aplicação de doses de biocarvão. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntese correspondem às médias.

A pesar da diminuição da CTC do solo, as doses de biocarvão influenciaram positivamente a saturação de bases (V%), cujo aumento correspondeu a 43,28% quando comparada às médias entre o tratamento controle e a maior dose de biocarvão (Figura 5B). Ainda analisando esta figura, percebe-se que as médias, com a aplicação de 8,096 e 10,12 t ha⁻¹, não diferem entre si, no entanto, tais dosagens diferiram dos demais tratamentos, apresentando na ausência de biocarvão, a menor média observada.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram Major et al. (2010), que também verificaram aumento no pH, disponibilidade de fósforo e cátions trocáveis, como Na e K no solo. É importante ressaltar que o aumento dessa fertilidade do solo devido à aplicação de biocarvão dependerá da biomassa utilizada no seu preparo. Por exemplo, o biocarvão usado nesta pesquisa foi produzido a partir de bagaço de cana-de-açúcar, cuja base da ração dos frangos de corte foi: milho, soja, calcário, fosfato dicálcico e núcleo (suplemento de aminoácidos, vitaminas e minerais); a concentração de nutrientes e a quantidade de ração oferecida variam de acordo com a categoria do frango (corte ou postura) e as necessidades nutricionais do animal em diferentes estágios de desenvolvimento. Portanto, os nutrientes fornecidos pelo biocarvão de cama de aviário são derivados da biomassa usada como "cama" nos galpões (aviários), das fezes das aves e do desperdício de ração (em torno de 3%). Além disso, o biocarvão pode ter um aumento na composição nutricional quando a biomassa é reutilizada em novos lotes de produção de aves (MENDES et al., 2012).

3.3. Caracterização física do solo incubado

Todas as características físicas e físico-hídricas do solo avaliadas neste estudo foram influenciadas significativamente pelas doses de biocarvão (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para densidade aparente (DA), porosidade (PO), capacidade de campo (CC), água disponível (AD) e ponto de murcha permanente (PMP) do solo analisado após período de incubação.

FV	Gl	Quadrado médio				
		DA	PO	CC	AD	PMP ¹
Dose	5	0,0202**	27,85**	2,767**	1,256**	1e ^{-5**}
Linear	1	0,0996**	137,18**	13,68**	5,97**	4,4e ^{-5**}
Quadrático	1	7e ^{-4ns}	1,22 ^{ns}	6e ^{-4ns}	0,06 ^{ns}	2e ^{-6ns}
Desvio	3	3e ^{-4ns}	0,29 ^{ns}	0,052 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2e ^{-6ns}
Erro	18	9,0e ⁻⁴	1,16	0,168	0,143	7,08e ⁻⁷
CV (%)		2,40	2,03	3,19	4,90	0,21
Média geral		1,29	53,19	12,85	7,72	0,39

**^{ns}Significativo a 1% e não significativo, respectivamente; ¹Dados transformados em $\frac{x^{-2,5} - 1}{-2,5}$.

O solo incubado com o biocarvão apresentou uma redução significativa da densidade de 13,70%, quando comparado o tratamento controle com a maior dose (61,95 t ha⁻¹) (Figura 6A). Este resultado corrobora Omondi et al. (2016), que relataram redução na densidade aparente do solo em 7,6% após aplicação de biocarvão. A diminuição gradual da densidade aparente com o aumento das doses de biocarvão também foi observada por Liu et al. (2016).

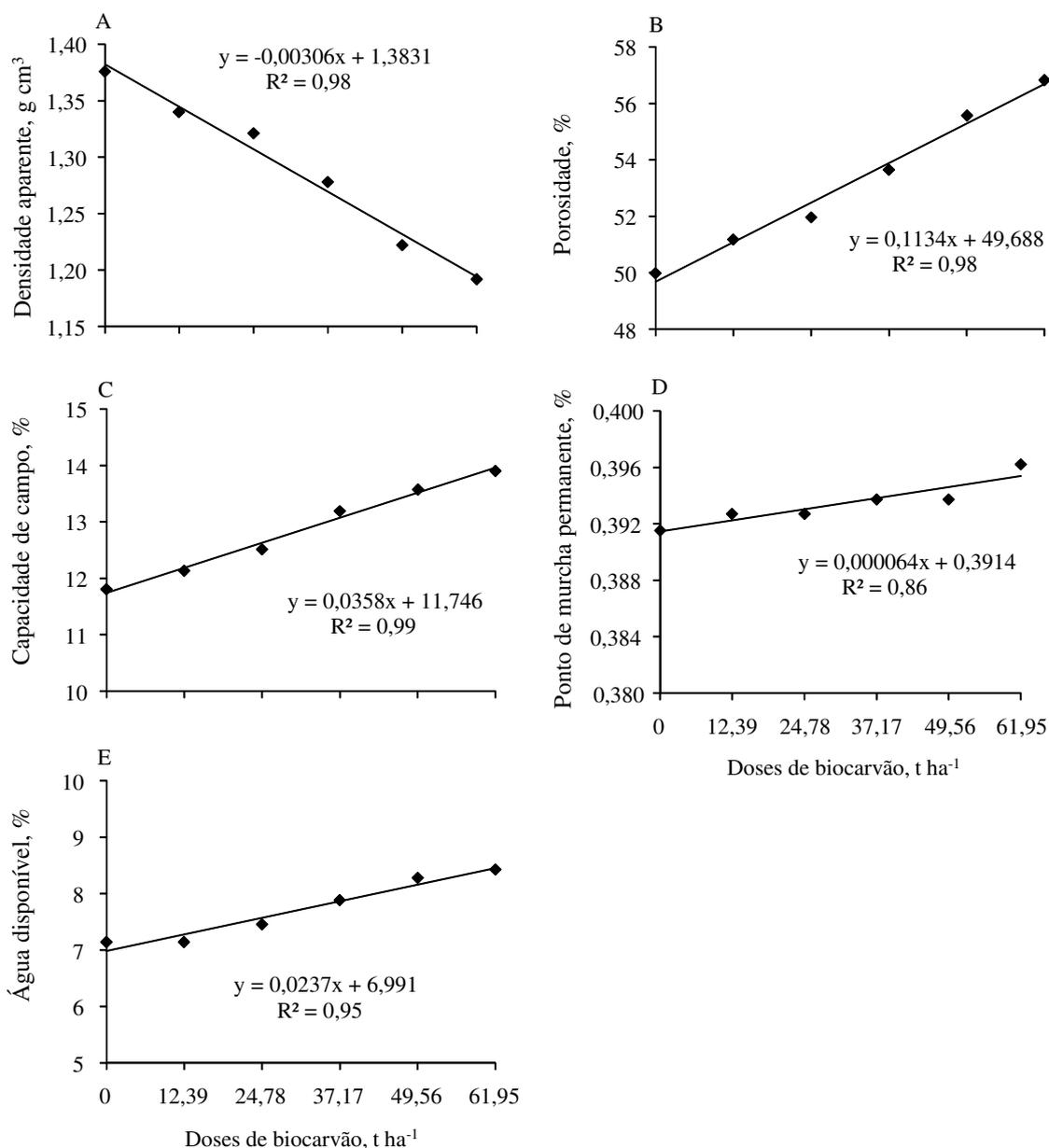


Figura 6. Valores de Densidade Aparente, Porosidade, Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e água Disponível no solo após período de incubação em função da aplicação de doses de biocarvão.

A redução na densidade do solo observada neste trabalho está relacionada ao quantitativo de biocarvão aplicado, isto seguramente devido que o biocarvão tem uma densidade de 0,32 g cm⁻³ muito menor que a do solo areia franca utilizado neste trabalho com uma densidade aparente de 1,38 g cm⁻³. A aplicação de biocarvão reduziu a densidade do solo em virtude do efeito da mistura do denso solo com o biocarvão de menor densidade. Segundo Duarte et al. (2019) redução na densidade aparente de solos

arenosos é mais evidente quando comparada aos argilosos devido a maior diferença de densidade entre solos arenosos e biocarvão.

A diminuição da densidade do solo influenciou diretamente a porosidade do solo, cujas médias aumentaram linearmente a uma taxa de 0,1134% por t ha⁻¹ de biocarvão aplicado. Comparando o tratamento controle com a maior dose verifica-se um acréscimo de 14,15% (Figura 6B). Estes resultados corroboram Omondi et al. (2016) que relataram, após adição de biocarvão, aumento na porosidade do solo em 8,4%. Segundo Mukherjee e Lal (2013), a densidade aparente do solo varia inversamente com a porosidade em função da aplicação do biocarvão, porque a porosidade do biocarvão é muito alta e, quando utilizada no solo, diminui significativamente a densidade aparente, aumentando o volume de poros. Quanto maior o número de poros (macro poros) que o solo apresenta, menor sua densidade.

O aumento da porosidade do solo, verificado no presente trabalho, pode estar relacionado à morfologia do biocarvão que apresentou características de material mesoporoso. De acordo com Rouquerol et al. (1999), materiais mesoporos são aqueles que apresentam diâmetro compreendido entre 20 e 50 nm. Portanto, a diminuição na densidade aparente do solo e o aumento na porosidade podem ser atribuídos principalmente à baixa densidade das partículas do biocarvão e a natureza porosa do biocarvão. Estudos apontam que os efeitos do biocarvão na densidade e porosidade do solo parecem ocorrer independentemente do tipo de biocarvão, da duração de estudo e do tipo de solo, mas os solos arenosos parecem ser mais responsivos à aplicação do biocarvão do que os solos com alto teor de argila (BLANCO-CANQUI, 2017). O aumento da porosidade do solo pode ter implicações positivas no movimento da água, calor e trocas gasosas no solo (CHAVES et al., 2018).

A capacidade de campo (*CC*), ponto de murcha permanente (*PMP*) e água disponível (*AD*) no solo (Figuras 6C, 6D e 6E, respectivamente) aumentaram linearmente com a aplicação do biocarvão. O acréscimo na capacidade de campo e no ponto de murcha (com base nos dados não transformados), na maior dose de biocarvão, correspondeu a 17,79% e 39,78%, respectivamente. Esses aumentos em *CC* e *PMP* resultaram em maior *AD*, cuja disponibilidade de água foi acrescida a uma taxa de 0,1447% por t ha⁻¹ de biocarvão. É provável que os poros no interior do biocarvão (intraporos) e os poros criados entre as partículas do biocarvão e as do solo desempenham papéis diferentes na retenção de água no solo. Segundo Liu et al. (2017), os intraporos controlam a retenção de água a valores mais baixos de potencial hídrico do

solo, causando um aumento na capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para a planta em misturas médias e grossas de biocarvão-areia. No entanto, os interporos controlam a retenção de água em valores mais altos do potencial hídrico do solo para misturas finas de biocarvão-areia.

É importante ressaltar que o tamanho semelhante de partículas entre o biocarvão e o solo utilizado neste estudo, embora apresentem aspectos diferentes, pode ter promovido aumentos na capacidade de campo, ponto de murcha e disponibilidade de água. O tamanho das partículas pode influenciar os intraporos e interporos através de diferentes processos, porque o tamanho e a conectividade dessas partículas provavelmente diferem. Além disso, quando aplicadas em campo, as partículas de biocarvão podem ter tamanhos e formatos diferentes (dependendo da biomassa utilizada no processo de pirólise) em comparação com as partículas do solo. Essa adição de grãos de biocarvão com diferentes formas e tamanhos alterará as características dos interporos (tamanho, forma, conectividade e volume) do solo e, portanto, afetará o armazenamento e a mobilidade da água. Liu et al. (2017), verificaram em seu trabalho que a capacidade de campo, ponto de murcha e disponibilidade de água apresentam redução em suas médias à medida que o tamanho das partículas do biocarvão diminuiu como resultado do desaparecimento dos intraporos.

Vários pesquisadores observaram um aumento no teor de água disponível em função da aplicação de biocarvão no solo (LAIRD et al., 2010; ASLAM et al., 2014), contudo, a maioria dos experimentos realizados até o momento sobre esse efeito usam altas taxas deste insumo como, por exemplo, 100 e 200 t ha⁻¹ (KAMMANN et al., 2011) e 50 e 100 t ha⁻¹ (CHAN et al., 2007), o que parece impraticável, em termos quantitativos, ao nível de agricultor (HERATH et al., 2013). Tryon (1948) e Herath et al. (2013), comentaram que o aumento da capacidade de retenção de água no solo depende da textura e porosidade do solo, ou seja, aumenta significativamente a capacidade de retenção de água no solo no caso de solo arenoso por aplicação de biocarvão decorrente do aumento na porosidade do solo e da natureza adsortiva do biocarvão. O aumento na água disponível verificado neste trabalho pode resultar em melhor crescimento e desenvolvimento das plantas quando cultivadas no Argissolo devido as melhores condições do ponto de vista da física do solo.

Dos separados texturais que compõem o solo, apenas o teor de argila variou ($p < 0,05$) de acordo com as doses crescentes de biocarvão, com redução de 37,35% entre o tratamento controle e a dose de 61,95 t ha⁻¹ aplicado ao solo (Figura 7A).

Embora não significativo, verificou-se uma tendência em aumento na quantidade de areia (Figura 7C) e, quanto ao silte, suas médias foram praticamente as mesmas independentemente da dose de biocarvão aplicado (Figura 7B). Provavelmente essa variação está de acordo com o comportamento do biocarvão. Segundo Chaves et al. (2018) embora o biocarvão de cama de aviário seja orgânico, quando analisado quanto ao comportamento textural, apresenta 836,8; 100,0 e 63,2 g kg⁻¹ de areia, silte e argila.

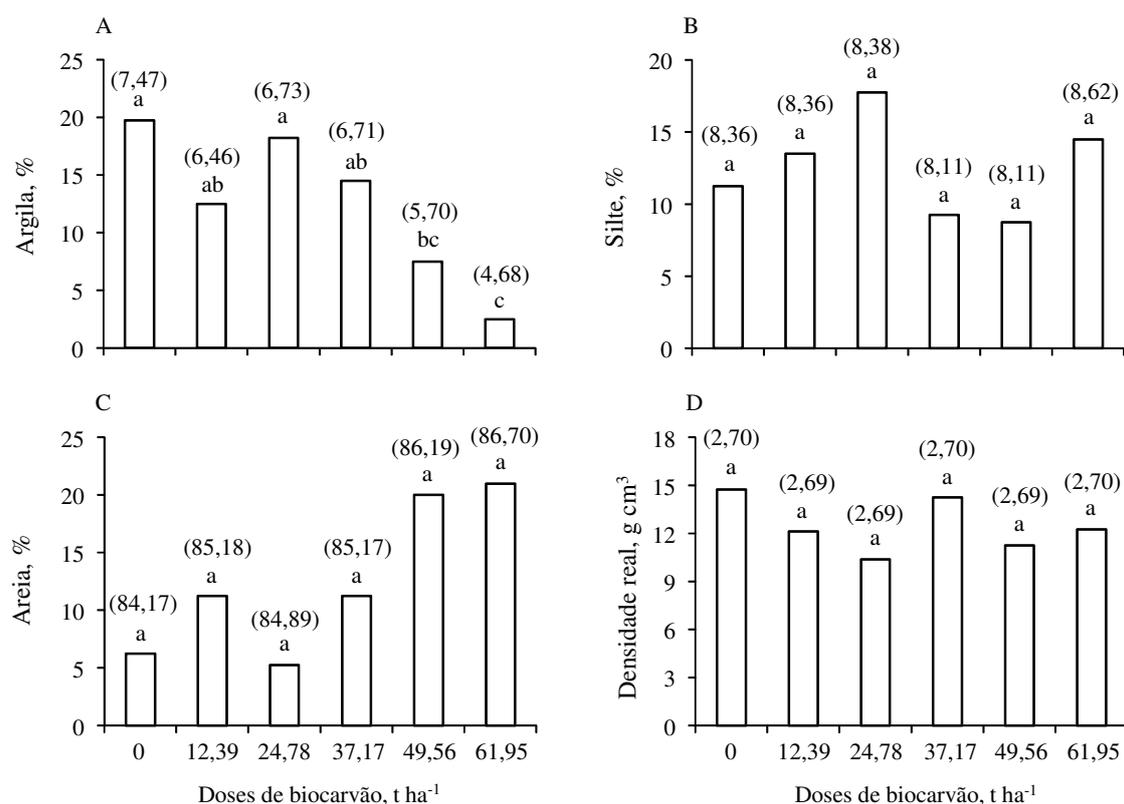


Figura 7. Argila (A), silte (B), areia (C) e densidade real do solo (D) incubado com diferentes doses de biocarvão. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntese correspondem às médias.

A densidade real influencia a porosidade, sedimentação das partículas, superfície específica, propriedades térmicas, entre outras. Analisando a figura 7D, percebe-se que as doses de biocarvão aplicadas não promoveram alterações significativas na densidade real do solo o que pode estar relacionado a pouca quantidade de biocarvão

aplicado ao solo. Embora a grande diferença existente entre a densidade real do biocarvão ($1,10 \text{ g cm}^{-3}$) e a do solo ($2,73 \text{ g cm}^{-3}$) aparentemente o biocarvão não exerceu influência marcante na densidade final da mistura. Tal resultado não corrobora Githinji (2014) que verificou redução gradual na densidade das partículas de um solo argilo arenoso cuja variação correspondeu a 2,62; 2,43; 2,37; 2,09 e $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ com a aplicação de biocarvão nas taxas de 0, 25, 50, 75 e 100% em volume, respectivamente. Ainda, segundo este autor, a aplicação da maior dose de biocarvão reduziu a densidade de partículas em 64%.

De fato, o biocarvão não é formado por areia, silte e argila, mas de acordo com o tamanho das partículas do biocarvão, durante a análise do tamanho das partículas usando hexametáfosfato de sódio como dispersante, estas poderiam se comportar como se fossem partículas minerais, em relação ao tamanho das partículas.

4. CONCLUSÕES

A aplicação do biocarvão ao solo favoreceu as características químicas deste, observando-se um alto potencial do biocarvão como corretivo da acidez do solo e como fonte de nutrientes, principalmente P e K.

Considerando que a aplicação de biocarvão ao solo aumenta sua condutividade elétrica, sua aplicação deve ser bem acompanhada pois valores altos desta estão associados à alta salinidade, uma condição que pode levar a uma diminuição na absorção de água pelas raízes das plantas e causar um subsequente desequilíbrio de nutrientes.

O biocarvão adicionado ao solo proporcionou melhorias nas características físico-hídricas do solo, tais como aumento na capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível, aumentando seus benefícios com as doses aplicadas.

O uso de biocarvão obtido a partir da cama de aviário demonstram seu potencial como condicionador de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-FATTAH, T. M.; MAHMOUD, M. E.; AHMED, S. B.; HUFF, M. D.; LEE, J. W.; KUMAR, S. Biochar from woody biomass for removing metal contaminants and carbon sequestration. **Journal, of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 22, p. 103–109, 2014.

- AMELOOT, N.; STEVEN, S.; DAS, K. C.; KANAGARATNAM, J.; STEFAAN DE, N. Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. **Global Change Biology Bioenergy**, v.7, p. 135-144, 2015.
- AMONETTE, J. E.; JOSEPH, S. **Characteristics of biochar: microchemical properties**. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). Biochar for environmental management science and technology. London: Earthscan, p. 34-51, 2009.
- ASLAM, Z.; KHALID, M.; AON, M. Impact of biochar on soil physical properties. **Scholarly Journal of Agricultural Science**, v. 4, n.5, p.280-284, 2014.
- ASTM International ASTM D1762-84. (2007) **Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**. ASTM International 1-2, West Conshohocken, 2007, 2p.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: Review **Plant Soil**, v. 337, p. 1–18, 2010.
- BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.31, p.687-711, 2017.
- BRASIL (2014) - **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação Geral de Apoio Laboratorial, Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/ SDA/CGAL, 220 p.
- BROWN, R. A.; KERCHER, A. K.; NGUYEN, T. H.; NAGLE, D. C.; BALL, W. P. Production and characterization of synthetic wood chars for use as surrogates for natural sorbents. **Organic Geochemistry**, v.37, n. 3, p. 321-333, 2006.
- BUTNAN, S.; DEENIK, J.L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M.J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v.237–238, p.105–116, 2015.
- CHAN, K.Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, n.8, p.629-634, 2007.
- CHAVES, L. H. G.; LIMA, W. B.; CHAVES, I. B.; BURITI, J. S.; FOOK, M. V. L.; SOUZA, J. W. L. Effect of poultry litter biochar on Ultisol physical properties. **African Journal of Agricultural**, v.13, n.9, p. 412-418, 2018.

- CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARD, M. H. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 72, n.6, p. 1598-1610, 2008.
- CLEMENTE, J. S.; BEAUCHEMIN, S.; THIBAUT, Y.; MACKINNON, T.; SMITH, D. Differentiating inorganics in biochars produced at commercial scale using principal component analysis. **ACS Omega**, v.3, p. 6931–6944, 2018.
- DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, I. C. N. A.; MELO, L. N. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SAÂNCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, v.12, n. 5, p. 1-19, 2017.
- DUARTE, S. J.; GLASER, B.; LIMA, R. P.; CERRI, C. E. P. Chemical, physical, and hydraulic properties as affected by one year of miscanthusbiochar interaction with sandy and loamy tropical soils. **Soil Systems**, v. 3, n. 24, p. 1-19, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (1997). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p.
- ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644–653, 2012.
- FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S.; CHAVES, I. B.; TITO, G. A. Soil chemical amendments and the macronutrients mobility evaluation in Oxisol treated with biochar. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 238-247, 2018.
- FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v. 231, p.55-63, 2001.
- GITHINJI, L. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n.4, p.457–470, 2014.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.219-230, 2002.

- GOLDBERG, R. N.; KISHORE, N.; LENNEN, R. M. Thermodynamic quantities for the ionization reactions of buffers. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 31, n.2, p. 231–370, 2002.
- HERATH, H.M.S.K.; ARBESTAIN, M.C.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. **Geoderma**, v. 209-210, p.:188-197, 2013.
- KAMMANN, C.I.; LINSEL, S.; GÖBLING, J.W.; KOYRO, H.W. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa*: Willd and on soil–plant relations. **Plant Soil**, v. 345, p.195-210, 2011.
- KOUTCHEIKO, S.; MONREAL, C. M.; KODAMA, H.; MCCRACKEN, T.; KOTLYAR, L. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 13, p. 2459–2464, 2007.
- LAIRD, D; FLEMING, P.; DAVIS, D.; HORTON, R.; WANG, B.; KARLEN, D. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v.158, p.443-449, 2010.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. **Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review**. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 11, p. 403-427, 2006.
- LIU, Z. B.; DUGAN, C.A.; MASIELLO, R.T.; BARNES, M.E.; GALLAGHER, AND H. GONNERMANN. Impacts of biochar concentration and particle size on hydraulic conductivity and DOC leaching of biochar–sand mixtures. **Journal of Hydrology**, v.533, p.461– 472, 2016.
- LIU, Z.; DUGAN, B.; MASIELLO, C. A.;GONNERMANN, H. M. Biochar particle size, shape, and porosity act to gether to influence soil water properties. *Plos One*, v.9, p.1-9, 2017.
- LOWELL, S.; SHIELDS, J.; THOMAS, M. A.; THOMMES, M. **Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area**. *Porosity and Density*, Springer, v. 16, 2004, 350p.
- LUCCHINI, P.; QUILLIAM, R.S.; DELUCA, T.H.; VAMERALI, T.; JONES, D.L. Does biochar application alter heavy metal dynamics in agricultural soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.184, n.1, p.149–157, 2014.

- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant and Soil**, v.333, n.1-2, p.117-128, 2010.
- MARTINEZ, M. J.; ESPANA, J. C.; DIAZ, J. D. J. Effect of Eucalyptus globulus biochar addition on the availability of phosphorus in acidic soil. **Agronomía Colombiana**, v.35, n.1, p.75-81, 2017.
- MARTINSEN, V.; MULDER, J.; SHITUMBANUMA, V.; SPARREVIK, M.; BORRESEN, T.; CORNELISSEN, G. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.177, n.5, p. 681–695, 2014.
- MENDES, L. B.; TINOCO, I. F. F.; SOUZA, C. F.; SARAZ, J. A. O. O ciclo do nitrogênio na criação de frangos de corte e suas perdas na forma de amônia volátil: Uma revisão. **Pubvet**, v.6, n.20, p.1381-1386, 2012.
- MÉNDEZ, A.; CÁRDENAS-AGUIAR, E.; PAZ-FERREIRO, J.; PLAZA, C.; GASCÓ, G. The effect of sewage sludge biochar on peat-based growing media. **Biological Agriculture and Horticulture**, v.33, n.1, p.1-12, 2016.
- MUKHERJEE, A.; LAL, R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. **Agronomy**, v. 3, n. 2, p. 313-339, 2013.
- MUKOME, F. N. D.; ZHANG, X.; SILVA, L. C. R.; SIX, J.; PARIKH, S. J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 2196–2204, 2013.
- NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, M. A. S. . Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern Coastal. **Soil Science**, v.174, p.105-112, 2009.
- OH, T. K.; CHOI, B.; SHINOGI, Y.; CHIKUSHI, J. Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 223, n.7, p. 3729–3738, 2012.
- OMONDI, M.O. X.; XIA, A.; NAHAYO, X.; LIU, P.K.; KORAI AND G. PAN. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, v. 274, p.28–34, 2016.
- ÖZÇİMEN, D.; ERSOY-MERİÇBOYU, A. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials. **Renewable Energy**, v. 35, p.1319–1324, 2010.

- PAVINATO, P.S. **Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície**. 2007. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p.911-920, 2008.
- REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**, University of Illinois: Chicago, 2004, 14p.
- ROUQUEROL F.; ROUQUEROL I.; SING, K. **Adsorption by powders and porous solids**. London: Academic Press, 1999, 467p.
- SHARMA, R.K.; WOOTEN, J.B.; BALIGA, V.L.; LIN, X.; CHAN, W.G.; HAJALIGOL, M.R. **Characterization of chars from pyrolysis of lignin**. Fuel, v. 83, n. 11-12, p. 1469-1482, 2004.
- SILVA, I.C.B.; FERNANDES, L.A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R.A. Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciencia Rural**, v. 47, n.11, 2017.
- SPARKS, D. **Environmental soil chemistry**. Academic Press, San Diego, CA, USA, 2003, 352p.
- STEINER, C.; GLASER, B.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p.893-899, 2008.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.
- THIES, J. E.; RILLIG, M. C. Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: **Science and Technology**. Earthscan, London, U.K., p. 85 -106, 2009.
- THOMMES, M.; KANEKO, K.; NEIMARK, A. V.; OLIVIER, J. P.; RODRIGUEZ-REINOSO, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. S. W. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 87, n. 9, p. 1051-1069, 2015.

- TRYON, E.H. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. **Ecological Monographs**, v. 18, n.1, p.81-115, 1948.
- ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal of Soil Science**, v. 65, p. 96–104, 2014.
- U.N. **Population Division World Population Prospects: The 2012 Revision** Population. <<http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>>. 25 Out. 2013.
- USOWICZ, B.; LIPIEC, J.; LUKOWSKI, M.; MARCZEWSKI, W.; USOWICZ, J. The effect of biochar application on thermal properties and albedo of loess soil under grassland and fallow. **Soil and Tillage Research**, v.164, p.45–51, 2016.
- VACCARI, F. P.; BARONTI, S.; LUGATA, E.; GENESIO, L.; CASTALDI, S.; FORNASIER, F.; MIGLIETTA, F. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. **European Journal of Agronomy**, v.34, p.231-238, 2011.
- VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v.327, p.235-246, 2010.
- WANG, N.; LI, J. Y.; XU, R. K. Use of various agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil. **Soil Use Management**, v.25, p.128-132, 2009.
- XIAO, Q.; ZHU, L.; ZHANG, H.; LI, X.; SHEN, Y.; LI, S. Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n.5, p. 495–507, 2016.
- YUAN, J. H.; XU, R. K.; WANG, N.; LI, J. Y. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. **Pedosphere**, v.21, p.302-308, 2011.
- ZHAO, L.; CAO, X.; MAŠEK, O.; ZIMMERMAN, A. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 256/257, p. 1-9, 2013
- ZHAO, S. X.; TA, N.; WANG, X. D. Effect of temperature on the structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material. **Energies**, v. 10, p. 1293-1308, 2017.
- ZIMMERMAN, A. R. Abiotic and Microbial Oxidation of Laboratory-Produced Black Carbon (Biochar). **Environmental Science & Technology**, v.44, n.4, p.1295-1301, 2010.

CAPÍTULO III

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES DO BIOCARVÃO DA CAMA DE AVIÁRIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES DO BIOCARVÃO DA CAMA DE AVIÁRIO PARA O CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO

RESUMO: O milho é a segunda maior safra de importância na produção agrícola do Brasil e, para obter altos rendimentos, precisa ter suas necessidades nutricionais totalmente satisfeitas. Para atingir esses objetivos, foi realizado um experimento avaliando os sintomas biométricos e visuais produzidos pela omissão de nutrientes e a disponibilidade destes pelo biochar da cama de aviário, para o crescimento inicial do milho BRS 2022. O estudo foi realizado em casa de vegetação, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com solução nutritiva completa (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn), sem aplicação de nutrientes, soluções com omissão de nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca) e magnésio (-Mg) e três doses crescentes de biochar (0, 5 e 10 t ha⁻¹). As variáveis de crescimento e produção de biomassa seca de plantas de milho foram significativamente influenciadas pela ausência de nutrientes e pelo efeito das doses de biocarvão. Com exceção do diâmetro do caule e da relação entre a parte aérea e a biomassa da raiz seca as interações também foram significativamente afetadas pelos tratamentos. A omissão de nutrientes limitou o crescimento do milho, no entanto, a aplicação do biochar diminuiu essas limitações e melhorou significativamente todas as variáveis analisadas. Nos tratamentos sem adubação, o crescimento do milho foi muito baixo, com sintomas de deficiências gerais observados, diminuindo com a aplicação do biocarvão. O cultivo de milho nas soluções com adubação completa apresentou sintomas leves, porém também diminuíram com a aplicação do biochar.

Palavras-chave: Deficiência nutricional; diagnose por subtração; diagnose visual; *Zea mays* L.

NUTRIENTS AVAILABILITY OF THE AVIARY BED BIOCHAR FOR THE INITIAL CORN GROWTH

ABSTRACT: Corn is the second largest crop of importance in agricultural production in Brazil, and to obtain high yields corn, needs to have its nutritional requirements fully satisfied. Aiming to reach these objectives an experiment was conducted evaluating the biometric and visual symptoms produced by the omission of nutrients and the

availability of these by the aviary bed biochar, for the initial growth of the corn BRS 2022. The study was carried out under greenhouse, conditions using experimental design completely randomized, in a factorial scheme with a complete nutrient solution (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn), with no application of nutrients, solutions with omission of nitrogen (-N), phosphorus (-P), potassium (-K), calcium (-Ca) and magnesium (-Mg) and three increasing doses of biochar (0, 5 and 10 t ha⁻¹). The variables of growth and dry biomass production of corn plants were significantly influenced by the absence of nutrients and by the effect of the biochar doses. With the exception of the stem diameter and the relationship between dry shoot and dry root biomass. The interactions were also significantly affected by the treatments. The omission of nutrients limited corn growth, however, biochar application decreased these limitations and improved significantly all the variables analyzed. In the treatments without any fertilization, the growth of corn was very low with general deficiencies symptoms observed, decreasing with the biochar application. Corn growing in the solutions with a complete fertilization had light symptoms, however they also decreased with the biochar application.

Key words: Nutritional deficiency; diagnosis by subtraction; visual diagnosis; *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho é a segunda maior cultura de importância na produção agrícola no Brasil, sendo superado apenas pela soja que lidera a produção de grãos no País. Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola em janeiro de 2020, a cultura do milho no Brasil ocupa uma área em torno de 17,7 milhões de hectares, responsável por uma produção de cerca de 96,1 milhões de toneladas de grãos (IBGE, 2020).

Para a obtenção de produtividades elevadas, o milho necessita ter suas exigências nutricionais plenamente satisfeitas de forma a atender à grande extração de nutrientes, (CANTARELLA & DUARTE, 2004; GONDIM et al., 2010). Nutriente que não esteja em quantidade adequada, todo o metabolismo é prejudicado. Tais distúrbios geralmente podem ser identificados por sintomas no desenvolvimento da cultura como clorose e necrose, crescimento reduzido e anomalias semelhantes (MALAVOLTA, 2006).

Os nutrientes mais exigidos pelo milho são o nitrogênio e o potássio, vindo em seguida o fósforo, o cálcio e o magnésio (SOUSA et al., 2010). Com calagem e

adubação aplicadas corretamente, é possível elevar a produtividade da cultura (LEITE et al., 2006)

Nesse contexto, o aprimoramento dos métodos de identificação do estado nutricional das plantas, combinado com a necessidade de melhorias no uso eficiente dos nutrientes presentes no solo ou aplicados na fertilização para obter altos rendimentos das culturas, levaram à busca de novas tecnologias, dos pontos de vista agrônômicos, econômico, ambiental ou operacional.

A Diagnose por Subtração constitui uma técnica eficiente para estudar as funções dos nutrientes minerais nas plantas (MIN YAN et. al., 2008; AFROUSHEH et al., 2010). O diagnóstico de problemas nutricionais, que nesta técnica é realizado mediante a observação visual de sintomas, representa grande importância, pois permite a tomada de decisões rápidas para a correção das deficiências, além de fornecer suporte para possíveis alterações na adubação.

No que concerne a busca por melhoria na produtividade das culturas, aplicados através da fertilização, o emprego de condicionadores de solo de origem orgânica tem sido uma alternativa interessante para a melhoria do sistema agrícola como um todo, pois envolve a aplicação de materiais aos solos que modificam favoravelmente as propriedades físicas e químicas do mesmo, além de permitir a reciclagem de uma série de dejetos orgânicos, reduzindo impactos indesejados ao meio ambiente (BERNARDI et al., 2009).

Na literatura encontram-se diversos materiais que têm sido avaliados e utilizados como condicionadores de solo, dentre eles encontra-se o biocarvão. O biocarvão é o termo dado à biomassa submetida ao processo de decomposição, degradação ou de alteração da composição pela ação de calor (pirólise) rápida ou lenta, aquecendo essencialmente com pouco ou nenhum oxigênio presente. Quimicamente é difícil caracterizar o biocarvão devido à grande variedade de biomassas possíveis de serem empregadas para sua produção, bem como das condições de carbonização empregadas para a conversão das biomassas em biocarvão (LEHMANN, 2007), no entanto, sabe-se que é um material rico em carbono.

Muitos estudos têm confirmado a eficácia do biocarvão na melhoria das propriedades físico-químicas do solo mantendo os níveis de matéria orgânica do solo, aumentando a eficiência do uso de fertilizantes e aumentando a produção agrícola principalmente para solos cultivados em regiões subtropicais e tropicais (KOOKANA et al., 2011; MAJOR et al., 2010).

Embora vários estudos tenham demonstrado benefícios agrônômicos importantes, outros não demonstraram efeitos significativos e até mesmo adversos à aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Esta alta variabilidade está provavelmente relacionado com as diferentes interações biofísicas e aos processos que ocorrem quando o biocarvão é aplicado ao solo, que ainda não são totalmente compreendidos.

Assim, objetivou-se com este trabalho, caracterizar os sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e sua relação com o crescimento inicial em plantas de milho BRS 2022 cultivado com biocarvão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, com plantas de milho híbrido BRS-2022.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial com três repetições, totalizando 63 unidades experimentais, contendo em cada uma destas uma planta de milho. Os fatores foram constituídos por doses crescentes de biocarvão (0, 5 e 10 t ha⁻¹) e soluções nutritivas completas e deficientes em N, P, K, Ca e Mg (apêndice B).

O biocarvão utilizado neste estudo foi produzido no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) a partir da cama de aviário, resultante da criação de frangos de corte, sob pirólise lenta a 350°C. A caracterização química do biocarvão pirolisado a 350°C encontra-se na Tabela 1, enquanto que a combinação dos tratamentos é descrito na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química do biocarvão pirolisado a 350°C

Parâmetros avaliados	Biocarvão de cama de aviário
pH	9,44
CE, dS m ⁻¹	7,33
Nitrogênio total, %	2,25
Fósforo (P ₂ O ₅) total, %	4,08
Potássio (K ₂ O) total, %	4,35
Cálcio, %	5,04
Magnésio, %	1,28
Enxofre, %	0,41
Boro, %	0,01
Zinco, %	0,05
Cobre, %	0,01
Manganês, %	0,05
Ferro, %	0,72
Umidade, %	4,52
Carbono orgânico, %	42,22
Relação C/N	18,76

Tabela 2. Tratamentos formados pela combinação entre doses de biocarvão e solução nutritiva.

Tratamentos	Areia lavada	Biocarvão t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
1	+	0	-	-	-	-	-
2	+	5	-	-	-	-	-
3	+	10	-	-	-	-	-
4	+	0	+	+	+	+	+
5	+	5	+	+	+	+	+
6	+	10	+	+	+	+	+
7	+	0	-	+	+	+	+
8	+	5	-	+	+	+	+
9	+	10	-	+	+	+	+
10	+	0	+	-	+	+	+
11	+	5	+	-	+	+	+
12	+	10	+	-	+	+	+
13	+	0	+	+	-	+	+
14	+	5	+	+	-	+	+
15	+	10	+	+	-	+	+
16	+	0	+	+	+	-	+
17	+	5	+	+	+	-	+
18	+	10	+	+	+	-	+
19	+	0	+	+	+	+	-
20	+	5	+	+	+	+	-
21	+	10	+	+	+	+	-

+ e -, presença e ausência, respectivamente.

A unidade experimental constituiu-se por vasos de Leonard (VINCENT, 1970), preenchido com aproximadamente 1500g de areia lavada e biocarvão, de acordo com

cada tratamento. Para evitar a influência da matéria orgânica e dos prováveis nutrientes presentes nesta areia, na condução do experimento, a mesma passou por um processo de lavagem, ou seja, permaneceu submersa em ácido clorídrico (5%) durante 96h e após este período foi lavada com água corrente e posteriormente com água destilada até que o pH da areia atingisse próximo a neutralidade e baixa condutividade elétrica. Após esse processo, a areia lavada foi caracterizada quimicamente no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS/UFCG apresentando os seguintes resultados: pH em H₂O (1:2,5) = 6,36; CE= 0,33 dS m⁻¹; Ca = 0,96 cmol_c dm⁻¹; Mg = 0,53 cmol_c dm⁻¹; Na = 0,23 cmol_c dm⁻¹ e K = 0,07 cmol_c dm⁻¹. As análises referentes a hidrogênio, alumínio, carbono orgânico e fósforo assimilável também foram realizadas, contudo, não se verificou a presença de tais elementos na areia lavada.

As soluções nutritivas foram preparadas segundo Coelho (2007), considerando a marcha de absorção de nutrientes da cultura do milho até os 40 dias após a semeadura (DAS), o que correspondeu a uma aplicação por vaso de: 2,072g de N; 0,238g de P₂O₅; 1,554g de K₂O; 0,391g de Ca; 0,162g de Mg; 0,157g de S; 0,001g de B; 0,001g de Cu; 0,005g de Mn e 0,004g de Zn.

As Tabelas 3 e 4 apresentam as quantidades dos adubos e dos nutrientes utilizados no preparo das soluções nutritivas em função dos tratamentos, cujas soluções foram preparadas com água destilada, dissolvendo, separadamente, os macronutrientes dos micronutrientes para evitar precipitações de alguns sais.

Preparou-se 6L das soluções: completa, -N, -P, -K, -Ca e -Mg e 63L da solução de micronutrientes, apresentando as seguintes condutividades elétricas em dS m⁻¹ de 3,182; 1,108; 2,808; 2,120; 3,132, 2,834 e 0,158, respectivamente.

Tabela 3 - Quantidade dos adubos utilizados no preparo das soluções nutritivas em função dos tratamentos

Tratamento	KCl	(NH ₄) ₂ HPO ₄	KH ₂ PO ₄	Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O	(NH ₄) ₂ SO ₄	CaSO ₄ 2H ₂ O	MgCl ₂	H ₃ BO ₃	CuSO ₄ .5H ₂ O	MnSO ₄ .H ₂ O	ZnSO ₄ .7H ₂ O
1	-----Testemunha absoluta-----										
2	-----5 t ha ⁻¹ de biocarvão-----										
3	-----10 t ha ⁻¹ de biocarvão-----										
4	3,12	0,528	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
5	3,12	0,528	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
6	3,12	0,528	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
7	2,519	0	1,043	0	0	1,825	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
8	2,519	0	1,043	0	0	1,825	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
9	2,519	0	1,043	0	0	1,825	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
10	3,12	0	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
11	3,12	0	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
12	3,12	0	0	1,953	8,669	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
13	0	0,528	0	1,953	8,069	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
14	0	0,528	0	1,953	8,069	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
15	0	0,528	0	1,953	8,069	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
16	3,12	0,528	0	0	9,464	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
17	3,12	0,528	0	0	9,464	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
18	3,12	0,528	0	0	9,464	0	0,634	0,006	0,003	0,014	0,021
19	3,12	0,528	0	1,953	8,069	0,907	0	0,006	0,003	0,014	0,021
20	3,12	0,528	0	1,953	8,069	0,907	0	0,006	0,003	0,014	0,021
21	3,12	0,528	0	1,953	8,069	0,907	0	0,006	0,003	0,014	0,021

Tabela 4 - Quantidade dos nutrientes fornecidos por planta (g) em função dos tratamentos

Nutrient e	Resultados	Tratamentos																				
	desejados (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
N	2,072	-	-	-	2,072	2,072	2,072	0	0	0	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072	2,072
P	0,238	-	-	-	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0	0	0	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
K	1,554	-	-	-	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	0	0	0	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554	1,554
Ca	0,391	-	-	-	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0	0	0	0,391	0,391	0,391
Mg	0,162	-	-	-	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0	0	0
S	0,157	-	-	-	1,617	1,617	1,617	0,31	0,31	0,31	1,69	1,69	1,69	1,61	1,61	1,61	1,89	1,89	1,89	1,61	1,61	1,61
B	0,001	-	-	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cu	0,001	-	-	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mn	0,005	-	-	-	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Zn	0,004	-	-	-	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

As sementes de milho foram imersas em água destilada por 14h; em seguida, foram semeadas colocando-se 4 sementes por unidade experimental, as quais germinaram aproximadamente após três dias. Quando a plântula atingiu o estágio de folhas cotiledonares mais duas folhas definitivas, aproximadamente seis dias após a emergência (DAE), foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma planta por unidade experimental, escolhendo-se as que apresentavam o melhor aspecto visual (até então, foram irrigadas apenas com água destilada). Após este período, iniciou-se a irrigação aplicando-se a cada dois dias e em função dos tratamentos, 25 mL da solução de macronutrientes e 50 mL de micronutrientes na parte superior dos vasos de Leonard. Após 20 dias da germinação (DAG), aumentou-se o volume das soluções de macronutrientes para 50 mL (este aumento foi necessário devido ao aumento da temperatura o que ocasionou um aumento no processo de evapotranspiração). O volume aplicado aos 40 DAG por planta, em função dos tratamentos, correspondeu a 650 mL e 1000 mL da solução de macro e micronutrientes, respectivamente. Este volume foi determinado considerando a massa da areia lavada utilizada em cada unidade experimental (± 1500 g) e da Capacidade de Campo do mesmo. A solução drenada não foi reaproveitada, logo, sempre que verificado a presença de lixiviado, o mesmo era descartado.

Para o controle da lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*), foi aplicado óleo de neem aos 15 e 30 DAE. A sintomatologia causada pelas omissões de nutrientes foi descrita e acompanhada até a completa definição dos sintomas (40 DAG) e, após esse período, as plantas foram coletadas em função dos tratamentos, separando-se a parte aérea e de raízes, onde realizou as seguintes avaliações: altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60-65 °C, durante cinco dias. Em seguida, obtendo-se a matéria seca para cada parte da planta, determinou-se a biomassa seca da planta inteira, da parte aérea e das raízes.

Os dados foram submetidos à análise estatística e, se significativos pelo teste F ($P < 0,05$ e $P < 0,01$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAEG (2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Sintomatologia visual das plantas

Os tratamentos influenciaram o desenvolvimento das plantas de milho, provocando sintomas visuais de deficiência característicos para cada nutriente. Assim, os resultados serão discutidos em função do nutriente omitido na solução nutritiva e das doses de biocarvão aplicadas.

3.1.1 Deficiência de Nitrogênio (N)

A ausência de N comprometeu o desenvolvimento das mudas de milho. Os primeiros sintomas foram identificados aos 18 dias após a emergência das plântulas. As plantas apresentaram caule fino e clorose que começou das folhas mais velhas e, em seguida, verificou-se perda uniforme da coloração verde em toda a lâmina das folhas (Figura 1G). Como a deficiência se desenvolveu durante o ciclo de crescimento, o nitrogênio foi mobilizado das folhas inferiores e translocado para as folhas jovens fazendo com que as folhas inferiores ficassem pálidas e com coloração marrom. Sintomas semelhantes foram observados por Ferreira (2012) no milho híbrido BRS 1010 cultivado em substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1, na completa falta de N.

Segundo Viégas et al. (2014) e Pallardy (2008), a deficiência de nitrogênio nas folhas velhas ocorre devido a facilidade que este elemento possui em se distribuir na planta através do floema, na forma de aminoácidos. De acordo com Carneiro et al. (2015), a clorose está associada à função N no metabolismo vegetal, uma vez que está intimamente ligada ao metabolismo do carbono e ao processo fotorrespiratório, processos metabólicos associados à fotossíntese.

Com a aplicação das doses de 5 t ha⁻¹ e 10 t ha⁻¹ (Figuras 1H e 1I), verificou-se os mesmos sintomas de deficiência de nitrogênio. Tal justificativa pode estar associada ao teor baixo deste elemento no biocarvão. É importante ressaltar que o biocarvão foi pirolisado a 350°C e em temperaturas elevadas o nitrogênio presente na amostra é perdido por volatilização; apesar do biocarvão de cama de aviário utilizado nesta pesquisa apresentar 2,25% de N, não se sabe se o mesmo encontra-se na forma mineralizada e disponível pelas plantas. Segundo Glaser et al. (2002) e Asai et al. (2009), a afinidade do biocarvão por cátions e ânions pode "bloquear" certos nutrientes do solo, em particular o N mineralizado.



Figura 1. Diagnóstico por subtração dos macronutrientes na cultura do Milho Híbrido BRS 2022 aos 37 dias após a emergência em função da aplicação das doses de biocarvão.

3.1.2. Deficiência de Fósforo (P)

Os sintomas de deficiência de fósforo iniciaram-se com a ocorrência de coloração verde-escura nas folhas mais velhas e, em seguida, tons arroxeados foram observados nas pontas e margens das folhas (Figura 1J). A coloração arroxeada predominante nas folhas mais velhas seria decorrente do acúmulo de fotoassimilados nos tecidos, o que favorece a síntese de antocianina, pigmento que confere esta coloração ao limbo foliar. Segundo Epstein e Bloom (2006) e Gautam et al. (2011), esse acúmulo é muito comum em plantas submetidas à deficiência de P.

Os sintomas de deficiência de fósforo não foram verificados nas plantas com a aplicação das doses de 5 e 10 t ha⁻¹ de biocarvão (Figuras 1K e 1L). Tal resultado evidencia que este insumo apresenta parte do fósforo na forma solúvel e prontamente disponível para as plantas. É importante ressaltar que o biocarvão de cama de aviário utilizado nesta pesquisa apresenta em sua constituição o fosfato de potássio dibásico (K₂HPO₄). Este composto, durante o período do experimento, contribuiu para que ocorresse um aumento no teor de fósforo do solo, assim como verificado no capítulo 1.

3.1.3. Deficiência de Potássio (K)

As plantas com deficiência de potássio apresentaram, inicialmente, pequena clorose amarelada pálida (Figura 1M). Esse sintoma foi observado primeiro nas folhas mais velhas, isto porque, por ser um elemento muito móvel no floema, em condições de deficiência, o potássio existente move-se facilmente para as folhas que estão em crescimento e, portanto, necessitam de uma maior demanda (FERNANDES, 2006; YOST et al., 2011).

A ausência de potássio na solução nutritiva agravou os sintomas das folhas mais velhas, ocorrendo uma necrose marrom clara que atingiu os ápices das folhas. Os pontos necróticos nas bordas das folhas, normalmente encontrados em plantas com deficiência de K, são devidos ao acúmulo de compostos como putrescinas, que desencadeiam a produção de espécies reativas de oxigênio, o que resulta em morte celular (CHEN et al., 2016). Sintomas semelhantes também foram relatados em oleaginosas como girassol (PRADO & LEAL, 2006) e soja (PRADO et al., 2010), sorgo (SANTI et al., 2006) e milho (PRADO & VIDAL, 2008).

Apesar do maior crescimento das plantas de milho com a aplicação do biocarvão, independentemente da dose aplicada, sintomas de deficiência de potássio também foram

observados com a aplicação desse insumo, contudo, com menor intensidade quando comparado ao tratamento com omissão de K.

3.1.4. Deficiência de Cálcio (Ca)

No tratamento omissão de cálcio, as plantas apresentaram, no estágio inicial da deficiência, folhas jovens com coloração verde pálido e depois lesões amarelas a brancas nos tecidos internervais (Figura 1P). A presença de cálcio na areia lavada ($0,96 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-1}$) utilizada no experimento, mesmo após lavagem com ácido clorídrico, contribuiu para que não fosse verificado sintomas severos de deficiência, entre eles, uma diminuição acentuada no porte da planta, tal como verificado por Ferreira(2012). Com a aplicação de 5 e 10 t ha^{-1} de biocarvão (Figuras 1Q e 1R) verificou-se apenas pequenas cloroses nas folhas mais velhas, mas tais sintomas não são característicos de deficiência de Ca uma vez que as folhas mais jovens são as primeiras a serem afetadas devido a baixa mobilidade do Ca no floema.

3.1.5 Deficiência de Magnésio (Mg)

Apesar de a areia lavada apresentar uma concentração de $0,53 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-1}$ de magnésio, verificou-se sintomas de deficiência deste macronutriente secundário nas plantas demilho. Esse elemento por ser móvel no floema, apresentou inicialmente nas folhas mais velhas, uma clorose internerval amarela pálida na seção média, da margem para o centro da folha e entre as nervuras, cobrindo a folha inteira (Figura 1S). Isso ocorre porque a deficiência desse elemento, componente da molécula de clorofila, reduz o pigmento de clorofila, causando clorose nas folhas (VITTI et al., 2006). Os sintomas avançaram em direção às folhas superiores e faixas marrons enferrujadas apareceram nas folhas mais velhas. Tal fato ocorreu devido à translocação do magnésio para as regiões mais novas em crescimento (MARSCHNER, 1995). Tais sintomas também foram verificados independentemente da dose de biocarvão aplicado (Figuras 1T e 1U). Os sintomas visuais *da deficiência* de Mg descritos neste trabalho coincidem com as apresentadas na maioria das culturas, como por exemplo, as observadas por Santi et al. (2006) e Fonseca et al. (2008) em plantas de sorgo.

3.2. Avaliações das características de crescimento e produção de matéria seca

As variáveis indicativas de crescimento e produção de matéria seca das plantas de milho (apêndice C), foram influenciadas significativamente ($p < 0,01$), com exceção do diâmetro caulinar (DCL) e da relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz (FSPA/FSRA), pela interação entre os fatores omissão de nutrientes e doses de biocarvão. No entanto, verificou-se efeito isolado de tais fatores, ambos a ($p < 0,01$), para DCL e FSPA/FSRA (Tabela 5).

Tabela 5. Quadro de análise de variância para altura da planta (APL), diâmetro caulinar (DCL), número de folhas (NF), área foliar (AF), biomassa seca da planta inteira (BSPI), biomassa seca da parte aérea (BSPA), biomassa seca da raiz (BSRA) e relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz (BSPA/FSRA) em função da omissão de nutrientes e doses de biocarvão.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio							
		APL ⁽¹⁾	DCL ⁽²⁾	NF	AF	BSPI	BSPA	BSRA	BSPA/BSRA ⁽³⁾
Nutriente (N)	6	21507696,2**	3649,3**	8,47**	6755342,7**	891,76**	378,68**	120,05**	0,152**
Biocarvão (B)	2	31280219,3**	9193,6**	5,44**	4521414,7**	623,96**	461,98**	12,74*	0,696**
N x B	12	4195140,5**	111,5 ^{ns}	0,79**	230161,3**	50,78**	18,64**	12,89**	0,019 ^{ns}
Erro	42	1196386,4	108,4	0,206	58831,8	8,53	4,16	2,65	0,011
CV (%)		5,19	18,87	15,08	5,19	11,95	12,44	14,26	17,74
Média geral		8,75	5796,06	69,06	8,75	2030,05	23,496	14,30	9,19

**^{ns}Significativo a 1% e não significativo, respectivamente; ^{1, 2 e 3} dados transformados em $\frac{x^{2,2979} - 1}{2,2979}$, $\frac{x^{2,0454} - 1}{2,0454}$ e \sqrt{x} , respectivamente.

3.2.1. Omissão de Nitrogênio (N)

Entre os nutrientes omitidos neste trabalho, o N foi o mais limitante, não diferindo as médias de altura da planta e número de folhas do milho entre os tratamentos -N e -P (Figura 2). Espécies de crescimento inicial rápido, como é o milho, é exigente em nutrientes, principalmente o nitrogênio (ARAÚJO, 2004). Este nutriente é requerido em grande quantidade e num curto intervalo de tempo, que, se não suprida, resultará em prejuízo ao crescimento inicial do milho (ALMEIDA et al., 2003).

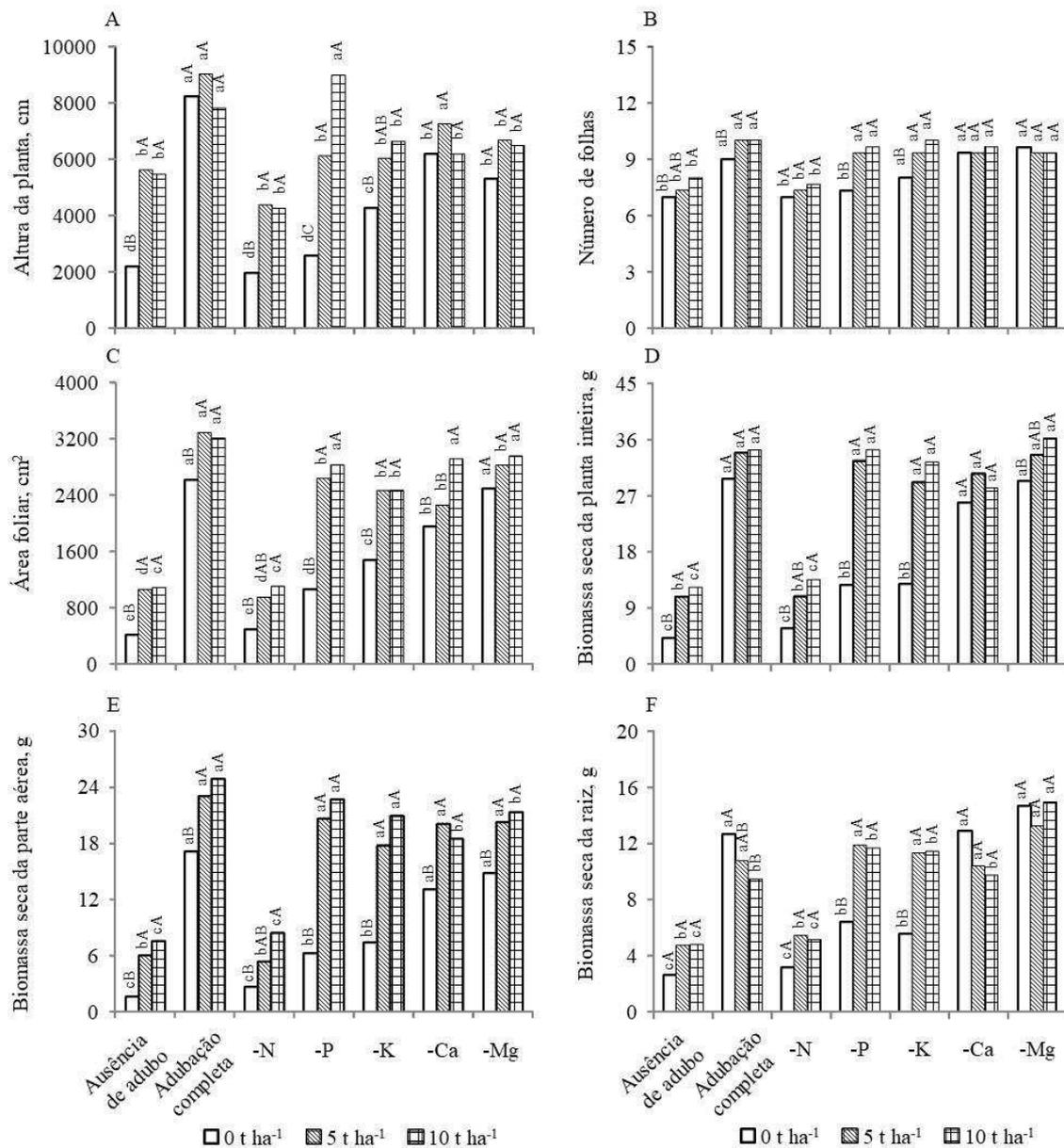


Figura 2. Altura da planta, número de folhas, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz em função da interação omissão de nutrientes e doses de biocarvão. Médias seguidas de mesma letra minúscula as soluções não diferem entre si dentro da mesma dose de biocarvão e médias seguidas de mesma letra maiúscula as doses de biocarvão não diferem entre si dentro da mesma solução nutritiva.

A omissão de N na ausência de biocarvão, proporcionou maior limitação do crescimento do milho, pois se observou ao término do experimento, que as plantas apresentaram altura, diâmetro e número de folhas inferiores aos da testemunha e da

solução completa. Neste período, o milho apresentou: 38,23 cm de altura (dados não transformados), 7 folhas e 9,47 mm de diâmetro (dados não transformados), correspondendo, respectivamente, uma redução de 47,14; 22,22 e 21,15% dos valores obtidos com as plantas em solução completa.

A restrição de N levou a uma redução de crescimento, tendo em vista a importância deste nutriente na nutrição da planta. Segundo Malavolta (2006), esse nutriente, além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, os quais interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento da planta. Falta de N retarda a divisão celular nas gemas em crescimento, diminuindo as folhas e tamanho da planta, com prejuízo do rendimento de grãos (COELHO, 2007). Além disso, a omissão de N também proporcionou redução, em comparação com as do tratamento completo, da produção de biomassa seca da planta inteira, da parte aérea e da raiz de 80,62; 84,77 e 75,12%, respectivamente.

Ainda com relação ao nitrogênio, a sua omissão promoveu uma baixa relação entre biomassa seca da parte aérea e da raiz (Figura 3).

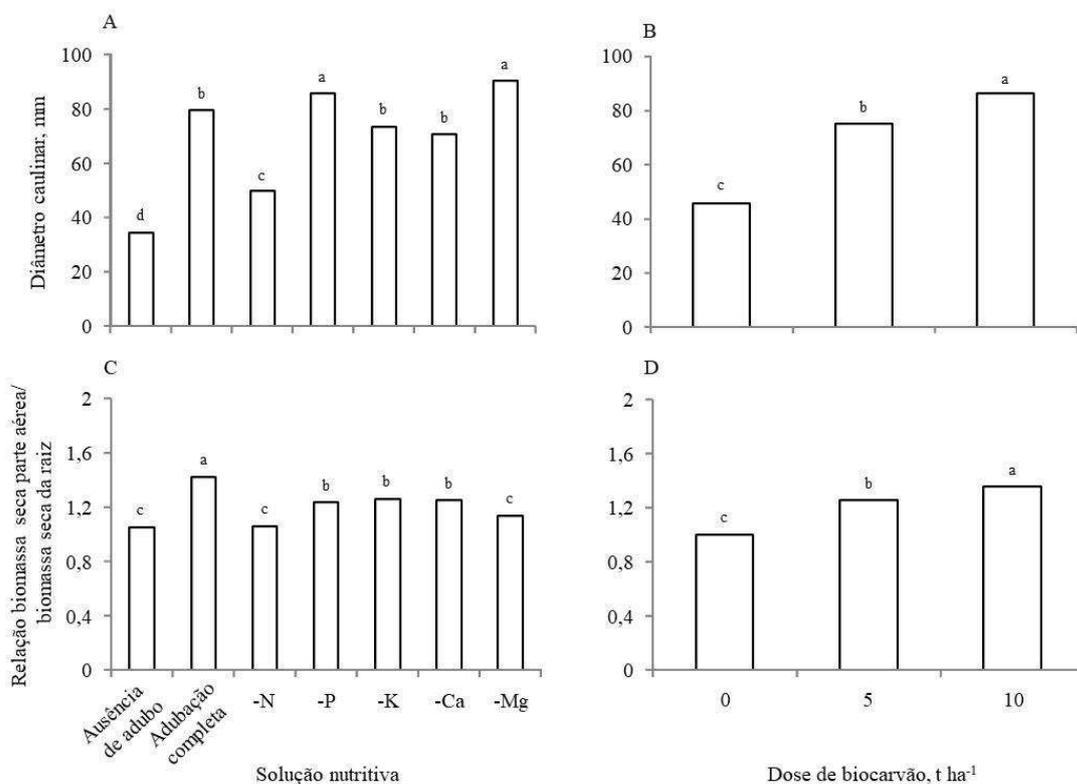


Figura 3. Diâmetro caulinar e relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz em função do efeito isolado de solução nutritiva e doses de biocarvão.

Quando o N está em deficiência, a concentração na parte aérea será mais baixa do que a da raiz, porque a parte aérea é uma fonte adicional de N. Isso ocorre porque a maior parte de N presente na parte aérea é proveniente do transporte de N por via do xilema pelas raízes, retornando para as raízes pelo floema (COOPER & CLARKSON, 1989).

O biocarvão combinado ao tratamento -N promoveu, com exceção do número de folhas, aumentos significativos em todas as variáveis analisadas. Apesar dos sintomas visuais de deficiência de nitrogênio, verificados com a aplicação de biocarvão (Figuras 1G, 1H e 1I), este insumo aumentou a altura da planta cujas médias não transformadas corresponderam a 54,93 e 54,33 cm com a aplicação de 5 e 10 t ha⁻¹, respectivamente. Quando comparado à dose zero, verificou-se acréscimo na biomassa da planta inteira em 109,86% e 162,67% com o uso de 5 e 10 t ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados evidenciam que o teor de nitrogênio presente no biocarvão de cama de aviário (2,25%) foi aproveitado em parte pela cultura, contudo, não na concentração mínima requerida para o desenvolvimento sadio do milho.

Apesar de pesquisas evidenciarem que os biocarvões possuem a habilidade de fornecer nitrogênio para as culturas (CLOUGH & CONDRON, 2010; DELUCA et al., 2006; TAGHIZADEH-TOOSI et al., 2011), alguns fatores devem ser considerados. Segundo Ameloot et al. (2015), em altas temperaturas de pirólise o N é perdido por volatilização, diminuindo assim, o teor total desse elemento no material final. Além disso, nessas temperaturas, a transformação de cadeias alifáticas em grupos aromáticos é mais acentuada, o que pode provocar a incorporação de elementos, dentre eles o N, nesses anéis aromáticos, deixando-o numa forma mais indisponível (ALMENDROS et al., 2003). Além da temperatura, o tipo de biomassa também influencia diretamente a degradação do material e conseqüentemente a disponibilidade de N. Hameret al. (2004), constataram que biocarvões de palha de milho e de centeio foram mineralizados mais rapidamente que os provenientes de madeira. Contudo, apesar de alguns autores verificarem uma disponibilidade de N decorrente do processo de mineralização do biocarvão, muitos trabalhos têm concluído que o biocarvão provoca a imobilização de N no solo e, essa imobilização é uma resposta da biomassa microbiana aos altos teores de C estável presente no biocarvão, decorrente do próprio processo de pirólise (ASAI et al., 2009; BRUUN et al., 2011; HOSSAIN et al., 2011; NOVAK et al., 2009).

3.2.2. Omissão de Fósforo (P)

O milho na omissão de fósforo e na ausência de biocarvão apresentou, assim como no tratamento -N, valores de altura da planta e número de folhas estatisticamente semelhantes ao tratamento ausência de adubação. O fósforo foi o segundo elemento mais limitante, isto porque, quando comparado ao tratamento completo, proporcionou redução significativa da altura da planta, número de folhas, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz de: 39,62; 22,22; 59,68; 57,15; 63,11 e 49,21%, respectivamente.

O fósforo (P) é um macronutriente essencial da planta, crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também um constituinte estrutural de biomoléculas essenciais envolvidas no metabolismo energético, como as dehidrólise de pirofosfato (PPi) ou ATP, e na formação de macromoléculas-chave, como ácidos nucleicos e fosfolípidios. Assim, o P é essencial (STIGTER & PLAXTON, 2015). As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (GRANT et al., 2001).

Com relação ao diâmetro caulinar (Figura 3A), verifica-se que na omissão de fósforo o milho apresentou um diâmetro de 12,37 mm (não transformado), estatisticamente superior aos 12,01 mm (não transformado) obtido com o tratamento completo. Tal comportamento é justificado uma vez que os resultados correspondem ao efeito isolado das soluções nutritivas, sendo assim, a contribuição das doses de biocarvão no aumento do diâmetro caulinar no tratamento -P foi superior quando comparado ao tratamento completo. O milho apresentou uma relação biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz de 1,58 (não transformado), estatisticamente inferior quando comparado ao tratamento completo, porém, sem diferir dos tratamentos -K e -Ca.

Analisando o efeito de doses de biocarvão dentro da solução -P verifica-se que o uso deste insumo promoveu aumentos significativos em todas as variáveis analisadas, cujas médias não diferiram entre si para as doses de 5 e 10 t ha⁻¹. É notável o incremento, quando comparado à ausência de biocarvão, da altura da planta, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz com a aplicação de 10 t ha⁻¹, cujos valores correspondem a 72,88 (não transformado); 167,87; 170,40; 260,31 e 80,93%, respectivamente. As médias destas variáveis também não diferiram entre os

tratamentos solução completa e omissão de P na dose de 10 t ha⁻¹. Tais resultados corroboram Petter et al. (2012) que verificaram ganhos de biomassa em mudas de eucalipto com o uso de biocarvão.

No trabalho realizado por Rodrigues et al. (2015), os autores concluíram que o uso de biocarvão de cama de aviário reduziu a acidez e aumentou os teores de nutrientes do solo, além disso, o solo, após a aplicação do biocarvão, apresentou uma concentração de P remanescente similar à adubação mineral. Ainda segundo estes autores, a adição de biocarvão não acarretou sintomas de fitotoxicidade durante o crescimento das plantas e sua utilização promoveu a melhora da fertilidade do solo podendo ser considerado uma fonte complementar de P para as culturas.

É importante ressaltar que os sintomas visuais de deficiência de fósforo foram observados, neste trabalho, apenas no tratamento -P com ausência de biocarvão (Figura 1J) o que reforça a teoria de que a presença de fosfatos na constituição do biocarvão de cama de aviário promoveu uma concentração considerável de P neste insumo, como também, sua disponibilidade ao solo.

Estudos recentes, como por exemplo, Sohi et al. (2010) tem mostrado que o aumento na concentração de fósforo disponível no solo ocorre devido a formação de fósforo solúvel durante o processo de produção de biocarvão. A biomassa utilizada na produção do biocarvão é outro fator a ser considerado, isto porque, a disponibilidade de fósforo não pode, ao contrário do amônio, ser melhorada simplesmente por aumento do status da matéria orgânica do solo (LEHMANN, 2007; STEINER et al., 2007).

De acordo com Gundale e Deluca(2006), Wang et al. (2012) e Xu et al. (2013), o biocarvão apresenta potencial de ser uma fonte de P devido à alta disponibilidade desse nutriente, que é diretamente relacionada a forma inorgânica com que o mesmo se encontra na estrutura do material, associado com Al, Fe, Ca e Mg. Biocarvões provenientes de mistura de lascas de eucalipto com biossólido tratado com alumínio e lascas de eucalipto com dejetos bovinos pirolisados a 250, 350, 450 e 550°C, foram incubados ao solo e, após análise utilizando resina extratora, verificou-se que 46 a 68% do P adicionado pelo biocarvão estavam disponíveis (WANG et al., 2014). Teores mais elevados de P disponível, após adição do biocarvão no solo, também foram constatados por Parvage et al. (2013), em que cerca de 90% do P adicionado foi recuperado. Apesar da alta disponibilidade de P, acredita-se que a aplicação de biocarvão no solo não supere a eficiência de fertilizantes minerais, porém, podem melhorar a disponibilidade desse nutriente.

3.2.3. Omissão de Potássio (K)

A planta foi afetada pela omissão de potássio, sendo este, o terceiro elemento mais limitante do crescimento e produção de biomassa do milho. Na dose zero de biocarvão, com a omissão de K as plantas de milho apresentaram, independentemente da variável analisada, médias estatisticamente superiores quando comparadas aquelas obtidas no tratamento ausência de nutrientes. No entanto, mesmo comportamento não foi verificado quando comparado ao tratamento completo, constatando que a omissão de potássio na solução nutritiva promove efeitos negativos no desenvolvimento vegetativo da planta, cuja diminuição na altura da planta, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz foram de 24,74; 43,88; 56,61; 56,91 e 56,22%, respectivamente.

Plantas deficientes em potássio apresentam paralisia no processo de translocação de fotoassimilados para drenos, resultando em acúmulo de carboidratos no tecido foliar (ZHAO et al., 2001), além de redução na eficiência fotossintética promovida pela diminuição da condutância do mesófilo e menor capacidade de fixação de CO₂ (JIN et al., 2011). Sintomas semelhantes de deficiência de potássio resultando em diminuição em altura de planta, também foram identificados em *Annona muricata* (BATISTA et al., 2003) e *Myrciaria dubia* (VIÉGAS et al., 2004).

O potássio é um macronutriente essencial para as culturas, desempenhando papel fundamental na síntese de células, enzimas, proteínas, amido, celulose e vitaminas no transporte e absorção de nutrientes, conferindo resistência a estresses abióticos e bióticos e na melhoria da qualidade das culturas (EPSTEIN & BLOOM, 2006). O milho é relativamente sensível à deficiência de K (SHARMA et al., 2010; NIU et al., 2011; HE et al., 2012). Segundo Jordan-Meille e Pellerin (2004), o milho deficiente em K apresenta menor desenvolvimento e índice de área foliar do que as plantas saudáveis.

Analisando o efeito de doses de biocarvão dentro de solução verifica-se que o uso deste insumo promoveu aumentos significativos no número de folhas, área foliar, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz, cujas medias não diferem entre si com a aplicação de 5 e 10 t ha⁻¹, contudo, foram estatisticamente superiores a dose zero. É importante destacar que o biocarvão incrementou em 125,46% e 150,54% a biomassa seca da planta inteira, aplicando-se 5 e 10 t ha⁻¹, respectivamente. Também se verificou acréscimos na altura da planta com o uso do biocarvão, não diferindo a dose 5 t ha⁻¹ das doses zero e 10 t ha⁻¹. Ainda avaliando o efeito

de biocarvão, o diâmetro caulinar e a relação biomassa seca parte aérea e biomassa seca da raiz apresentaram, com o uso de 10 t ha⁻¹ de biocarvão, as maiores médias.

Quanto ao efeito de solução dentro de doses de biocarvão, verifica-se que os tratamentos solução completa e omissão de potássio com 5 e 10 t ha⁻¹ de biocarvão, promoveram médias estatisticamente semelhantes entre si para número de folhas, biomassa seca da planta inteira, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz. Tais resultados evidenciam que o biocarvão de cama de aviário utilizado no presente estudo aumentou a concentração de K disponível no solo corroborando Oram et al. (2014) que verificaram maior disponibilidade de K no solo através da adição de biocarvão ou fertilização, aumentando significativamente ($P < 0,001$) a biomassa de trevo vermelho. Aumentos na biomassa de leguminosas quando cultivados em solo alterado por biocarvão também foram relatados por Rondon et al. (2007). Segundo Lehmann et al. (2003), biocarvão proveniente de material florestal aumenta a absorção e a concentração foliar de K no feijão caupi.

A maior disponibilidade de K no solo pode ser atribuída à biomassa e ao rendimento obtido na produção do biocarvão (ANGST & SOHI, 2013). Em contraste com outros elementos que podem ser volatilizados (por exemplo, N) ou mantidos em formas relativamente insolúveis (por exemplo, Mg) durante a pirólise, o K será amplamente conservado e convertido em sais com alta solubilidade (KARIM et al., 2017). É importante ressaltar que o biocarvão de cama de aviário utilizado neste trabalho apresenta, em sua constituição, compostos apresentando o potássio (Cap. 1). Vários estudos indicaram, portanto, o potencial do biocarvão como substituto de uma proporção substancial de fertilizantes potássicos convencionais (ANGST & SOHI, 2013).

Neste estudo, a liberação e a disponibilidade de K proveniente do biocarvão, mesmo em curto prazo, são consistentes com outros resultados publicados (GASKIN et al., 2010; SILBER et al., 2010; YAO et al., 2010). Wang et al. (2018), avaliaram os efeitos da aplicação de biocarvão na dinâmica do potássio no solo e verificaram aumento na disponibilidade deste nutriente no Alfisol e Entisol. Os mesmos autores também observaram aumentos significativos na absorção de K pela cultura do milho em ambos os solos com a aplicação de biocarvão.

3.2.4. Omissão de Cálcio e Magnésio (Ca e Mg)

Percebe-se que os tratamentos com omissão de Ca e Mg, na ausência de biocarvão, apresentaram índices semelhantes. Isto porque, apesar de verificado sintomas de deficiência visual destes nutrientes (Figura 1P e 1S), observou-se nas plantas de milho, com exceção da altura da planta e da relação biomassa seca da parte aérea e da raiz, médias estatisticamente semelhantes quando comparadas aquelas cultivadas com solução completa. A área foliar e o diâmetro caulinar na omissão de Ca também não diferiram do tratamento completo. Tais resultados não corroboram Gondim et al. (2016), os quais verificaram efeito significativo promovido pela omissão de Ca e K, sendo os resultados da altura, número de folhas, diâmetro de caule e matéria seca do milho inferiores aos das plantas que receberam o tratamento completo.

Neste trabalho, independentemente da variável analisada, os tratamentos -Ca e -Mg foram comparados com a solução completa para determinar sua extensão de limitação. Isso ocorre porque, teoricamente, é esperado que o tratamento completo tenha o melhor desempenho, devido às condições ideais de nutrientes para o crescimento. Como a omissão de Ca e Mg promoveu médias de biomassa estatisticamente semelhantes quando comparadas ao tratamento completo, isso significaria que tais nutrientes não limitaram a produção de biomassa. Neste estudo, como os elementos não foram fornecidos pelas soluções nutritivas, a concentração de Ca e Mg presente no substrato (areia lavada), ou seja, 0,96 e 0,53 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-1}$, respectivamente, supriu em parte a necessidade requerida pelo milho para o seu crescimento durante o período experimental.

A não diferenciação entre os tratamentos -Ca, -Mg e completo para todas as variáveis de biomassa, em especial a da raiz, reforça a teoria de que tal comportamento pode ser atribuído a presença de Ca e Mg no substrato (areia lavada). Trabalhos a exemplo de Keino et al. (2015) verificaram baixo desenvolvimento radicular da soja no tratamento com omissão de Ca o que pode estar associado a função que este nutriente exerce sobre o crescimento celular, tanto no terminal da planta quanto nas pontas das raízes. A ausência de Ca promove um mau desenvolvimento radicular em virtude do escurecimento e da morte das pontas das raízes (ROY et al., 2006). Quanto ao magnésio, os resultados obtidos neste trabalho não corroboram Keino et al. (2015) que observaram baixo desempenho das plantas de soja (em termos de peso seco da parte aérea) submetidas a omissão de Mg. Tal resultado pode ser atribuído aos importantes papéis desempenhados por este nutriente nas plantas. Sabe-se que o Mg é essencial para muitas funções críticas da planta, como

fotossíntese (Mg é o elemento central da clorofila), ativação enzimática, síntese de açúcar, controle da absorção de nutrientes e muitas outras. O magnésio também ajuda na síntese de proteínas e reações de P (OLUGUNDUDU et al., 2013).

Quando analisado o efeito de biocarvão dentro das soluções -Ca e -Mg, verificou-se que a área foliar na omissão de Ca, biomassa seca da planta inteira na omissão de Mg e biomassa seca da parte aérea, em ambos os tratamentos, apresentaram diferenças significativas em suas médias com a aplicação do biocarvão. O aumento mais expressivo foi verificado na biomassa seca da parte aérea, correspondendo a 54,14% aplicando 5 t ha⁻¹ na omissão de Ca e 44,87% aplicando 10 t ha⁻¹ na omissão de Mg. Contudo, este incremento foi menor se comparado à contribuição do biocarvão, no ganho de desempenho do milho, quando utilizado nos tratamentos -P e -K. A justificativa para tal comportamento pode estar relacionada à menor disponibilidade de Ca e Mg pelo biocarvão, promovendo pouco ou nenhum efeito nas variáveis analisadas. Segundo Okuno et al. (2005), durante o processo de pirólise, estes nutrientes são mais retidos na fase do biocarvão se comparados a outros elementos, tais como, osódio e o potássio. Chrysargyris et al. (2019), também verificaram redução significativa na concentração de Mg no biocarvão de madeira florestal.

É importante ressaltar que no cap 1, após o período de incubação, não se observou variação significativa na concentração de Ca e Mg em função da aplicação de doses de biocarvão. Tais resultados corroboram Liu et al. (2020), que também observaram incrementos pouco significativos nos níveis de cálcio e magnésio permutáveis do solo com o uso de biocarvão.

Ainda com relação à Figura 2, verificou-se diminuição na fitomassa seca da raiz com a aplicação do biocarvão, cuja menor média, no tratamento completo, foi observada aplicando-se 10 t ha⁻¹. Esta mesma variável também apresentou uma diminuição na omissão de Ca, contudo, sem diferir suas médias entre as diferentes doses de biocarvão. O aumento na concentração de K através do biocarvão pode ter promovido uma interação antagônica com o Ca e Mg que estaria promovendo uma diminuição na biomassa seca da raiz. Segundo Savvas e Gruda (2018), concentrações elevadas de K podem desencadear deficiências em Mg e Ca e reduzir o crescimento das plantas.

4. CONCLUSÕES

Com exceção de P, nas doses de 5 e 10 t ha⁻¹ de biocarvão, foi possível caracterizar distintamente os sintomas de deficiência provocados pela omissão dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no milho BRS 2022;

Os tratamentos com as omissões individuais de N, P, K, Ca e Mg foram os que mais limitaram o crescimento e a produção de massa seca do milho;

O Biocarvão proveniente de cama de aviário foi uma fonte prontamente disponível de nutrientes do solo, em especial, P e K. Além disso, promoveu maior crescimento e produção de biomassa do milho, independentemente do nutriente omitido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFROUSHEH, M.; ARDALAN, M.; HOKMABADI, H. Nutrient deficiency disorders in *Pistacia vera* seedling rootstock in relation to eco-physiological, biochemical characteristics and uptake pattern of nutrients. **Scientia Horticulturae**, v.124, n.2, p.141-148, 2010.
- ALMEIDA, M.L.; SANGOI, L.; NAVA, I.C.; GALIO, J.; TRENTIN, O.S; RAMPAZZO, C. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, v. 33, p.189-194, 2003.
- ALMENDROS, G.; KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F.J. Rearrangement of carbon and nitrogen forms in peat after progressive thermal oxidation as determined by solid-state ¹³C-and ¹⁵N-nmr spectroscopy. **Organic Geochemistry**, v. 34, p. 1559–1568, 2003.
- AMELOOT, N.; SLEUTEL, S.; DAS, K. C.; KANAGARATNAM, J.; NEVE, S. Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. **Global Change Biology Bioenergy**, v.7, n.1, p.135-144, 2015.
- ANGST, T.E.; SOHI, S.P. Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar. **GCB Bioenergy**, v. 5, p. 221–226, 2013.
- ARAÚJO, E.S. Quantificação do N do solo derivado das raízes da soja utilizando o isótopo ¹⁵N. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 24, n. 1, p. 7-12, 2004.
- ASAI, H.; SAMSON, B.K.; STEPHAN, H.M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Biochar

- amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, v. 111, n. 1-2, p. 81–84, 2009.
- BATISTA, M.M.F.; VIÉGAS, I.J.M.; FRAZÃO, D.A.C.; THOMAZ, M.A.A.; SILVA, R.C.L. Effect of macronutrient omission in growth, symptoms of nutritional deficiency and mineral composition in soursop plants (*Annona muricata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.315-318, 2003.
- BERNARDI, A.C.C.; MENDONÇA, F.C.; HAIM, P.G.; WERNECK, C.G.; MONTE, M.B. Disponibilidade de água e produção de arroz em função de doses de concentrado zeolítico. **Irriga**, v. 14, n.2, p. 123-134, 2009.
- BRUUN, E.W.; MÜLLER-STÖVER, D.S.; AMBUS, P.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Application of biochar to soil and N₂O emissions: potential effects of blending fast-pyrolysis biochar with anaerobically digested slurry. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n.4, p. 581–589, 2011.
- CANTARELLA, H; DUARTE, A.P. **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho**. In: Galvão JCC & Miranda GV (Eds.) Tecnologia de produção de milho. Viçosa, UFV. p.139-182. 2004.
- CARNEIRO, M.M.L.C.; GOMES, M.P.; SANTOS, H.R.B.; REIS, M.V.; MENDONÇA, A.M.C.; OLIVEIRA, L.E.M. Photorespiration and antioxidant metabolism in young rubber plants grown under different nitrogen sources (NO³⁻ and NH⁴⁺). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, p.66-73, 2015.
- CHEN, D.B.; CAO, L.; QI, L.; YIN, S.; WANG.; DENG, X. Silicon-moderated K-deficiency-induced leaf chlorosis by decreasing putrescine accumulation in sorghum. **Annals of Botany**, v.118, n.2, p.305–15, 2016.
- CHRYSARGYRIS, A.; PRASAD, M.; KAVANAGH, A.; TZORTZAKIS, N. Biochar type and ratio as a peat additive/partial peat replacement in growing media for cabbage seedling production. **Agronomy**, v.9, n. 693, p.1-20, 2019;
- CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. **Journal of Environment Quality**, v. 39, n. 4, p. 1218, 2010.
- COELHO, A.M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Circular Técnica, 96, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, 2007. 11p.
- COOPER, H.D.; CLARKSON, D.T. Cycling of amino-nitrogen and other nutrients between shoots and roots in cereals – A possible mechanism integrating shoot and root

- in the regulation of nutrient uptake. **Journal Experimental Botany**, v.40, p.753-762, 1989.
- DELUCA, T. H.; MACKENZIE, M.D.; GUNDALE, M.J.; HOLBEN, W.E. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 448-453, 2006.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2. ed. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.
- FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- FERREIRA, M.M.M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.
- FONSECA, I. M.; PRADO, R.M.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p.113-124, 2008.
- GASKIN, J.W.; SPEIR, R.A.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; LEE, R.D.; MORRIS L.A.; FISHER, D.S. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status and yield. **Agronomy Journal**, v.102, p. 623–633, 2010.
- GAUTAM, P.; GUSTAFSON, D.M.; WICKS, Z. Phosphorus concentration, uptake and drymatter yield of corn hybrids. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.7, n.4, p. 418-424, 2011.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. 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.
- GONDIM, A.R.O.; PRADO, R.M.; ALVES, A.U.; FONSECA, I.M. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.57, p.539- 544, 2010.
- GONDIM, A.R.O.; PRADO, R.M.; FONSECA, I.M.; ALVES, A.U. Crescimento inicial do milho cultivar BRS 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 63, n.5, p.706-714, 2016.
- GRANT, C.A.; FLATEN D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba, Potafos, 2001. 5p. (Informações Agrônomicas, 95).

- GUNDALE, M.J.; DELUCA, T.H. Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. **Forest Ecology and Management**, v.231, n.1-3, p.86–93, 2006.
- HAMER, U.; MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; AMELUNG, W. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization. **Organic Geochemistry**, v.35, p. 823–830, 2004.
- HE, C.; OUYANG, Z.; TIAN, Z.; SCHAFFER, H.D. Yield and potassium balance in a wheat–maize cropping system of the North China Plain. **Agronomy Journal**, v.10, p.1016– 1022, 2012.
- HOSSAIN, M.K.; STREZOV, V.; YINCHAN, K.; ZIOLKOWSK, A.; NELSON, P.F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of environmental management**, v.92, n.1, p.223–228, 2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020) Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>. Acessado em: 15 de Janeiro de 2020.
- JIN, S.H.; HUANG, J.Q.; LI, X.Q.; ZHENG, B.S.; WU, J.S.; WANG, Z.J.; LIU, G.H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *carya cathayensis*. **Tree Physiology**, v.31, p.1142-1151, 2011.
- JORDAN-MEILLE, L.; PELLERIN S. Leaf area establishment of a maize (*Zea Mays* L.) field crop under potassium deficiency. **Plant and Soil**, v.265, p.75–92, 2004.
- KARIM, A.A.; KUMAR, M.; SINGH, S.K.; PANDA, C.R.; MISHRA, B.K. Potassium enriched biochar production by thermal plasma processing of banana peduncle for soil application. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.123, p.165-172, 2017.
- KEINO, L.; BAIJUKYA, F.; NG’ETICH, W.; OTINGA, A. N.; OKALEBO, J. R.; NJOROGE, R.; MUKALAMA, J. Nutrients limiting soybean (*glycine max* l) growth in Acrisols and Ferralsols of Western Kenya. **Plos One**, v.10, n.12, p.1-20, 2015.
- KOOKANA, R.S.; SARMAH, A.K.; VAN ZWIETEN L. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, v.112, p.103-143, 2011.
- LEHMANN, J. **A handful of carbon**. **Nature**, v.447, p.143–144, 2007.

- LEHMANN, J.; DA SILVA, J.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant Soil**, v. 249, p.343–357, 2003.
- LEITE, G.H.M.N.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; COGO, N.P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 685-693, 2006.
- LIMA, H.N. **Crescimento inicial a campo de sete espécies arbóreas nativas em resposta a adubação com NPK**. 1994. 67f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras-MG.
- LIU, D.; FENG, Z.; ZHU, H.; YU, L.; YANG, K.; YU, S.; ZHANG, Y.; GUO, W. Effects of corn straw biochar application on soybean growth and alkaline soil properties. **BioResources**, v.15, n.1, p.1463-1481, 2020.
- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant Soil**, v.333, p. 117-128, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006.
- MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, New York, 1995. 651p.
- MIN YAN, W.; HUAN, W.L.; YING, Y.X. Study of common symptoms of element deficiency and concentration changes of nutrients in composite plants. **Plant Nutrition and Fertilizer Science**, v.14, n. 5, p.1001-1007, 2008.
- NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; ZHANG, F.; JIANG, L.; LIU, Z.; XIAO, K.; ASSARAF, M.; IMAS, P. Potassium fertilization on maize under different production practices in the North China Plain. **Agronomy Journal**, v.103, p.822–829, 2011.
- NOVAK, J.M.; BUSSCHER, W.J.; LAIRD, D.L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D.W.; NIANDOU, M.A.S. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. **Soil Science**, v.174, n.2, p.105–112, 2009.
- OKUNO, T.; SONOYAMA, N.; HAYASHI, J.I.; LI, C.Z.; SATHE, C.; CHIBA, T. Primary release of alkali and alkaline earth metallic species during the pyrolysis of pulverized biomass. **Energy Fuels**, v.19, p.2164–2171, 2005.

- OLUGUNDUDU, A.F.; ADELUSI, A. Effect of Nitrogen nutritional stress on some growth parameters of *Zea mays* L. and *Vigna unguiculata* L. walp. **Notulae Scientia Biologicae**, v.5, n.1, p.1-7, 2013.
- ORAM, N. J.; T VOORDE, F. J. V.; OUWEHAND, GERT-JAN; BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; GROENIGEN, J. W. V. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.191, p.92-98, 2014.
- PALLARDY, S.G. **Physiology of Woody Plants**. 3th Edition, Academic Press, San Diego, 2008. 454p.
- PARVAGE, M. M.; ULÉN, B.; ERIKSSON, J.; STROCK, J.; KIRCHMANN, H. Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, p.245-250, 2013.
- PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JUNIOR, B. H.; GONÇALVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, v.25, n.4, p.44-51, 2012.
- PRADO, R.M.; VIDAL, A.A. Effects of macronutrients omission in nutritional solution on millet growth and nutrition. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.3, p.208–214, 2008.
- PRADO, R.M.; FRANCO, C.F.; PUGA, A.P. Macronutrient deficiencies in soybean cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivated in nutritive solution. **Comunicata Scientiae**, v.1, n.2, p.114–119, 2010.
- PRADO, R. M.; LEAL, R.M. Desordens nutricionais por deficiência em girassolvar. Catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.3, p.187–193, 2006.
- RODRIGUES, G. A.; SANTOS, G. C. G.; SOARES, Á. G.; DELGADO JUNIOR, J. P.; ANDRADE, C. A.; CONSCIONE, A. R.; BERTON, R. S. **Avaliação do biocarvão da cama de frango como fonte de fósforo para cultura do milho**. 9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015. 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo.
- RONDON, M.; LEHMANN, J.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p.699–708, 2007.

- ROY, R.N.; FINCK, A.; BLAIR, G.J.; TANDON, H.L.S. **Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management.** FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin, 2006.
- SAEG. SAEG: **sistema para análises estatísticas**, versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007.
- SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SCARAMUZZA, J. F. The macronutrients deficiency in sorghum. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.2, p.228-233, 2006.
- SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry- A review. **European Journal of Horticultural Science**, v.83, n.5, p.280–293, 2018.
- SHARMA, A.; JALALI, V.K.; ARORA, S. Non-exchangeable potassium release and its removal in foot-hill soils of north–west Himalayas. *Catena*, v.82, p.112–117, 2010.
- SILBER, A.; LEVKOVITCH, I.; GRABER, E.R. pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. **Environmental Science & Technology**, v.44, p.9318–9323, 2010
- SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. Chapter 2 - A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v.105, p.47-82, 2010.
- SOUSA, G.G.; LACERDA, C.F.; CAVALCANTE, L.F.; GUIMARÃES, F.V.A.; BEZERRA, M.E.J.; SILVA, G.L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1143-1151, 2010.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J. L. V.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant Soil**, v.291, p.275–290, 2007.
- STIGTER, K. A.; PLAXTON, W. C. Molecular mechanisms of phosphorus metabolism and transport during leaf senescence. **Plants (Basel)**, v.4, n.4, p.773–798, 2015.
- TAGHIZADEH-TOOSI, A.; AREZOO, C.; TIM, J.; SHERLOCK, R.R.; CONDRON, L.M. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable. **Plant and Soil**, v. 350, n.1-2, p.57–69, 2011.
- VIÉGAS, I.J. M.; SILVA, R.N.P.; SILVA, D.A.S.; OLIVEIRA NETO, C.F.; CONCEIÇÃO, H.E. O.; MASCARENHAS, G.S.; OKUMURA, R.S.; MONFORT,

- L.E.F.; SILVA, R.T.L. Mineral composition and visual symptoms of nutrient deficiencies in Curauá Plants (*Ananas comosus* var. *erectifolius*). **Australian Journal of Crop Science**, v.8, p.747-753, 2014.
- VIÉGAS, I.J.M.; THOMAS, M.A.; SILVA, J.F.; CONCEIÇÃO, H.E.O.; NAIF, A.P.M. Effect of omission of macronutrient and boron on growth, on symptoms of nutritional deficiency and mineral composition in Camucamuzeiro Plants (*Myrciaria dubia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.315-319, 2004.
- VINCENT, J. M. **Manual for the practical study of root nodule bacteria**. 1 ed. Oxford: Blackwell, 1970. 164 p.
- VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 12, p.298-325, 2006.
- WANG, T.; ARBESTAIN, M.C.; HEDLEY, M.; BISHOP, P. Chemical and bioassay characterisation of nitrogen availability in biochar produced from dairy manure and biosolids. **Organic Geochemistry**, v.51, p. 45–54, 2012.
- WANG, T.; ARBESTAIN, M.C.; HEDLEY, M. The fate of phosphorus of ash-rich biochars in a soil-plant system. **Plant and soil**, v. 375, p. 61–74, 2014.
- WANG, L.; XUE, C.; NIE, X.; LIU, Y.; CHEN, F. Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.181, n.5, p. 635-64, 2018.
- XU, G.; WEI, L.; SUN, J.; SHAO, H.; CHANG, S.X. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism. **Ecological Engineering**, v.52, p.119–124, 2013.
- YAO, F.X.; ARBESTAIN, M.C.; VIRGEL, S.; BLANCO, F.; AROSTEGUI, J.; MACÍAGULL, J.A.; MACÍAS, F. Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified Soxhlet reactor. **Chemosphere**, v.80, p.724–732, 2010.
- YOST, M.A.; RUSSELLE, M.P.; COULTER, J.A.; SHEAFFER, C.C.; KAISER, D.E. Potassium management during the rotation from alfafa to corn. **Agronomy Journal**, v.103, p.1785-1793, 2011.
- ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D.M.; BERNARZ, C.W. Influence of potassium on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, v.39, p.103-109, 2001.

CAPÍTULO III

**BIOCARVÃO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO
MILHO HÍBRIDO BRS 2022**

BIOCARVÃO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO HÍBRIDO BRS 2022.

RESUMO: O milho apesar de ser exigente em nutrientes é uma das principais culturas de grãos do Brasil. Infelizmente, os níveis de produtividade ainda são muito baixos em algumas regiões, a exemplo do Nordeste Brasileiro, cuja produtividade (safra 2018), correspondeu a 2,363 kg ha⁻¹, quando o país apresentou produtividade média de 4,974 kg ha⁻¹. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento e a produção do milho híbrido BRS 2022 utilizando biocarvão de cama de aviário pirolisado a 350 °C como fonte alternativa de adubação, interpretar o estado nutricional do milho pelo método de diagnose foliar e analisar as características químicas apresentadas no solo após colheita (efeito residual). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo seis doses de biocarvão (0; 2,024; 4,048; 6,072; 8,096 e 10,12 t ha⁻¹) e as parcelas constituídas por uma planta por vaso com volume de 20 dm³. As variáveis de crescimento e produção avaliadas ao término do experimento (aos 80 dias após o plantio do milho) foram: altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar, comprimento de internódios, número de internódios, fitomassa seca de colmos, fitomassa seca de folhas, fitomassa seca total (colmos + folhas + espigas), massa da espiga, massa de grãos por planta, massa de 1000 grãos, comprimento e diâmetro de espigas. As fitomassas e as espigas foram secas em estufa a 65°C, sob ventilação, forçada até atingirem massa constante. Com o incremento do biocarvão constatou-se aumento em todas as variáveis de crescimento e produção analisadas. A maior massa da espiga com palha, massa de grãos por planta, massa de 1000 grãos, comprimento e diâmetro de espigas, correspondeu a 68,56 g; 26,53 g; 104,73 g; 12,01 cm e 35,01 mm, respectivamente. A dose de biocarvão utilizada para obtenção de tais resultados variou entre 5,92 t ha⁻¹ e 6,92 t ha⁻¹, portanto, recomenda-se a aplicação de 6,4 t ha⁻¹ deste insumo. Houve acúmulo de todos os nutrientes (macronutrientes) analisados na folha diagnose do milho em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão. As características químicas do solo, analisadas após a colheita do milho BRS 2022, revela que houve influência das doses de biocarvão nos teores de cálcio, carbono orgânico, potássio e fósforo.

Palavras chave: *Zea mays* L., produção, resíduo avícola.

**BIOCHAR AND ITS INFLUENCE ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF
THE BRS 2022 HYBRID CORN.**

ABSTRACT: Corn, despite being demanding in nutrients, is one of the main grain crops in Brazil. Unfortunately, productivity levels are still very low in some regions, such as the Brazilian Northeast, whose productivity (harvest 2018) corresponded to 2.363 kg ha⁻¹, when the country had an average productivity of 4.974 kg ha⁻¹. Thus, the objective of this work was to evaluate the growth and production of hybrid corn BRS 2022 using biochar litter from pyrolysed poultry at 350° C as an alternative source of fertilization, to interpret the nutritional status of corn by the method of leaf diagnosis and to analyze the chemical characteristics presented in the soil after harvest (residual effect). The experiment was carried out in a completely randomized design, with four replications, six doses of biochar (0; 2.024; 4.048; 6.072; 8.096 and 10.12 t ha⁻¹) and the plots consisting of one plant per pot with a volume of 20 dm³. The growth and production variables evaluated at the end of the experiment (at 80 days after corn planting) were: plant height, height of insertion of the first ear, stem diameter, number of leaves, leaf area, length of internodes, number internodes, dry stalk phytomass, dry leaf phytomass, total dry phytomass (stems + leaves + ears), ear mass, grain weight per plant, 1000 grain weight, ear length and diameter. Phytomasses and ears were dried in an oven at 65° C, under ventilation, forced until reaching constant mass. With the increase in biochar, there was an increase in all growth and production variables analyzed. The largest mass of the cob with straw, mass of grains per plant, mass of 1000 grains, length and diameter of ears, corresponded to 68.56 g; 26.53 g; 104.73 g; 12.01 cm and 35.01 mm, respectively. The dose of biochar used to obtain such results varied between 5.92 t ha⁻¹ and 6.92 t ha⁻¹, therefore, it is recommended to apply 6.4

t ha⁻¹ of this input. There was an accumulation of all nutrients (macronutrients) analyzed in the corn diagnostic leaf due to the application of increasing doses of biochar. The chemical characteristics of the soil, analyzed after the BRS 2022 corn harvest, reveals that there was an influence of the doses of biochar on the levels of calcium, organic carbon, potassium and phosphorus.

Key words: *Zea mays* L., production, poultry waste,

1. INTRODUÇÃO

O biocarvão é um material sólido, bastante rico em carbono, obtido a partir da carbonização de biomassa, por um processo denominado pirólise (LEHMANN, 2007). Seu grande benefício tem sido atribuído a manutenção do carbono orgânico no solo, pois estima-se que o tempo de residência do carbono do biocarvão varia de centenas a milhares de anos enquanto que nos resíduos comuns, sem carbonização, esse tempo é de apenas poucas dezenas de anos (LEHMANN et al., 2006). Essa elevada concentração de carbono orgânico recalcitrante e estável (VERHEIJEN et al., 2010) o torna potencialmente útil como insumo agrícola e melhorador das propriedades do solo.

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família Poaceae, tendo como centro de origem o México e a Guatemala (SILOTO, 2002). A cultura do milho é cultivada em todas as partes do mundo, sendo os maiores produtores mundiais os Estados Unidos, a China e o Brasil ocupando o terceiro lugar com média de produção estimada de 93,6 milhões de toneladas para 2022/23 total (BRASIL, 2013). O Brasil destaca-se mundialmente em relação à cultura do milho como produtor, consumidor e exportador e com a grande multiplicidade de usos que o cereal apresenta, as estimativas de procura pelo grão tendem aumentar. Sua importância econômica está relacionada as várias formas de utilização, da alimentação animal a indústria de alta tecnologia. É um cereal de grande importância, principalmente para a população de baixa renda. Também possui grande importância social, uma vez que no Brasil, grande parte de seus produtores não é altamente tecnificada, não possuem grandes extensões de terras e dependem de sua produção para viver (CRUZ et al., 2013).

A adição de biocarvão em solo com o intuito de melhorar o ambiente para o crescimento das plantas e consequentemente aumentar a produção das culturas tem sido um tema bastante discutido, no entanto, sua inclusão como prática de manejo do solo para fins agronômicos ainda não foi amplamente estabelecida em função da grande variabilidade entre os diferentes tipos de materiais carbonizados. Os resultados de pesquisas tem revelado resultados positivos (PETTER et al., 2012; LIMA, 2014), nulos e até negativos (BIEDERMAN & HARPOLE et al., 2013) com relação ao efeito dos diferentes tipos de biocarvão no desenvolvimento das plantas, o que torna as investigações com biocarvão de grande interesse prático e científico.

Vários estudos vêm sendo realizados sobre a utilização de biocarvões produzidos a partir de biomassas como madeira, casca de arroz, palha de trigo, cascas de amendoim e esterco de animais (SOHI et al., 2010), porém pouco se sabe sobre a utilização de biocarvão de cama de aviário. Além disso, o aproveitamento de resíduos sólidos na forma de biocarvão de cama de aviário no cultivo do milho ainda é pouco conhecido, bem como ainda são poucos os relatos a respeito da resposta da cultura a presença de biocarvão.

Sendo assim, o presente estudo objetivou avaliar o crescimento e a produção do milho híbrido BRS 2022, utilizando biocarvão de cama de aviário pirolisado a 350 °C como fonte alternativa de adubação, interpretar o estado nutricional do milho pelo método de nutrição mineral foliar e analisar as características químicas apresentadas no solo após colheita.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em estufa agrícola pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande-PB.

2.2 Coleta e preparação de amostras

Amostras simples foram coletadas na camada arável (0 - 0,2m de profundidade) de um solo Argissolo Acizentado distrófico no campus agrícola pertencente ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Campus II da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, município de Lagoa Seca, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 7° 09' S; 35° 52' W (Figura 1).



Figura 1. Perfil do Solo ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico utilizado na condução dos experimentos.

Em seguida, preparou-se uma amostra composta que foi seca ao ar, peneirada com malha de 2,0 mm e posteriormente analisada físico-quimicamente conforme Teixeira et al. (2017). Os resultados da caracterização do solo estão descritos na Tabela 1 do Capítulo 1.

A cama de aviário (CA) utilizada no preparo do biocarvão foi fornecida pelo Centro de Ciências Agrárias e Ambientais. A mesma era constituída por bagaço de cana-de-açúcar, fezes das aves e ração (aproximadamente 4% de desperdício considerando todo o ciclo de produção que compreende desde o recebimento do pinto até o abate). Os ingredientes utilizados na formulação da ração nas diferentes fases de desenvolvimento dos frangos de corte, assim como, a composição química, encontram-se descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Quantitativo dos ingredientes utilizados na formulação de 100 kg de ração de frangos de corte.

Ingredientes	Fase de desenvolvimento			
	Inicial 1-10 DIAS	Crescimento 11-24 DIAS	Engorda 25-39 DIAS	Terminação 40-51 DIAS
	-----kg-----			
Milho	44,7430	50,5393	52,5323	59,3917
Fosfato bicálcico	0,6404	0,4559	0,6414	0,1884
Núcleo	5,0000	5,0000	5,000	5,0000
Óleo de soja	0,6183	1,6611	4,0674	2,8016
Metionina	0,2676	0,2352	0,2266	0,1732
Treonina	0,0636	0,0503	0,0174	0,0313
Soja semi-integral	48,6671	42,0582	37,5151	32,4138

Tabela 2. Composição química das rações fornecidas nas diferentes fases de desenvolvimento dos frangos de corte.

Nutrientes	Fase de desenvolvimento			
	Inicial 1-10 DIAS	Crescimento 11-24 DIAS	Engorda 25-39 DIAS	Terminação 40-51 DIAS
	----- Mcal kg ⁻¹ -----			
Energia metabolizável	3,0000	3,1000	3,2000	3,2250
	----- % -----			
Proteína bruta	24,7701	22,5759	19,4925	19,3979
Cálcio	1,1276	1,0698	1,2015	0,9859
Fósforo	0,4800	0,4350	0,3900	0,3700
Fibra bruta	4,0946	3,7689	3,5064	3,3012
Sódio	0,2135	0,2140	0,1889	0,2148

A cama de aviário (CA) coletada foi levada para uma estufa onde passou por um processo de secagem durante uma semana para remover a umidade extra. Em seguida, a CA foi peneirada com malha de 10 mm e acondicionada em recipiente plástico para posterior uso.

2.3 Produção de biocarvão a partir de cama de aviário

O biocarvão foi produzido no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS da UFCG, a partir da cama de aviário, resultante da criação de frangos de corte, sob pirólise lenta a 350°C por 3h, utilizando forno mufla. Amostras da cama de aviário e do biocarvão foram enviadas para o Ribersolo - Laboratório de análises de solo e foliar, onde foi realizada a caracterização química de acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2014). Os resultados da caracterização química da cama e do biocarvão encontram-se na Tabela 2 do capítulo 1.

2.4 Seleção da cultura experimental

O milho (*Zea mays* L.), híbrido BRS 2022 foi selecionado como planta teste para avaliar o efeito do biocarvão no crescimento, produção de fitomassa e espiga, na deficiência nutricional através da análise foliar e nas características químicas do solo no final do ciclo do milho. BRS 2022 é um híbrido duplo, de ciclo precoce, alto potencial produtivo, excelente tolerância ao acamamento e ao quebramento, resistência à ferrugem polissora, cercospora e mancha branca. Recomendado para cultivos em safra e safrinha. Adequado para a agricultura de baixo investimento (PACHECO et al., 2009).

2.5 Configuração e condução do experimento

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos corresponderam à aplicação de doses crescentes de biocarvão, as mesmas utilizadas no experimento do capítulo 1, ou seja, 0; 2,024; 4,048; 6,072; 8,096 e 10,12 t ha⁻¹. A distribuição dos tratamentos é demonstrada na Figura 2.

D0 R4	D4,04 R1	D10,12 R1	D8,09 R1	D6,07 R2	D4,04 R4	D8,09 R3	D0 R2	D0 R3	D6,07 R3	D4,04 R3	D10,12 R2
D4,04 R2	D0 R1	D2,02 R4	D2,02 R2	D6,07 R1	D10,12 R3	D10,12 R4	D2,02 R1	D8,09 R4	D8,09 R2	D6,07 R4	D2,02 R3

Figura 2. Croqui do experimento realizado com o milho BRS 2022 em função da aplicação das diferentes doses de biocarvão.

Na condução do experimento, utilizou-se recipientes plásticos de 20 dm³ de capacidade, preenchidos com aproximadamente 23 kg de solo, deixando-se 5 cm livres na superfície do vaso, para facilitar a irrigação. Após a incorporação das doses de biocarvão, de acordo com os tratamentos, o solo foi irrigado até atingir 90% da capacidade de campo (CC), de forma a garantir a efetivação do processo de germinação e de desenvolvimento das plântulas. O semeio foi realizado colocando-se três sementes do milho BRS 2022 por vaso a 0,05 m de profundidade e distribuídas de forma equidistante. Após a germinação, por volta dos dez dias após a semeadura (10 DAS), realizou-se o desbaste, deixando-se uma planta por unidade experimental.

A irrigação foi realizada por gotejamento, automatizada através do Arduíno MEGA2560, apresentando um sensor DHT22 para medir a temperatura do ambiente e um sensor de umidade do solo (higrômetro) para registrar a umidade do solo em % (Figura 3).

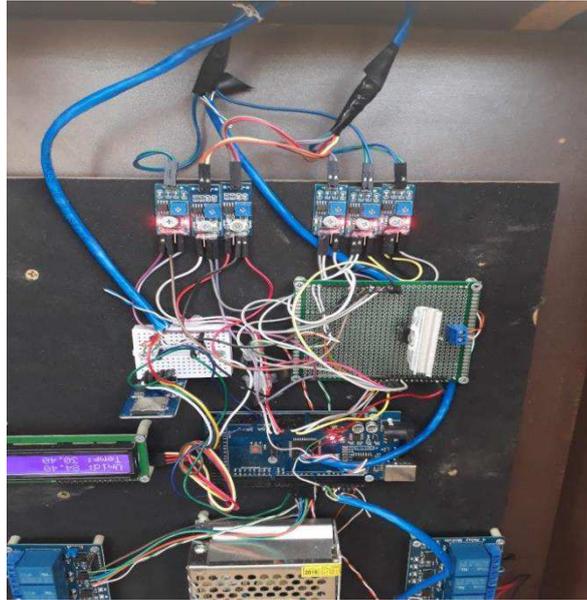


Figura 3. Gabinete com os componentes responsáveis pelo acionamento do sistema de irrigação.

O sensor de umidade mediu a umidade do solo em tempo real e, com base nestas informações, o arduíno acionou o sistema de irrigação quando o solo apresentou uma umidade inferior a 70% da CC e desligou quando o mesmo atingiu 90% da CC. A variação da temperatura ambiente registrada no interior da estufa é apresentada na Figura 4.

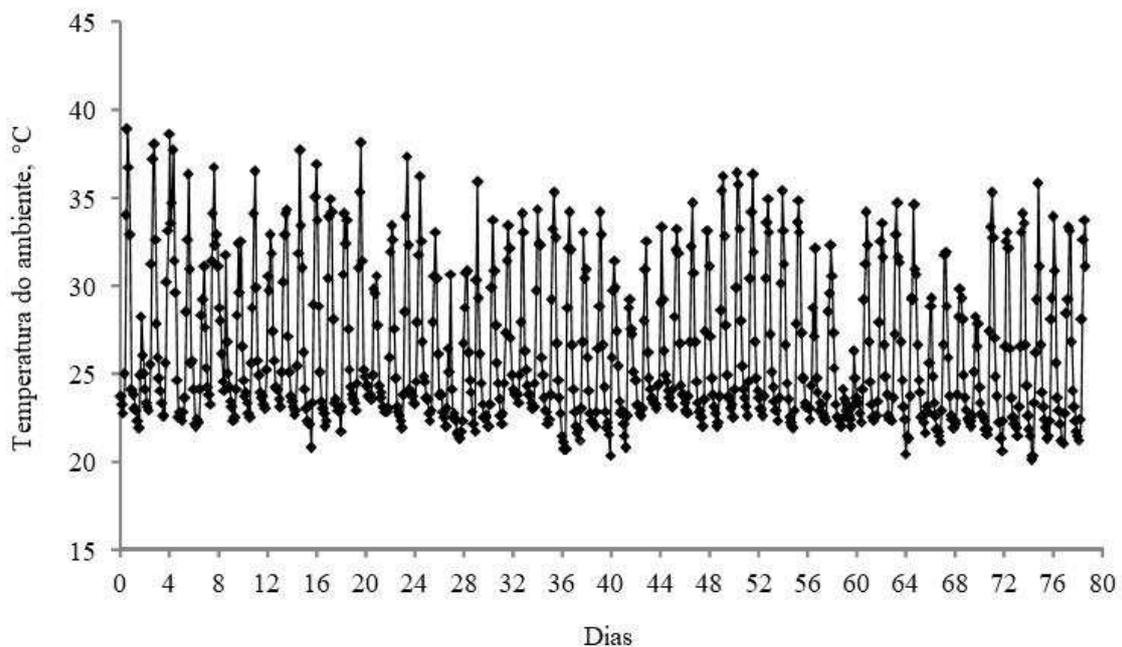


Figura 4. Temperatura registrada no interior da estufa durante a condução do experimento.

O sistema de irrigação foi formado por eletrobombas de lavadora de roupas e gotejadores autocompensantes com vazão de 2 L/h. Para o controle da lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*), aplicou-se óleo de neem.

2.6 Características avaliadas durante a condução do experimento

A análise foliar foi realizada no terço médio da folha oposta e abaixo da espiga no período do aparecimento da inflorescência feminina (cabelo), descartando-se a nervura central (MALAVOLTA et al., 1997). O material vegetal (lâminas de folha) foi seco em estufa de circulação forçada de ar com temperatura ajustada a 65°C por um período de 48 horas. O material seco foi moído e peneirado em 20 mesh. As amostras, em função dos tratamentos foram analisadas no Laboratório de análises de solo e foliar – Ribersolo.

As variáveis de crescimento e produção avaliadas ao término do experimento (aos 80 dias após o plantio do milho) foram: altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar, comprimento de internódios, número de internódios, fitomassa seca de colmos, fitomassa seca de folhas, fitomassa seca total (colmos + folhas + espigas), massa da espiga, massa de grãos por planta, massa de 1000 grãos, comprimento e diâmetro de espigas. As fitomassas e as espigas foram secas em estufa a 65°C, sob ventilação, forçada até atingirem massa constante. Imagens do experimento biocarvão e sua influência no desempenho agrônômico do milho híbrido BRS 2022 em diferentes períodos de avaliação são apresentadas nos apêndices D e E.

No final do experimento, amostras de solo foram coletadas em função dos tratamentos e em seguida foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade para caracterização química.

2.7 Análise estatística

Uma vez atendidas às pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias, os dados coletados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo pelo teste F às médias das variáveis submetidas às doses de biocarvão foram analisadas utilizando regressão polinomial. A análise estatística foi realizada utilizando o software estatístico SISVAR de acordo com Ferreira (2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento e produção de fitomassa do milho BRS 2022

Ao avaliar a análise de variância das variáveis de crescimento e fitomassa é possível observar que foram constatados efeitos significativos das doses de biocarvão para área foliar ($p < 0,05$) e a 1% ($p < 0,01$) para altura de planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo, comprimento de internódios e fitomassa seca dos colmos, folhas e total (colmo + folha + espigas). Para as demais características amostradas não foram observados efeitos significativos ($p > 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a altura da planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), comprimento de internódios (CIN), número de internódios (NIN), fitomassa seca de colmo (FSC), fitomassa seca de folhas (FSF) e fitomassa seca total (FST) em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.

FV	GL	Quadrado médio									
		AP	AIE	DC	NF	AF	CIN	NIN	FSC ⁽¹⁾	FSF ⁽²⁾	FST ⁽³⁾
Dose	5	2355,7**	784,3**	20,8**	0,64 ^{ns}	7e ^{-3*}	16,3**	0,82 ^{ns}	3,92e ^{4**}	1,02e ^{4**}	5,69e ^{9**}
Linear	1	5585,4**	2005,3**	86,3**	-	2,4e ^{-2**}	42,63**	-	1,34e ^{5**}	2,79e ^{4**}	1,68e ^{10**}
Quadrático	1	1559,7*	274,4 ^{ns}	6,7 ^{ns}	-	1,6 e ^{-2*}	14,03*	-	4,20e ^{4**}	1,71e ^{4**}	8,35e ^{9**}
Desvio	3	1544,5*	547,2*	3,7 ^{ns}	-	1e ^{-4^{ns}}	8,33 ^{ns}	-	6,65e ^{3^{ns}}	2,08e ^{3^{ns}}	1,08e ^{9**}
Erro	18	305,7	145,3	1,7	0,50	0,002	2,9	0,63	3176,0	1320,2	1,92e ⁸
CV (%)		8,59	13,4	7,37	5,92	14,85	11,59	11,63	22,0	22,29	19,66
Média geral		203,6cm	89,9cm	17,7mm	12	0,34m ²	14,74cm	7	255,7g	162,9g	7,1e ⁴ g

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; **,*,^{ns} Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente; ⁽¹⁾, ⁽²⁾ e ⁽³⁾ Dados transformados em $\frac{x^{1,3889}-1}{1,389}$; $\frac{x^{1,7424}-1}{1,7424}$ e $\frac{x^{2,3989}-1}{2,3989}$, respectivamente.

A altura da planta aumentou em função da aplicação de biocarvão, cujas médias, quando comparadas ao tratamento controle, foram superiores em todas as dosagens. A análise de regressão revelou haver um aumento na altura do milho até a dose 7,85 t ha⁻¹ (219,24 cm). A menor altura (170,55cm) foi observada no tratamento controle (Figura 5A). Estes resultados corroboram Abukari (2014), que relatou aumento na altura das plantas de milho em diferentes estágios de crescimento com a aplicação de biocarvão e Ali et al. (2017) que verificaram plantas mais altas nas parcelas adubadas com biocarvão, ambos utilizaram biocarvão produzidos a partir da casca de arroz. Asai et al. (2009) e Blackwell et al. (2009) também relataram que a maioria dos biocarvões incorporados no solo, independente da matéria prima utilizada na sua produção, podem melhorar o crescimento das plantas. Ainda com relação à altura da planta, a maior média observada neste estudo (219,24 cm) foi superior ao relatado por Neves et al. (2015), ou seja, 197 cm para o híbrido BRS 2022 adubado na semeadura com 150 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, 450 kg ha⁻¹ de

superfosfato triplo e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e em cobertura com 150 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio aos trinta e sessenta dias após a emergência da planta, períodos que corresponde às fases vegetativas V3 e V6, respectivamente.

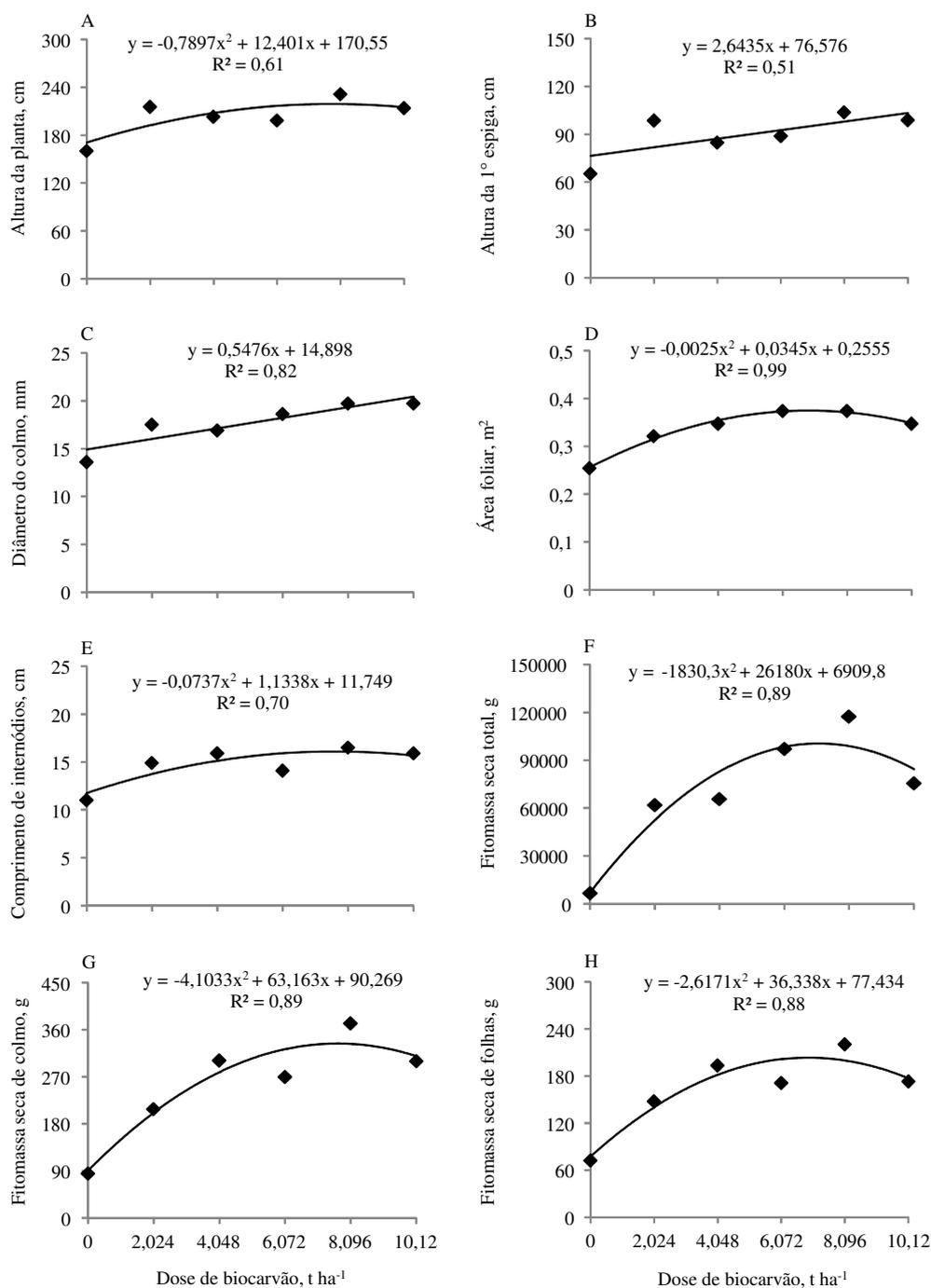


Figura 5. Altura da planta (A), altura de inserção da primeira espiga (B), diâmetro do colmo (C), área foliar (D), comprimento de internódios (E), fitomassa seca total (colmos +

folhas + espigas) (F), dos colmos (G) e das folhas (H) por planta em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.

A altura de inserção da primeira espiga aumentou linearmente a uma taxa de 2,64 cm por tonelada de biocarvão aplicado ao solo, cuja maior altura correspondeu a 103,33 cm aplicando-se 10,12 t ha⁻¹ deste insumo (Figura 5B). A altura de inserção da primeira espiga observada neste trabalho é semelhante ao sugerido para o híbrido BRS 2022, ou seja, 113 cm (PACHECO et al., 2009), contudo, foi 54,22% maior se comparado aos 67 cm verificado por Neves et al. (2015). Embora as plantas que apresentam maior altura de inserção da espiga possuam maior predisposição ao acamamento, esse evento não ocorreu no presente estudo, discordando de Campos et al. (2010) e Silva et al. (2015).

Maior altura de planta e de inserção da primeira espiga obtida com o uso de biocarvão sugere que o mesmo disponibiliza nutriente a cultura do milho, entre eles, o fósforo corroborando Sabijon e Sudaria (2018). O aumento na altura das plantas com o fornecimento de P também foi observado por Ribeiro et al. (2016) e Saldanha et al. (2017). Sabe-se que a quantidade de fósforo absorvido influencia no desenvolvimento da parte aérea, pois é função do fósforo na planta, como integrante da molécula do ATP, atuar no armazenamento e na transferência da energia química captada da luz solar na fotossíntese (SALDANHA et al., 2017).

Assim como a altura de inserção da primeira espiga, os valores coletados da variável diâmetro do colmo ajustaram-se ao modelo de regressão linear, indicando que houve aumento desta variável a uma taxa de 0,5476 mm por tonelada de biocarvão aplicado ao solo, cuja maior média correspondeu a 20,44 mm com a dose de 10,12 t ha⁻¹ (Figura 5C). Quando comparado ao tratamento controle, a maior dose de biocarvão promoveu um aumento no diâmetro caulinar de 37,20%. Este resultado é promissor uma vez que o colmo é uma estrutura de reserva, a qual permite a translocação de fotoassimilados para os grãos (SORATTO et al., 2010).

O aumento no diâmetro caulinar com o uso do biocarvão está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes e a sua capacidade em aumentar a concentração nutricional no solo, elevando assim, a produção de biomassa das plantas (LEHMANN et al., 2003). Este comportamento também foi relatado por Abukari (2014), que constatou que o diâmetro caulinar foi influenciado pela aplicação de biocarvão de casca de arroz e nitrogênio durante os estádios de crescimento. Fagbenro et al. (2013) mencionaram que as

taxas de aplicação de biocarvão de serragem de madeira correlacionou-se de forma significativa e positiva com o diâmetro do caule ($r = 0,99^{**}$).

A maior área foliar (AF) do milho foi estimada em $0,375 \text{ m}^2$ aplicando-se $6,9 \text{ t ha}^{-1}$ de biocarvão (Figura 5D). Este resultado corrobora Situmeang et al. (2015) que após o uso de biocarvão de bambu, composto de esterco de vaca e um fertilizante mineral (15% N, 15% P, 15% K) no crescimento do milho, verificaram maiores médias de área foliar aplicando-se biocarvão nas doses de 5 e 10 t ha^{-1} . Lashari et al. (2015) também relataram aumentos no índice de área foliar do milho quando cultivado com biocarvão de palhas de colheitas.

O crescimento, assim como a produtividade de uma planta podem ser expressos por meio da avaliação de parâmetros como altura, diâmetro e área foliar (TAIZ et al., 2017). O aumento significativo da AF verificado neste estudo com o uso do biocarvão de cama de aviário indica que este insumo promoveu um maior crescimento nas plantas de milho. A correlação positiva da arquitetura da planta e da área foliar tem como consequência o melhor aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa, visto que quanto mais fácil o acesso e maiores as lâminas planas das folhas, maior será também a capacidade da planta de capturar a luz e de produzir fotoassimilados, que posteriormente serão distribuídos entre os órgãos da planta (ALMEIDA et al., 2003).

O maior comprimento de internódio, ou seja, 16,11 cm foram observados aplicando-se $7,69 \text{ t ha}^{-1}$ de biocarvão (Figura 5E). Este resultado foi superior ao relatado por Islam et al. (2018) cujo valor médio observado correspondeu a 10,49 cm (aos 75 dias após a semeadura) utilizando o milho híbrido BARI-9 adubado com 7 t ha^{-1} de biocarvão de casca de arroz. Contudo, é importante ressaltar que no presente trabalho a avaliação do comprimento de internódios foi realizada aos 83 dias após a semeadura.

Geralmente, plantas que apresentam maior comprimento de internódios estão mais susceptíveis ao acamamento (arqueamento das plantas em virtude da flexão da haste) ou quebra das plantas (FREITAS et al., 2017). No entanto, apesar do biocarvão aumentar o comprimento de internódios, tal comportamento não foi verificado neste estudo. Numerosas pesquisas demonstraram que as plantas que possuem uma haste forte apresentam menor risco de acamamento (ROBERTSON et al., 2014; ROBERTSON et al., 2016; MA et al., 2014). Portanto, melhorar a resistência do caule do milho, especialmente à flexão dos internódios basais, é fundamental para reduzir o risco de acamamento e melhorar a produção de milho (GOU et al., 2010; XUE et al., 2016).

Trabalhos realizados anteriormente sobre os efeitos do biocarvão no crescimento e desenvolvimento de outras plantas corroboram os achados acima. O aumento da altura da planta, número de folhas e área foliar do milho é atribuído à disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica, melhoria na estrutura do solo, capacidade de retenção de água e diminuição da acidez do solo como consequência da adição de biocarvão ao solo (SOKCHEA & PRESTON, 2011; ISHII & KADOYA, 1994; OGUNTUNDE et al., 2004; LEHMANN et al., 2006; ASAI et al., 2009; AJAYI & HORN 2016). Os efeitos benéficos imediatos da adição de carvão na disponibilidade de nutrientes para as plantas são em grande parte devidos à maior disponibilidade de potássio, fósforo e zinco e a uma menor extensão de cálcio e cobre (LEHMANN et al., 2003).

No caso da fitomassa seca total (FST), as doses de biocarvão também promoveram um aumento quadrático na produção desta variável (Figura 5F). De acordo com o modelo de regressão, a maior FST correspondeu a 100.527,28 g planta⁻¹ (175,25 g planta⁻¹, dados não transformados) aplicando-se 7,15 t ha⁻¹. O acréscimo na produção entre as doses testemunha e 7,15 t ha⁻¹, foi equivalente a 1354,85% (339,77% dados não transformados). Considerando que as plantas foram colhidas com um percentual de 70% de umidade, a maior matéria fresca total corresponde a 573,525 g planta⁻¹ (dados não transformados).

A fitomassa seca dos colmos das plantas de milho (FSC) aumentou em função da aplicação das doses de biocarvão, apresentando como maior média 333,34 g planta⁻¹ (83,13 g planta⁻¹, dados não transformados) aplicando-se 7,69 t ha⁻¹ (Figura 5G). Mesmo comportamento também foi observado para fitomassa seca de folhas (FSF), cuja maior média correspondeu a 203,57g planta⁻¹ (29,12 g planta⁻¹, dados não transformados) com o uso de 6,94 t ha⁻¹ (Figura 5H).

Efeitos significativos sobre a fitomassa, após adição de biocarvão, também foram relatados por outros autores. Segundo Faloyea et al. (2017) a aplicação de biocarvão produzido a partir do resíduo da espiga de milho, aumentou, em relação a testemunha, o rendimento total de biomassa de milho em 62% aplicando 10 t ha⁻¹. Aumento no rendimento de biomassa de outras culturas, com o uso do biocarvão, também foi observado, incluindo trevo (MIA et al., 2014; ORAM et al., 2014), feijão comum (RONDON et al., 2007), alfafa (NISHIO & OKANO, 1991) e girassol (LIMA, 2016).

Os resultados encontrados na nutrição do milho podem explicar os maiores rendimentos de fitomassa e crescimento, isto porque, houve um incremento linear de fósforo (P) e potássio (K) no tecido foliar do milho, como também, aumento no teor de P

no solo após o experimento (tais resultados serão discutidos posteriormente nos tópicos 3.3 e 3.4). Esses elementos são essenciais para o desenvolvimento inicial da planta (TRAZZI, 2014), sendo o P de grande importância para o crescimento de raízes, enquanto que o K, apesar de não constituir nenhuma molécula orgânica no vegetal, é importante para aumentar a espessura do caule, ativar enzimas e controlar o fluxo de fluídos na planta (FREITAS et al., 2004).

O biocarvão de cama de aviário influenciou as propriedades químicas do solo utilizado nesta pesquisa (ARGISSOLO ACINZENTADOS Distróficos), melhorando a disponibilidade de nutrientes (Capítulo 1). Isso tem consequências na eficiência do uso de nutrientes, particularmente em solos pobres em nutrientes dos trópicos corroborando Glaser et al. (2002). No entanto, deve-se salientar que os efeitos da aplicação de biocarvão no rendimento das culturas são complexos e são funções de vários fatores, como propriedades da matéria-prima do biocarvão, taxa de aplicação, propriedades do solo, clima, respostas às culturas e práticas de manejo.

3.2 Produção de espigas do milho híbrido BRS 2022.

As doses de biocarvão de cama de aviário promoveram efeito significativo ($p < 0,01$) na massa da espiga, massa de grãos por planta, massa de 1000 grãos, comprimento e diâmetro de espigas conforme verificado através do quadro de análise de variância (Tabela 4). Em todas as variáveis analisadas, as médias observadas ajustaram-se significativamente ao modelo polinomial de segunda ordem, sendo assim, foi possível estimar o máximo rendimento em função da dose aplicada de biocarvão.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para massa da espiga (ME), massa de grãos por planta (MG), massa de 1000 grãos (M1000), comprimento (CE) e diâmetro de espigas (DE) em função de diferentes doses de biocarvão para plantas de milho BRS 2022.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio				
		ME	MG ⁽¹⁾	M1000	CE	DE
Dose	5	2156,64**	14,22**	4810,99**	10,07**	271,06**
Linear	1	4036,71**	20,57**	8146,61**	17,02**	543,12**
Quadrático	1	3819,59**	15,02**	13870,16**	12,29*	451,30**
Desvio	3	975,63**	11,84**	679,40 ^{ns}	7,01*	120,30**
Erro	18	106,56	1,12	790,73	1,72	23,08
CV (%)		20,41	26,88	36,29	12,20	16,38
Média geral		50,57g	3,95g	77,49g	10,79cm	29,34mm

**,*^{ns}Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente; ⁽¹⁾Dados transformados em \sqrt{x} .

Com relação à produção de espigas, independentemente da dose aplicada de biocarvão, colheu-se apenas uma espiga por planta, mas, a massa de espigas aumentou com o uso do biocarvão, cuja maior massa correspondeu a 68,21g com o uso de 6,57 t ha⁻¹, o que representou um aumento de 363,2% quando comparado ao tratamento controle (Figura 6A). Resultados semelhantes desta pesquisa foram relatados por Cornelissen et al. (2013) e Yamato et al. (2006) que trabalharam com milho. Da mesma forma, Yang et al. (2015), após a aplicação das dosagens 2 e 4 t ha⁻¹ obtiveram uma produção de milho de 12,18 e 12,6 t ha⁻¹ com o uso de biocarvão derivado do bagaço de milho (caule) e 12,36 e 12,96 t ha⁻¹ com o biocarvão de palha de arroz, respectivamente. Ainda segundo os autores, no tratamento controle a produção estimada correspondeu a 0,5 t ha⁻¹.

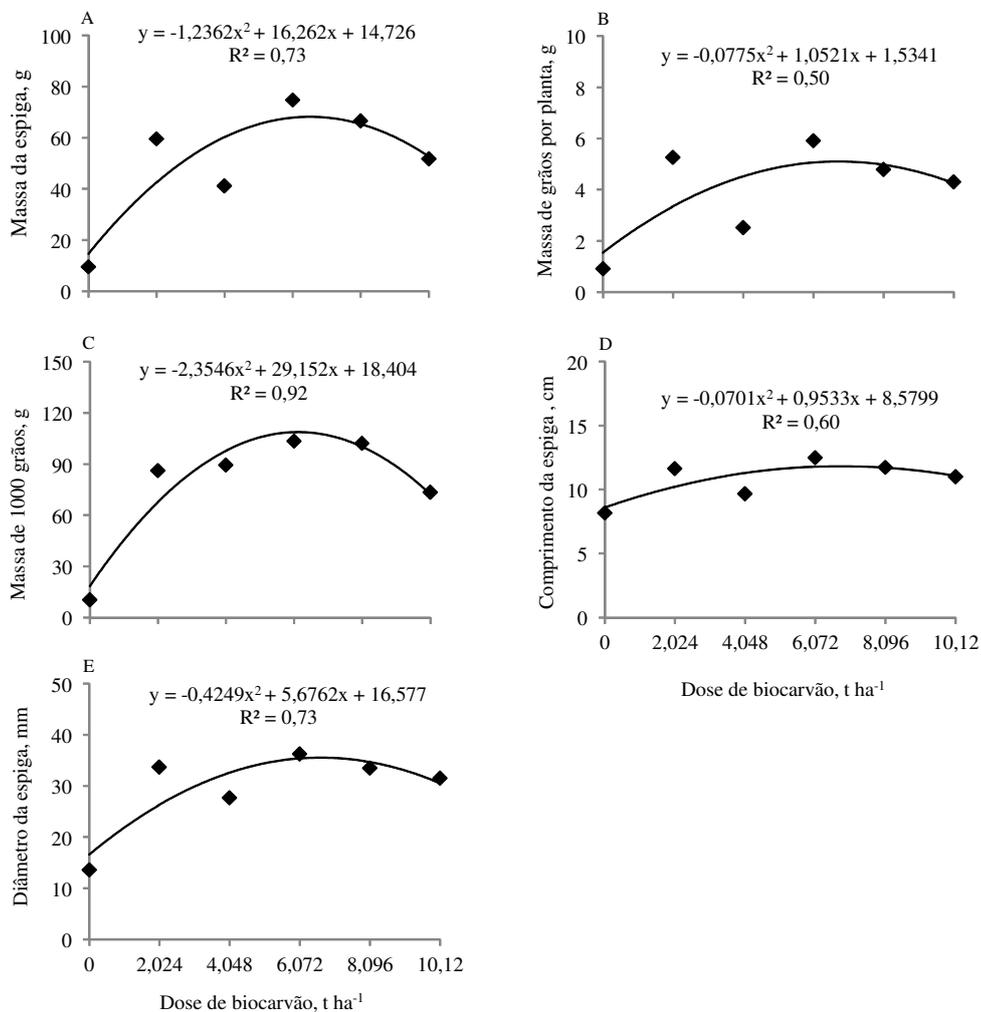


Figura 6. Massa da espiga (A), massa de grãos por planta (B), massa de 1000 grãos (C), comprimento (D) e diâmetro de espigas (E) em função das doses de biocarvão aplicadas no milho BRS 2022.

Sabe-se que a aplicação de biocarvão de cama de aviário favorece as características químicas, físicas e físico-hídricas do solo (Capítulo 1) o que pode ter contribuído no aumento na produção do milho. Jeffery et al. (2011) realizaram uma meta-análise com dados de ensaios de campo e laboratoriais com biocarvões de diferentes matérias primas e demonstraram que o aumento médio global no rendimento das culturas é de aproximadamente 10%.

A massa de grãos por espiga apresentou comportamento semelhante à massa de espigas, apresentando como maior média 26,01g (dados não transformados) com o uso de 6,59 t ha⁻¹ (Figura 6B). Comparando esta produção com os 2,35g obtidos na ausência de biocarvão (dados não transformados) constata-se que este insumo promoveu um aumento de 1006,8%. Tais resultados corroboram Abukari (2014), que relataram aumento no rendimento de grãos com a adição de 2 t ha⁻¹ e 4 t ha⁻¹ de biocarvão da casca de arroz. Oguntunde et al. (2004) estudando o efeito do carvão vegetal na produção de milho observaram um incremento na produtividade de grãos em torno de 91% quando comparado ao tratamento controle.

Apesar de o biocarvão aumentar a produção de grãos, o rendimento obtido neste estudo não é compatível com os resultados obtidos por Islam et al. (2018) Uma vez estipulando a produção de grãos para as condições de campo, considerando um espaçamento de 1m entre linhas com 5 plantas por metro linear, a produtividade de grãos seria de apenas 1,3t ha⁻¹, bem abaixo do citado por Islam et al. (2018), cujo rendimento de grãos variou entre 5,52 e 10,25 t ha⁻¹ com uso das doses 0 e 7 t ha⁻¹, respectivamente, com a aplicação de biocarvão de casca de arroz.

Ainda com relação à Figura 6B, o ajuste das médias da massa de grãos ao modelo quadrático de regressão sugere que a diminuição na produção nas doses superiores a 6,59 t ha⁻¹ pode estar associada a vários motivos, entre eles, à presença de cátions básicos no biocarvão que elevou, no solo em estudo, a saturação de bases (V%) para 87% com a aplicação da maior dose (10,12 t ha⁻¹), conforme observado no capítulo 1. Tal informação corrobora Suppadit et al. (2012). É importante ressaltar que o aumento na V% ocorreu principalmente pela contribuição do K e sódio (Na) (Capítulo 1) e que a V% recomendada

para a cultura do milho corresponde a 60% (COELHO, 2006). Sendo assim, o aumento na fertilidade do solo com aplicações de quantitativos superiores a 6,59 t ha⁻¹ de biocarvão provavelmente promoveu desequilíbrio e prejuízos ao metabolismo da planta, interferindo nos processos bioquímicos que ocorrem no seu interior. Com o metabolismo afetado, as funções vitais foram prejudicadas e os danos refletiram na diminuição da produção de grãos. Da mesma forma, sabendo-se que o K compete com o nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na absorção pela planta e, dentre estes nutrientes, o N é o que mais influencia na produção de grãos (FAQUIN, 2005).

Apesar de não apresentado neste trabalho, o número de linhas de grãos por espiga foi determinante na produção de grãos, isto porque, com exceção das espigas produzidas com 6,072 t ha⁻¹ de biocarvão, as demais apresentaram baixo enchimento de grãos. Apesar de ter realizado adubações nitrogenadas parceladas em três aplicações, a alta concentração de potássio pode ter diminuído a disponibilidade do nitrogênio para a planta, o que afetou negativamente o número de grãos por espiga e o peso da espiga. Segundo Chaudhary et al. (1998), a produção de grãos depende do número de linhas e de grãos por espiga.

Outro fator importante que também pode ter contribuído para a baixa produção de grãos foi o tempo de incubação neste estudo, ou seja, o plantio foi realizado três dias após a aplicação de biocarvão ao solo. Major (2009) analisaram o rendimento e a nutrição do milho adubado com biocarvão durante quatro anos e não observaram, no primeiro ano, efeito significativo no rendimento de milho. No entanto, nos anos subsequentes, o rendimento do milho aumentou com o aumento da taxa de aplicação do biocarvão. Sabe-se que este insumo influencia muitas características do solo, tais como: cor, capacidade de troca catiônica (CEC), teor dos nutrientes (macro e micronutrientes), aeração, entre outros (SWARUP, 2008; WANG et al., 2019). Mas, por ser orgânico, o tempo de decomposição através da atividade microbiana deve ser considerado corroborando Akolgo et al. (2020). Segundo tais autores, no primeiro momento os microorganismos agem como condicionador do solo tendo o biocarvão o papel de catalisador, o que justificaria o aumento da produtividade do milho nos anos subsequentes após a aplicação do biocarvão.

Estes aumentos na produtividade já foram relatados até três anos após a aplicação do biocarvão de restos orgânicos (ISLAMI et al., 2013). Aumento no rendimento da soja e do milho também foram observados após quatro anos da aplicação de biocarvão de madeira (MAJOR et al., 2010), demonstrando que biocarvões de diversas matérias primas podem apresentar efeitos residuais no rendimento das culturas.

Os resultados mostram que a massa de mil grãos foi influenciada significativamente pelas doses de biocarvão. O maior rendimento (108,63g) foi obtido com a aplicação de 6,19 t ha⁻¹ (Figura 6C). Em trabalho realizado por Shashi et al. (2018), após avaliarem diferentes doses de biocarvão de casca de arroz (0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹) e regimes hídricos (80, 60 e 40% da capacidade de campo), os autores registraram o maior peso de 100 grãos (27,74 g) aplicando-se 20 t ha⁻¹ de biocarvão e mantendo a umidade do solo com 80% da capacidade de campo.

Quanto ao comprimento e o diâmetro das espigas, suas maiores médias corresponderam a 11,82 cm e 35,53 mm aplicando-se 6,79 e 6,68 t ha⁻¹, respectivamente (Figuras 6D e 6E) e as menores médias foram observadas para o tratamento controle (sem biocarvão). O comprimento da espiga está diretamente ligado com o potencial produtivo do milho, visto que espigas de maior tamanho podem possuir maior número de grãos na fileira. Espigas que apresentam maiores tamanhos estão associadas a maiores produtividades de plantas de milho, visto que essa característica exerce efeito sobre o aumento do peso dos grãos (FANCELLI & DOURADO NETO, 1999; LOPES et al., 2007). Goes et al. (2012), citam que espigas com maior comprimento propicia um maior número de grãos a ser formado por fileira.

Avaliando o impacto do biocarvão de casca de arroz no rendimento do milho, Shashi et al. (2018) obtiveram, com a aplicação de 20 t ha⁻¹ e um regime hídrico de 80% da capacidade de campo, espigas com comprimento e diâmetro equivalentes a 17,66 cm e 39,0 mm, respectivamente.

3.3 Nutrição mineral do milho híbrido BRS 2022

Constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) no acúmulo de todos os nutrientes (macronutrientes) analisados na folha diagnose do milho em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão de cama de aviário (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) analisados no tecido foliar das plantas de milho BRS 2022 em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio					
		N	P ⁽¹⁾	K ⁽²⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽⁴⁾	S ⁽⁵⁾
Dose	5	76,77**	3,83**	23101,68**	0,037**	0,110**	0,022**
Linear	1	4,73 ^{ns}	13,69**	104072,40**	0,158**	0,384**	0,047**
Quadrático	1	217,22**	1,68 ^{ns}	4421,86 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,126**	0,010**
Desvio	3	53,96**	1,27 ^{ns}	2338,04 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,017**
Erro	18	7,15	0,49	1269,013	0,006	0,012	0,001
CV (%)		9,13	44,63	23,48	7,48	14,05	4,86
Média geral		29,3 g kg ⁻¹	1,6 g kg ⁻¹	151,7 g kg ⁻¹	1,1 g kg ⁻¹	0,8 g kg ⁻¹	0,7 g kg ⁻¹

** ,* ,^{ns} Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente; ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾ e ⁽⁶⁾ Dados transformados em: $\frac{x^{1,9949}-1}{1,9949}$, $\frac{x^{1,8939}-1}{1,8939}$, $\frac{x^{-0,5303}-1}{-0,5303}$, $\frac{x^{-0,7323}-1}{-0,7323}$ e $\frac{x^{-0,9343}-1}{-0,9343}$, respectivamente.

As concentrações dos nutrientes analisados no tecido foliar foram discutidas com base nos teores críticos sugerido por Büll (1993), ou seja, 27,5; 1,9; 17,5; 2,3; 1,5 e 1,5 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Como os valores de P, K, Ca, Mg e S foram transformados, para melhor compreensão dos resultados, mesmo procedimento também foi realizado para os valores críticos de Büll (Figura 7) considerando o modelo matemático adotado para cada nutriente (Tabela 5). A maior concentração de nitrogênio (N) no tecido foliar do milho correspondeu a 32,82 g kg⁻¹ aplicando 5,28 t ha⁻¹ de biocarvão (Figura 7A). Com relação ao teor crítico, segundo Büll (1993), o uso de biocarvão entre as doses 1,03 e 9,52 t ha⁻¹ foi suficiente para que a concentração desse nutriente variasse numa faixa considerada adequada. É comum que biocarvões apresentem baixa concentração de N em sua constituição, sendo assim, o teor deste nutriente foi influenciado pela adubação química realizada, independentemente da dose aplicada de biocarvão, com 90 kg ha⁻¹ de N (na forma de sulfato de amônio) parcelado em três aplicações durante a condução do experimento. Mesmo com a adubação nitrogenada, adubando-se com 5,28 t ha⁻¹ de biocarvão verificou-se um aumento na concentração de N foliar de 19,34% quando comparado ao teor crítico.

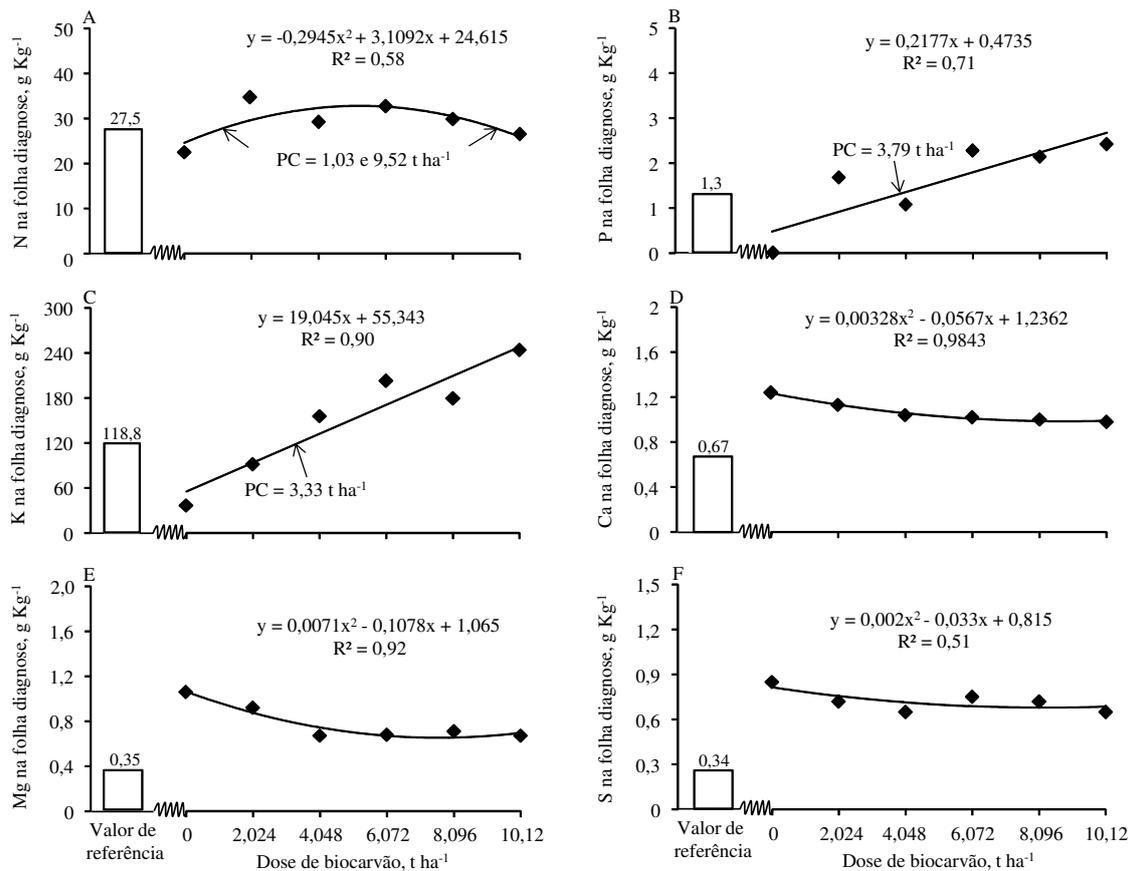


Figura 7. Concentração dos nutrientes analisados no tecido foliar do milho BRS 2022 em função da aplicação de diferentes doses de biocarvão. Os valores das colunas correspondem aos teores críticos dos nutrientes conforme Büll (1993), cujos valores não transformados são: 27,5; 1,9; 17,5; 2,3; 1,5 e 1,5 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. PC é a dose mínima necessária para que haja ou não deficiência nutricional.

Ainda com relação à Figura 7A, o comportamento quadrático indica uma suposta interação antagônica entre o K e o N ou uma imobilização do nitrogênio nas doses mais elevadas de biocarvão de modo a diminuir a absorção desse nutriente pela planta. Segundo Cantarella (2007), um desbalanceamento entre nitrogênio e potássio ocasionado pela adição excessiva de K pode levar a uma deficiência de N na planta por efeito diluição ocasionado pelo crescimento da planta e vice-versa. De acordo com Ernani et al. (2007), o potássio compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, principalmente com amônio (NH₄⁺), Ca²⁺ e Mg²⁺. Além do mais, há evidências que o

biocarvão pode aumentar a imobilização de N no solo (BRUUN et al., 2012; ZHENG et al., 2013).

A limitação de nitrogênio pode ser o motivo da diminuição na produção de espigas e de fitomassa como verificado nos tópicos anteriores (3.1 e 3.2). Isso ficou evidente pela baixa concentração de N no tecido foliar nas doses mais altas de aplicação. Estudos anteriores também encontraram diminuição da absorção de N com a adição de biocarvão, particularmente em altas taxas de aplicação devido à imobilização biológica de N (RONDON et al., 2007; GASKIN et al., 2008).

O teor de fósforo (P) no tecido foliar do milho aumentou a uma taxa de 0,2177 g kg⁻¹ de biocarvão aplicado (0,111 g kg⁻¹, não transformado), apresentando como maior média, 2,67 g kg⁻¹ de P (2,52 g kg⁻¹ não transformado) com o uso de 10,12 t ha⁻¹ de biocarvão (Figura 7B). Ainda com relação a esta figura, percebe-se que entre as doses 3,79 e 10,12 t ha⁻¹, o teor de P no tecido foliar encontra-se na faixa superior ao valor crítico de referência (BÜLL, 1993). Contudo, doses superiores ao testado nesta pesquisa poderá acarretar uma concentração excessiva de P, que segundo Gott et. (2014), corresponde a valores superiores a 3,8 g kg⁻¹. O aumento no teor de fósforo verificado neste trabalho está associado à biomassa utilizada na produção do biocarvão, ou seja, da cama de aviário, que apresenta compostos fosfatados em sua constituição, tal como verificado no Capítulo 1.

Sabijon e Sudaria (2018) também verificaram aumento na concentração de fósforo nas plantas de milho com o uso de biocarvão de cama de aviário, cujos valores foram 0,99; 4,22; 4,41 e 4,33 g kg⁻¹ P com os tratamentos 0, 20, 40 e 60 g kg⁻¹, respectivamente. Segundo Lehmann e Rondon (2006), a absorção nutricional de P, K, Ca, zinco (Zn) e cobre (Cu) pelas plantas aumentam com maiores adições de biocarvão.

Assim como fósforo, o teor de potássio (K) também teve seu teor no tecido foliar do milho aumentado linearmente a uma taxa de 19,045 g kg⁻¹ de biocarvão aplicado (1,389 g kg⁻¹, não transformado), apresentando como maior média, 248,07 g kg⁻¹ de K (25,78 g kg⁻¹ não transformado) com o uso de 10,12 t ha⁻¹ de biocarvão (Figura 7C). Ainda com relação a esta figura, percebe-se que entre as doses 3,33 e 10,12 t ha⁻¹, o teor de K no tecido foliar encontra-se na faixa superior ao valor crítico de referência (BÜLL, 1993). O milho apresenta excesso de K foliar quando apresentar valores superiores a 28,9 g kg⁻¹ (GOTT et. (2014). Tal valor seria alcançado neste estudo com uma dose superestimada em 13,27 t ha⁻¹ de biocarvão

O cálcio, magnésio e o enxofre (S) apresentaram comportamento semelhante entre si, ou seja, seus teores diminuíram com o uso do biocarvão (Figuras 7D, 7E e 7F). Apesar destes decréscimos, a planta não apresentou, independentemente da dose de biocarvão aplicada, deficiência de nenhum desses macronutrientes secundários. As menores concentrações corresponderam a $0,99 \text{ g kg}^{-1}$ ($4,07 \text{ g kg}^{-1}$ não transformado aplicando $8,64 \text{ t ha}^{-1}$), $0,656 \text{ g kg}^{-1}$ ($2,44 \text{ g kg}^{-1}$ não transformado aplicando $7,59 \text{ t ha}^{-1}$) e $0,68 \text{ g kg}^{-1}$ ($2,95 \text{ g kg}^{-1}$ não transformado aplicando $8,25 \text{ t ha}^{-1}$) para Ca, Mg e S, respectivamente.

A diminuição dos teores de Ca e Mg pode ter ocorrido pelo excesso de K absorvido pela planta, que compromete a absorção de Ca e Mg (PINAMONTI, 1998). O excesso de K no solo pode resultar em um efeito antagônico, no qual K 'bloqueia' a absorção de Ca e Mg (HAWKESFORD et al., 2011). Vários autores relataram aumento da absorção de K e redução na absorção de Ca e Mg em diferentes culturas cultivadas em solos adubados com biocarvão (BUTNAN et al., 2015; FOX et al., 2016; SORRENTI et al., 2016; BORNO et al., 2019).

O milho é do fenótipo "planta de potássio", o que significa que esta cultura pode absorver efetivamente K e restringir a absorção de outros elementos abundantes, como Ca. Conseqüentemente, o milho pode ter altas taxas de K:Ca (KINZEL & BERGER, 1992). Butnan et al. (2015) observaram que o biocarvão alterou as proporções nutricionais de K, Ca e Mg em brotações de milho e concluíram que isso se devia a um efeito antagônico do potássio proveniente do biocarvão na absorção de Ca e Mg. Neste estudo, o biocarvão aumentou a proporção K: Ca e K: Mg no tecido foliar, variando entre 1,1:1 (0 t ha^{-1}) e 6,1:1 ($10,1 \text{ t ha}^{-1}$) para o cálcio e de 1,1:1 (0 t ha^{-1}) a 9,7:1 ($10,1 \text{ t ha}^{-1}$) para o magnésio. A redução na absorção de Ca e Mg pode afetar diretamente a fotossíntese e, como resultado, diminui o crescimento das plantas (BRAND & BECKER, 1984; KALAJI et al., 2014).

Os resultados sugerem que apesar do biocarvão de cama de aviário apresentar em sua constituição Ca (5,04%) e Mg (1,28%), a adição deste insumo não garante a disponibilidade imediata desses cátions para a absorção de milho. Portanto, sugere-se que a redução na absorção foram atribuídas a: liberação lenta de Ca e Mg devido à forte ligação com o biocarvão corroborando os resultados verificados no Capítulo 1, onde o mesmo não influenciou significativamente a concentração destes cátions no solo incubado e/ou ao efeito antagônico promovido pelo K. Neste último, os efeitos antagônicos ocorrerão quando houver uma alta absorção de K pelo tecido do milho com restrição a absorção de

Ca e Mg (BUTNAN et al., 2015). Em relação às propriedades iniciais do solo, apesar do Ca possuir o teor mais alto entre os cátions básico, seguido pelo Mg e K, a aplicação de biocarvão promoveu um aumento no K trocável (Capítulo 1) e conseqüentemente ao efeito antagônico observado. Tais resultados sugerem cautela quando biocarvões, apresentando considerável teor de potássio, forem aplicados com outros fertilizantes minerais potássicos.

3.4 Características químicas do solo após a colheita do milho híbrido BRS 2022.

A análise de variância das características químicas do solo, analisadas após a colheita do milho BRS 2022, revela que houve influência significativa ($p < 0,01$) das doses de biocarvão nos teores de cálcio, carbono orgânico, potássio e fósforo (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico (C), acidez potencial (H+Al), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P) e potencial hidrogeniônico analisados ao término do cultivo do milho BRS 2022 adubado com diferentes doses de biocarvão.

FV	GL	Quadrado médio								
		Ca	Mg	CTC	C	H+Al	Na ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	P	pH
Dose	5	0,27**	0,17 ^{ns}	0,79 ^{ns}	8,84**	0,15 ^{ns}	1,10 ^{ns}	32,90**	547,9**	0,20 ^{ns}
Linear	1	0,87**	-	-	37,48**	-	-	107,30**	2506,1**	-
Quadrático	1	0,22*	-	-	0,67 ^{ns}	-	-	21,34**	75,6 ^{ns}	-
Desvio	3	0,09 ^{ns}	-	-	2,01 ^{ns}	-	-	11,95*	52,6 ^{ns}	-
Erro	18	0,04	0,18	0,44	1,57	0,28	0,49	2,51	25,36	0,12
CV (%)		7,67	22,98	10,73	11,64	42,21	20,65	13,08	25,37	5,86
Média geral		2,66	1,86	6,19	10,78	1,26	3,42	12,12	19,85	5,93
		cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	g dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	mg dm ⁻³	

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; **,*,^{ns} Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente; ⁽¹⁾ Dados transformados em 1/x.

Os parâmetros químicos: magnésio, capacidade de troca catiônica e o pH do solo, não foram influenciados pelo biocarvão após a colheita do milho. Uma das explicações para tal resultado pode está relacionada à dose utilizada neste trabalho, isto porque, Wang et al. (2019) observaram que aplicações únicas de biocarvão em quantidade superior a 40 t ha⁻¹, promoveram melhorias na CTC do solo, carbono orgânico, nitrogênio total e K disponível por três anos consecutivos de cultivo, e seus níveis foram proporcionais à quantidade de biocarvão aplicado. No entanto, com o passar do tempo, a disponibilidade destes parâmetros começaram a diminuir anualmente.

Analisando a Figura 8A percebe-se um aumento no teor de fósforo disponível no solo a uma taxa de 2,95 mg dm⁻³ por tonelada de biocarvão aplicado/hectare. A maior concentração de P correspondeu a 34,80 mg dm⁻³ com a dose de 10,12 t ha⁻¹, o que representa, quando comparado à testemunha, a um incremento de 611,64% de P. Apesar do solo utilizado neste estudo ser um ARGISSOLO de textura areia franca com baixo teor de fósforo disponível, após o cultivo do milho, com a aplicação de doses superiores a 2,64 t ha⁻¹, o solo apresentou concentrações de P maiores se comparado ao teor observado (12,7 mg dm⁻³) antes da condução do experimento. Madiba et al. (2016) verificaram que biocarvões de esterco de galinha e palha de trigo aumentaram a colonização micorrízica, retenção de água e a disponibilidade de fósforo P no solo. DeLuca et al. (2015) constataram que, quando o biocarvão com elevado pH e CTC é aplicado, a adsorção de fósforo por óxidos de ferro e alumínio são bloqueadas, aumentando a atividade de P no solo. Segundo Wang et al. (2019) o biocarvão altera a distribuição relativa das espécies de fósforo no solo, que são benéficas para aumentar a sua disponibilidade para as culturas.

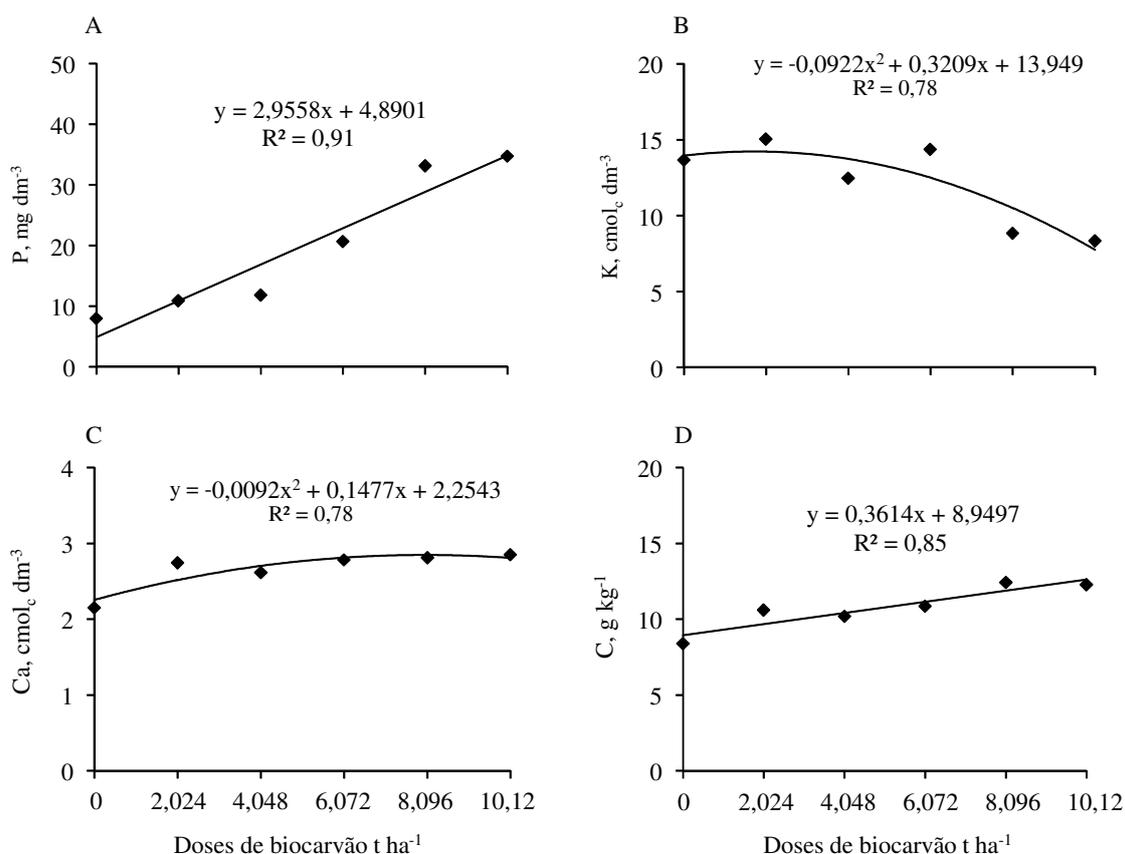


Figura 8. Valores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e carbono orgânico (C) após plantio do milho BRS 2022 em função da aplicação de doses de biocarvão.

Quanto ao teor de potássio, para atender os pressupostos estatísticos da normalidade, seus dados foram transformados em $1/x$, sendo assim, o comportamento observado na Figura 8B é o inverso do que foi verificado na prática, ou seja, considerando os dados não transformados, o menor conteúdo de K correspondeu a $0,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com o uso de $1,77 \text{ t ha}^{-1}$ de biocarvão. A partir desta dose, a disponibilidade de potássio no solo aumentou para $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aplicando-se $10,12 \text{ t ha}^{-1}$. Apesar do aumento observado, independentemente da dose de biocarvão aplicada, após a colheita do milho, a concentração de K no solo foi inferior ao observado antes do início do experimento ($0,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Tal resultado evidencia que a quantidade de K absorvido pela planta foi proporcional a quantidade de biocarvão aplicado, corroborando com o que já foi discutido anteriormente no tópico 3.3. Estes resultados corroboram Pandit et al. (2018) que verificaram correlação positiva e significativa entre a produção de biomassa de milho e as taxas de fornecimento de K pelo biocarvão de *Eupatorium* uma planta da família Asteraceae.

Avaliando o efeito residual de adubações potássicas (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha^{-1}) e da aplicação de biocarvões (30 t ha^{-1}) no crescimento e produção de milho na segunda safra, Widowati et al. (2017) relataram que o efeito residual do biocarvão de resíduos orgânicos aumentou a disponibilidade de N, P, K, Ca e Na no solo e o rendimento de colheita de milho na segunda safra, entretanto a dose utilizada por estes autores foi superior a utilizada no presente estudo.

O biocarvão também influenciou o teor de cálcio no solo, cuja maior concentração correspondeu a $2,85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com a dose de $8,03 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 8C). Este aumento corrobora com a hipótese discutida no tópico anterior 3.3, ou seja, que houve antagonismo entre K e Ca durante a absorção pela planta, isto porque, o teor de Ca no tecido foliar diminuiu com as doses de biocarvão enquanto que o Ca^{2+} no solo aumentou ao término no experimento.

Houve aumento no teor de carbono orgânico do solo a uma taxa de $0,3614 \text{ g kg}^{-1}$ por tonelada de biocarvão aplicado/hectare. A maior média estimada, ou seja, $12,61 \text{ g kg}^{-1}$ ($10,12 \text{ t ha}^{-1}$ de biocarvão) foi 40,9% maior se comparado ao obtido no tratamento controle (Figura 8D). Considerando a concentração inicial de C ($10,9 \text{ g kg}^{-1}$), incrementos reais deste elemento foram observados a partir da aplicação de $5,39 \text{ t ha}^{-1}$, indicando que houve mineralização da matéria orgânica nas doses mais baixas de biocarvão.

Segundo Cely et al. (2014), o efeito do biocarvão na mineralização do carbono no solo depende das características das matérias-primas, do método de produção e das condições de pirólise. Por exemplo, Zimmerman et al. (2011) concluíram que a mineralização de carbono foi menor quando combinou-se solo e biocarvão proveniente de madeira pirolizado a 525 e 650°C se comparado ao uso de biocarvão produzido a baixas temperaturas, 250 e 400°C, e a partir de gramíneas, especialmente durante o estágio inicial de incubação e em solos com menor teor de carbono orgânico. Além do mais, a relação C/N do biocarvão utilizado nesta pesquisa (18,76) favorece o aumento da atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, a mineralização da matéria orgânica do solo.

A quantidade de biocarvão aplicado também contribui para o aumento da matéria orgânica do solo. Wang et al. (2019) avaliaram o efeito de diferentes dosagens (0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) do biocarvão de palha de milho (pirolizado a 450 ° C por 2 h) nas características do solo e no rendimento do milho e verificaram que consideráveis teores de carbono orgânico foram mantidos no solo ao longo de três anos. Ainda segundo os autores, a estabilidade do biocarvão se deve ao alto teor de carbono, estrutura aromática complexa e altos níveis de ésteres carboxílicos fazendo com que o mesmo apresente alta estabilidade química e microbiológica no ambiente do solo. Contudo, o teor de carbono orgânico do solo diminui com o passar do tempo (KIMETU & LEHMANN, 2010; HE et al., 2017).

Na Figura 9 são apresentadas as frações dos elementos nitrogênio, cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio na forma absorvida ou indisponível para a planta; a concentração inicial e final no solo e o teor presente no biocarvão função das diferentes doses aplicadas. Se comparado à concentração inicial, houve um leve aumento no teor de nitrogênio no solo (concentração final) após o encerramento do experimento e, com exceção do tratamento controle, a concentração de N final foi praticamente a mesma independentemente da dose de biocarvão aplicada. Ainda com relação ao nitrogênio, verifica-se um acréscimo deste nutriente no solo proporcional a aplicação de biocarvão, contudo, a fração absorvida pela planta não acompanhou mesmo comportamento, não havendo muita variação entre os tratamentos que receberam biocarvão. Este resultado evidencia que apesar do biocarvão apresentar N em sua constituição, é incerto a sua disponibilidade para a planta, isto porque, é difícil prever qual fração do N orgânico é suscetível a mineralização e a velocidade com que o mesmo é mineralizado.

Estes resultados corroboram Sara e Shah (2018) que após avaliarem o efeito residual de biocarvão nas propriedades do solo e no rendimento de milho sob diferentes

sistemas de cultivo, verificaram que não houve diferenças consideráveis no nitrogênio mineral do solo entre o tratamento controle e o tratamento que recebeu o maior nível de biocarvão (80 t ha⁻¹). Gundale e Deluca (2007) relatam que biocarvões produzidos a baixa temperatura contribui com carbono biodisponível que causa imobilização de N.

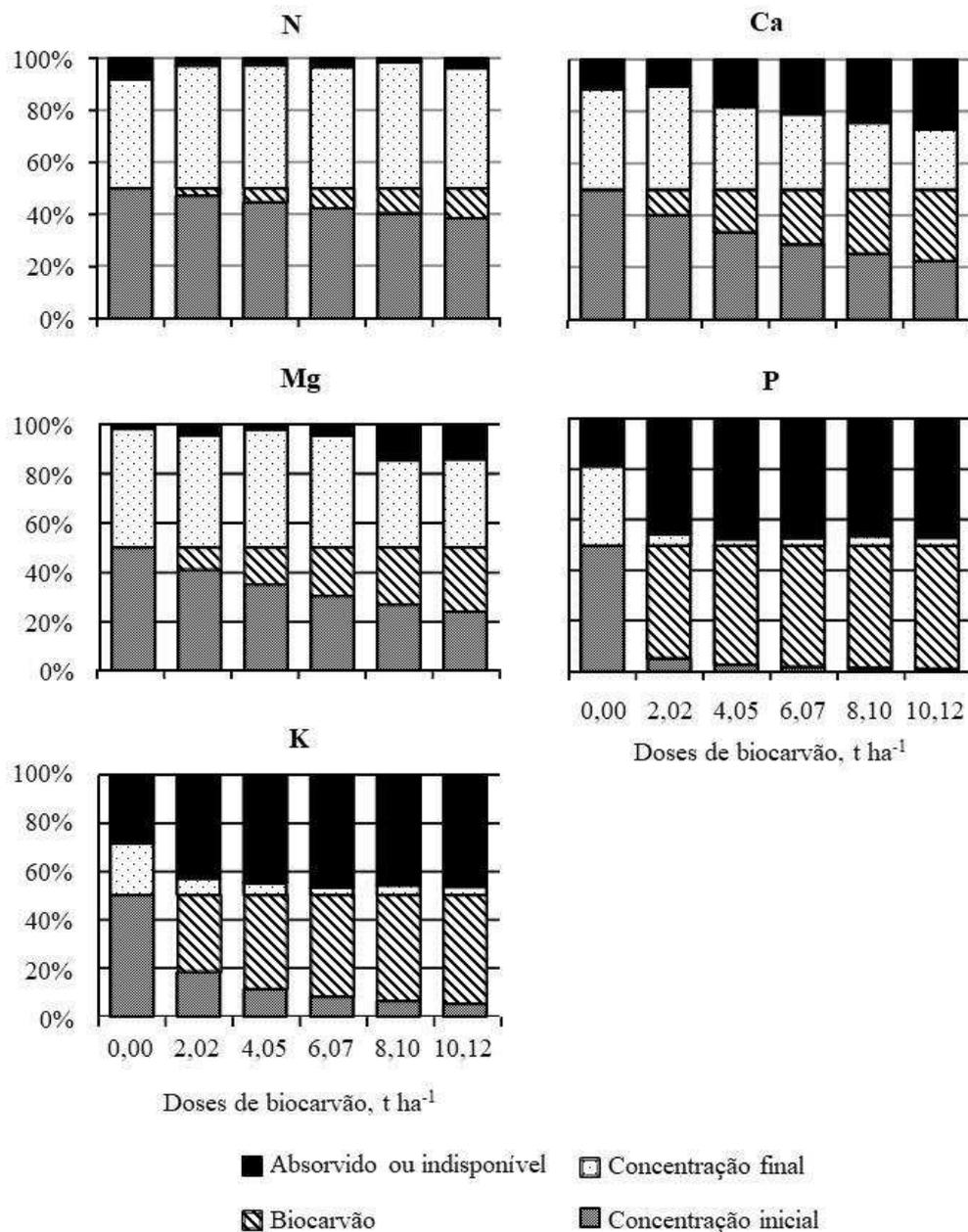


Figura 9. Fração dos elementos na forma absorvida ou indisponível para a planta, concentração final e inicial no solo e no biocarvão em função das diferentes doses do biocarvão aplicado.

Apesar de o biocarvão aumentar a fração de Ca e Mg no solo, acredita-se que a disponibilização destes nutrientes está relacionada com o do tempo de decomposição do biocarvão. Segundo Silva et al. (2011), cerca de 30 dias são suficientes para a cama de aviário fornecer uma quantidade aquedada de nutrientes para o desenvolvimento de plantas de milho. Em estudo do tempo de mineralização de compostos orgânicos, Mello e Vitti (2002), citam que devido à relação C/N da cama de frango a mineralização do N ocorre de forma rápida, sendo disponível cerca de 50% no primeiro cultivo. Em estudos mais recentes foi demonstrado potencial de mineralização da cama de frango de 49,7% (ANDRADE et al., 2015). Contudo, pouco se sabe quanto à mineralização de biocarvões de cama de aviário. Assim, apesar deste insumo apresentar Ca e Mg em sua constituição, aumentando inclusive a fração absorvida ou indisponível, acredita-se que estes nutrientes apresentaram-se preferencialmente na forma indisponível, isto porque, seus teores diminuíram no tecido foliar do milho mesmo havendo acréscimo de Ca no solo, ao termino do experimento, em função da aplicação de biocarvão. Outro fator que também contribuiu para a menor disponibilidade de nutriente, foi o efeito antagônico do potássio para com os elementos Ca e Mg.

A fração dos nutrientes fósforo e potássio, proveniente do biocarvão, aumentou em função das doses aplicadas, o que pode ser explicado pela presença de compostos inorgânicos fontes de fósforo e potássio, tais como: fosfatos de potássio, aluminossilicato de potássio e cloreto de potássio (Capítulo 1). Mesmo comportamento foi observado para a fração absorvida ou indisponível. Porém, no caso do fósforo, assim como no tecido foliar do milho, também se verificou aumento na fração de P no solo após o experimento (concentração final), cuja concentração foi superior se comparada a inicial com a aplicação das doses mais altas de biocarvão. Boa parte da fração de K disponibilizada pelo biocarvão foi absorvida pelo milho, de modo que, mesmo com a aplicação de biocarvão, a concentração final de K no solo foi menor que a concentração observada no início do experimento.

4. CONCLUSÕES

Houve influência das diferentes doses de biocarvão no desempenho agrônômico do milho BRS 2022.

A adição do biocarvão ao solo influenciou positivamente no aumento de todas as variáveis de crescimento e produção analisadas.

A dose de biocarvão utilizada e, portanto, recomendada para obtenção dos melhores resultados desta pesquisa corresponde a uma aplicação de 6,4 t ha⁻¹ deste insumo.

Houve acúmulo de todos os nutrientes (macronutrientes) analisados na folha diagnose do milho em função da aplicação de doses crescentes de biocarvão de cama de aviário.

As características químicas do solo, analisadas após a colheita do milho BRS 2022, revela que houve influência das doses de biocarvão nos teores de cálcio, carbono orgânico, potássio e fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUKARI, A. **Effect of rice husk biochar on maize productivity in the guinea savannah zone of Ghana**. Dissertation (Master os Science). University of Science and Technology, Kwame Nkrumah, 2014. 116p.
- AJAYI, A.E.; HORN, R. Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. **Soil & Tillage Research**, v. 164, 34–44, 2016.
- AKOLGO, G. A.; KEMAUSUOR, F.; AWAFO, E. A.; AMANKWAH, E.; ATTA-DARKWA, T.; ESSANDOH, E. O.; BART-PLANGE, A.; MAIA, C. M. B. F. Biochar as a Soil Amendment Tool: Effects on Soil Properties and Yield of Maize and Cabbage in Brong-Ahafo Region, Ghana, **Open Journal of Soil Science**, v.10, n.3, p. 91-108, 2020.
- ALI, K.; ARIF, M.; SHAH, F.; SHEHZAD, A.; MUNSIF, F.; MIAN, I. A.; MIAN, A. A. Improvement in maize (*Zea mays* L.) growth and quality through integrated use of biochar. **Pakistan Journal of Botany**, v. 49, n.1, p. 85-94, 2017.
- ALMEIDA, M. L.; SANGO, L.; NAVA, I. C.; GALIO, J.; TRENTIN, P. S.; RAMPAZZO, C. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 189–194, 2003.
- ANDRADE, C, A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015.
- ASAI H.; SAMSON, B.K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Biochar amendment techniques for upland rice

- production in Northern Laos: soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, v. 111, p. 81–84, 2009.
- BIEDERMAN, L.A.; HARPOLE, W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202–214, 2013.
- BLACKWELL, P.; RIETHMULLER, G.; COLLINS, M. Biochar application for soil. In: LEHMANN J, JOSEPH, S. **Biochar for environmental management science and technology**. 2 edição. London: Earthscan, 2009. p. 207–226.
- BORNO, M. L.; MULLER-STOVER, D. S.; LIU, F. Biochar properties and soil type drive the uptake of macro- and micronutrients in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, p. 149-158, 2019.
- BRAND, J. J.; BECKER, D. W. Evidence for direct roles of calcium in photosynthesis. **Journal of Bioenergetics and Biomembranes**, v. 16, p. 239–249, 1984.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília: Mapa/ACS, 2013.
- BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação Geral de Apoio Laboratorial, Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p.
- BRUUN, E.W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 46, p. 73–79, 2012.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-131.
- BUTNAN, S.; DEENIK, J. L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M. J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v. 237, p. 105–116, 2015.
- CAMPOS, M. C. C.; SILVA, V. A.; CAVALCANTE, I. H. L.; BECKMANN, M. Z. Produtividade e características agrônômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 77-84, 2010.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

- CELY, P.; TARQUIS, A. M.; PAZ-FERREIRO, J.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G. Factors driving the carbon mineralization priming effect in a Sandy loam soil amended with different types of biochar. **Solid Earth**, v. 5, p. 585–594, 2014.
- CHAUDHARY, M. A.; SHAFIQ, M.; REHMAN, A. U. Effect of organic and inorganic fertilizer on maize crop response under eroded loess soil. **Pakistan. Journal of Soil Science**, v. 15, p.39–43, 1998.
- COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p.
- CORNELISSEN, G.; MARTINSEN, V.; SHITUMBANUMA, V.; ALLING, V.; BREEDVELD, G. D.; RUTHERFORD, D. W.; SPARREVIK, M.; HALE, S. H.; OBIA, A.; MULDER, J. Biochar Effect on Maize Yield and Soil Characteristics in Five Conservation Farming Sites in Zambia. **Agronomy**, v.3, p. 256–274, 2013.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho – Cultivares para 2013/2014**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares>>. Acesso em Dez. 2019
- DELUCA, T. H., MACKENZIE, M. D.; GUNDALE, M. J.; JONES, D.L. “Biochar effects on soil nutrient transformations,” *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**. 2 Edição. New York: Routledge, 2015. p. 419-452.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A; SANTOS, F. C. Potássio. *In*: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.
- FAGBENRO, J. A.; OSHUNSANYA, S. O.; ONAWUMI, O. A. Effect of Saw Dust Biochar and NPK 15: 15: 15 Inorganic Fertilizer on Moringa oleifera Seedlings Grown in an Oxisol. **Agrosearch**, v.13, n.1, p. 57-68, 2013.
- FALOYEA, O. T.; ALATISEA, M. O.; AJAYIA, A. E.; EWULOB, B. S. Synergistic effects of biochar and inorganic fertiliser on maize (zea mays) yield in an alfisol under drip irrigation. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 214–220, 2017.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: FEALQ/ ESALQ/USP, 1999. 360p.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. 186p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrônômica**, v.35, p.1039-1042, 2011.

- FOX, A.; GAHAN, J.; IKOYI, I.; KWAPINSKI, W.; O'SULLIVAN, O.; COTTER, P. D.; SCHMALENBERGER, A. Miscanthus biochar promotes growth of spring barley and shifts bacterial community structures including phosphorus and sulfur mobilizing bacteria. **Pedobiologia**, v.59, p. 195–202, 2016.
- FREITAS, R.S.; DUARTE, A. P.; MIGUEL, F. B.; LEÃO, P. C. L.; CAVICHIOLI, J. C.; TOKUDA, F. **Desempenho agrônômico de cultivares de milho na região Norte/Oeste do Estado de São Paulo - safras 2015/16 e 2016/17**. Anais: II Encontro Técnico sobre as culturas da soja e do milho no Noroeste Paulista, Araçatuba, 2017.
- FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVAÕ, J. C.C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004.
- GASKIN, J.W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **Transaction of ASABE**, v. 51, p. 2061–2069, 2008.
- GAUTAM, D. K.; BAJRACHARYA, R. M.; SITAULA, B. K.; Effects of biochar and farm yard manure on soil properties and crop growth in an agroforestry system in the Himalaya. **Sustainable Agriculture Research**, v. 6, p. 74-82, 2017.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. 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.
- GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; VILELA, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2012.
- GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Diagnostic index for interpretation of foliar analysis of corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.11, p. 1110-1115, 2014.
- GOU, L.; HUANG, J.; SUN, R.; DING, Z.; DONG, Z.; ZHAO, M. Variation characteristic of stalk penetration strength of maize with different density-tolerance varieties. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 26, n. 11, p. 156–162, 2010.

- GUNDALE, M. J.; DELUCA, T. H. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, p. 303-311, 2007.
- HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. **In: MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Cambridge: Academic Press, 2011. p. 135–189,
- HE, T.; MENG, J.; CHEN, W.; LIU, Z.; CAO, T.; CHENG, X.; HUANG, Y.; YANG, X. Effects of biochar on cadmium accumulation in rice and cadmium fractions of soil: A three-year pot experiment. **BioResources**, v. 12, n. 1, p. 622-642, 2017.
- ISHII, T.; KADOYA, K. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular-arbuscular mycorrhizal development. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 63, p. 529–535, 1994
- ISLAM, J. S. M.; MANNAN, M. A.; KHALIQ, Q. A.; RAHMAN, M. M. Growth and yield response of maize to rice husk biochar. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 12, p.1813-1819, 2018.
- ISLAMI, T.; KURNIAWAN, S.; UTOMO, W.H. Yield stability of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) planted in intercropping system after 3 years of biochar application. **American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 4, p. 306 – 312, 2013.
- JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A.; van der VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.144, p. 175–187, 2011.
- JIANG, J.; YUAN, M.; XU, R. K.; BISH, D. L. Mobilization of phosphate in variable-charge soils amended with biochars derived from crop straws. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p.139-147, 2015.
- KALAJI, H. M.; OUKARROUM, A.; ALEXANDROV, V.; KOUZMANOVA, M.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; GOLTSEV, V. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 81, p. 16–25, 2014.
- KIMETU, J. M.; LEHMANN, J. (2010). Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 577-585.

- KINZEL, H.; BERGER, W. Comparative investigations on 2 different types of K/Ca metabolism: Kalanchoe and Zea. **Phyton**, v. 31, p. 307–321, 1992.
- LASHARI, M.S.; YE, Y.; JI, H.; LI, L.; KIBUE, G. W.; LU, H.; PAN, G. Biochar manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1321-1327, 2015.
- LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5, n.7, p.381-387, 2007.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char Sequestration in Terrestrial in Ecosystem – A Review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, p. 403–427, 2006.
- LEHMANN, J.; RONDON, M. Bio-char soil management on highly-weathered soils in the humid tropics. *IN*: UPHOFF, N. **Biological Approaches to Sustainable Soil Systems**, Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 517-530.
- LEHMANN, J.; SILVA, J. P. D.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.
- LIMA, I. S. **Parâmetros físico-hídricos, lixiviação de nutrientes e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L) em argissolo amarelo tratado com biocarvão**. 2016. 76f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE.
- LIMA, L.B. **Desempenho agrônomo da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO.
- LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUM, B.; SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1536-1542, 2007.
- MA, D. L.; XIE, R. Z.; LIU, X.; NIU, X. K.; HOU, P.; WANG, K. R.; LU, Y. L.; LI, S. K. Lodging-related stalk characteristics of maize varieties in China since the 1950s. **Crop Science**, v. 54, p. 2805–2814, 2014.

- MADIBA, O. F.; SOLAIMAN, Z. M.; CARSON, J. K.; MURPHY, D. V. Biochar increases availability and uptake of phosphorus to wheat under leaching conditions. **Biology and Fertil Soils**, v. 52, p. 439–446, 2016.
- MAJOR, J. **A Guide to Conducting Biochar Trials**. International Biochar Initiative, 2009. 32p
- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, p.117 – 128, 2010
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafos,1997. 319p.
- MARTINSEN, V.; MULDER, J.; SHITUMBANUMA, V.; SPARREVIK, M.; BORRESEN, T.; CORNELISSEN, G. Farmer-led maize biochar trials: effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, p. 681-695, 2014.
- MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Influência de materiais orgânicos no desenvolvimento do tomateiro e nas características químicas do solo em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 452- 458, 2002.
- MIA, S.; VAN GROENIGEN, J. W.; VAN DE VOORDE, T. F. J., ORAM, N. J.; BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 83–91, 2014.
- NEVES, A. L. A.; SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; TABOSA, J. N.; ALBUQUERQUE, Í. R. R.; NEVES, A. L. A.; OLIVEIRA, G. F.; VERNEQUE, R. S. A. Agronomic characteristics of corn cultivars for silage production, Semina: **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 1799-1806, 2015.
- NISHIO, M.; OKANO, S. Stimulation of the growth of alfalfa and infection of roots with indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by the application of charcoal. **Bulletin of the National Grasslands Research Institute**, v. 45, p. 61–71, 1991.
- OGUNTUNDE, P. G.; FOSU, M.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 296-299, 2004.
- ORAM, N. J.; van de VOORDE, T. F. J.; OUWEHAND, G. J.; MARTIJN BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; VAN GROENIGEN, J. W. Soil amendment with

- biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 92–98, 2014.
- PACHECO, C. A. P.; PARENTONI NETTO, S.; GUIMARÃES, P. E. O.; GAMA, E. E. G.; MEIRELLES, W. F.; FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R.; SILVA, A. R.; GUIMARÃES, L. J. M.; ROCHA, L. M. P.; GARCIA, J. C.; CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L.; PAES, M. C. D.; COSTA, R. V. **BRS 2022: Híbrido Duplo de Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 7p.
- PANDIT, N. R.; MULDER, J.; HALE, S. E.; MARTINSEN, V.; SCHMIDT, H. P.; CORNELISSEN, G. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. **Science of The Total Environment**, v. 625, n. 1, p. 1380-1389, 2018.
- PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 699-706, 2012.
- PINAMONTI, F. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 3, p. 239-248, 1998.
- RIBEIRO, M. C.; DAMASO, L. F.; COSTA, F. R.; ADILSON PELÁ, A.; RODRIGUES, F. Híbridos de milho sob diferentes doses de fósforo visando o consumo in natura. **Magistra**, v. 28, n. 2, p. 273-278, 2016.
- ROBERTSON, D. J.; LEE, S. Y.; JULIAS, M.; COOK, D. D. Maize stalk lodging: Flexural stiness predicts strength. **Crop Science**, v. 56, p. 1711–1718, 2016.
- ROBERTSON, D. J.; SMITH, S. L.; GARDUNIA, B. W.; COOK, D. D. An improved method for accurate phenotyping of corn stalk strength. **Crop Science**, v. 54, p. 2038–2044, 2014.
- RONDON, M. A.; LEHMANN, J.; RAMIREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology, Fertility of Soils**, v.43, p. 699–708, 2007.
- SABIJON, J.; SUDARIA, M. A. Influence of poultry litter char on phosphorus availability and growth performance of corn (*Zea Mays* L.) in degraded soil. **International Journal of Agriculture, Forestry and Life Science**, v.2, n.2, p.154-163, 2018.

- SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, M. E. L. DA; ARAÚJO, J. L. S.; ALVES, J. D. N.; MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S. Adubação fosfatada na cultura do milho no nordeste paraense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.16, n. 4, p. 441-448, 2017.
- SANTOS, S. R.; LUSTOSA FILHO, J. F.; VERGÜTZ, L.; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1-11, 2019.
- SARA, Z.; SHAH, T. Residual effect of biochar on soil properties and yield of maize (*Zea mays L.*) under different cropping systems. **Open Journal of Soil Science**, v. 8, p. 16-35, 2018.
- SHASHI, M. A.; MANNAN, M. A.; ISLAM, M. M.; RAHMAN, M. M. Impact of Rice Husk Biochar on Growth, Water Relations and Yield of Maize (*Zea mays L.*) under Drought Condition, **The Agriculturists**, v. 16, n.2, p. 93-101, 2018.
- SILOTO, R. C. **Danos e biologia de Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) em genótipos de milho**. Dissertação (Mestrado em entomologia). Escola Superior de FERREIRA, L. R.; SEDIYAMA, T.; CECON, P. R. Crescimento e rendimento do milho sob interferência da tiririca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3077-3084, 2015.
- SILVA, T. R.; MENEZES, J. F.; SIMON, G. A.; ASSIS, R. L.; SANTOS, C. J. L.; GOMES, G. V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama de frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n, 9, p. 903-910, 2011.
- SITUMEANG, Y. P.; ADNYANA, I. M.; SUBADIYASA, I. N. N.; MERIT, I. N. Effect of Dose Biochar Bamboo, Compost, and Phonska on Growth of Maize (*Zea mays L.*) in Dryland. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 5, n. 6, p. 433-439, 2015.
- SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. *In*: SPARKS, D.L. (Ed.) **Advances in Agronomy**. San Diego: Publisher Elsevier Academic Press, v. 105, p.47-82, 2010.
- SOKCHEA, H.; PRESTON, T.R. Growth of maize in acid soil amended with biochar, derived from gasifier reactor and gasifier stove, with or without organic fertilizer biodigester effluent. **Livestock Research for Rural Development**, v.23, p. 1–7, 2011.

- SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.
- SORRENTI, G.; MASIELLO, C. A.; TOSELLI, M. Biochar interferes with kiwifruit Fe-nutrition in calcareous soil, **Geoderma**, v. 272, p. 10–19, 2016.
- SUPPADIT, T.; PHUMKOKRAK, N.; POUNGSUK, P. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* L.) production. **Chilean Journal Agricultural Research**, v. 72, n.2, p. 244-251, 2012.
- SWARUP, A. Enhancing Carbon Sequestration Potential of Agricultural Soils for Sustainable Agriculture and Better Environment. **NAAS Newsletter**, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 edição. Revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.
- TRAZZI, P. A. **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2014.117p.
- VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M. I.; DIAFAS I. **Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**. Luxembourg: European Commission, 2010. 149p.
- WANG, Z.; TANG, C. WANG, H.; ZHAO, C.; YIN, D.; YUAN, Y.; YANG, K.; LI, Z. Effect of different amounts of biochar on meadow soil characteristics and maize yield over three years, **BioResources**, v. 14, n. 2, p. 4194-4209, 2019.
- WIDOWATI, W.; ASTUTIK, A; SUMIATI, A.; FIKRINDA, W. Residual effect of potassium fertilizer and biochar on growth and yield of maize in the second season. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**. v. 4, n. 4, p. 881-889, 2017.
- XUE, J.; ZHAO, Y. S.; GOU, L.; SHI, Z. G.; YAO, M. N.; ZHANG, W. F. How high plant density of maize affects basal internode development and strength formation. **Crop Science**, v. 56, p. 3295–3306, 2016.

- YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Journal Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, p. 489–495, 2006.
- YANG, Y.; MA, S.; ZHAO, Y.; JING, M.; XU, Y.; CHEN, J. A Field Experiment on Enhancement of Crop Yield by Rice Straw and Corn Stalk-Derived Biochar in Northern China. **Sustainability**, v. 7, p. 13713-13725, 2015.
- ZHENG, H.; WANG, Z.; DENG, X.; HERBERT, S.; XING, B. S. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. **Geoderma**, v. 206, p.32–39, 2013.
- ZIMMERMAN, A. R.; GAO, B.; AHN, M. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar amended soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p.1169–1179, 2011.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização química do biocarvão proveniente da cama de aviário pirolisada a 350°C, mostrou que o biocarvão obteve teores aumentados de nutrientes como ferro, manganês, zinco, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e potássio quando comparado a cama de aviário in natura. Tais características revelam um grande potencial deste biocarvão como condicionador do solo.

As propriedades químicas do solo foram favorecidas com a presença do biocarvão, o qual mostrou potencial para uso como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes, principalmente P e K. O aumento da saturação da base com a aplicação do biocarvão contribuiu para o aumento da fertilidade do solo. Porém a sua aplicação em grandes quantidades deve ser bem assistida por possuir características químicas limitantes como elevada condutividade elétrica. Este parâmetro está associado à alta salinidade, uma condição que pode levar a uma diminuição na absorção de água pelas raízes das plantas e causar um subsequente desequilíbrio de nutrientes.

A adição do biocarvão ao solo proporcionou melhorias significativas nas características físico-hídricas do solo, diminuindo a densidade aparente e aumentando a porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível para as plantas, podendo contribuir com uma maior eficiência no uso da água seja esta proveniente de irrigação ou precipitação.

Mudanças positivas com o incremento do biocarvão foram observadas no crescimento, produção e análise foliar do milho BRS 2022. Como este experimento foi realizado em casa de vegetação, sugere-se que o mesmo seja realizado em campo, no intuito de verificar se o comportamento destas variáveis irá corroborar ou não, com os resultados obtidos na presente pesquisa.

As características químicas do solo, analisadas após a colheita do milho BRS 2022, revela que houve influência significativa das doses de biocarvão nos teores de cálcio, carbono orgânico, potássio e fósforo.

De forma geral, os resultados obtidos na presente pesquisa mostraram que o biocarvão produzido a partir da cama de aviário, pode ser sim uma alternativa a destinação desse resíduo, e posterior aplicação ao solo, pois influenciou positivamente nos parâmetros físicos e químicos relacionados ao solo, sem causar prejuízos ao desenvolvimento da cultura instalada.

APÊNDICES

A



B



C



E



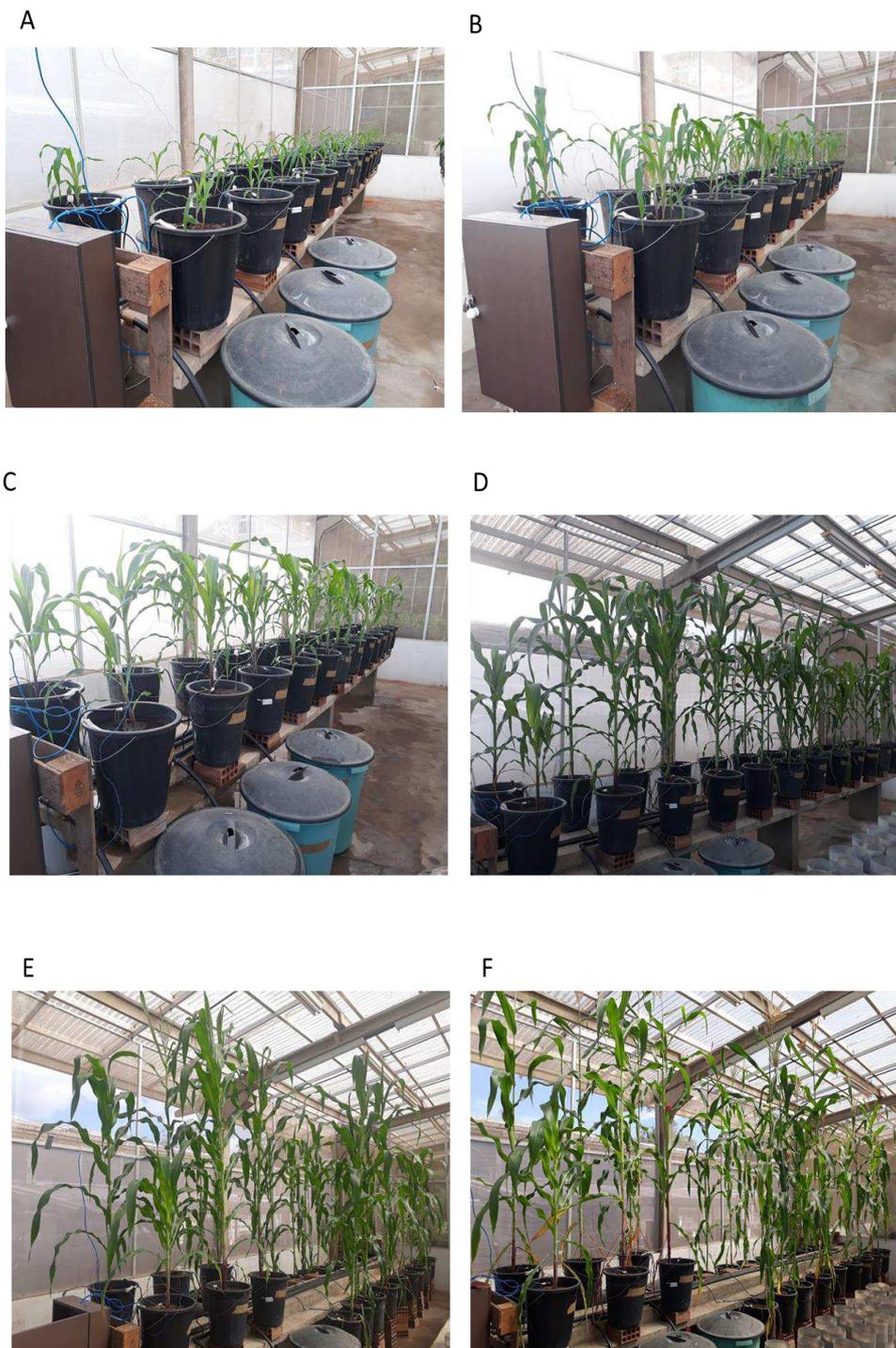
Apêndice A - Etapas na produção do biocarvão: cama de aviário in natura (A); secagem da cama de aviário na estufa a 100°C para retirar a umidade (B); cama de aviário em forno mufla a 350°C para realizar o processo de pirólise (C); Biocarvão da cama de aviário (D).

S2B5R2	S1B0R2	S1B5R3
S4B10R1	S3B10R2	S1B5R1
S7B5R3	S6B0R1	S5B0R1
S6B5R2	S5B10R1	S7B0R1
S4B0R1	S7B10R2	S6B5R1
S6B10R2	S2B10R3	S4B5R1
S3B0R2	S1B5R2	S1B0R3
S3B5R3	S7B5R2	S5B5R3
S7B10R1	S5B10R2	S1B10R3
S1B0R1	S2B0R1	S3B10R1
S7B10R3	S2B5R3	S1B10R2
S6B0R3	S3B0R3	S4B10R2
S6B10R1	S5B0R3	S2B5R1
S6B10R3	S5B0R2	S7B5R1
S6B0R2	S2B10R1	S2B0R3
S4B0R2	S4B10R3	S7B0R3
S4B5R2	S5B5R2	S1B10R1
S3B0R1	S7B0R2	S5B10R3
S2B0R2	S4B5R3	S4B0R3
S5B5R1	S2B10R2	S3B10R3
S3B5R1	S6B5R3	S3B5R2

Apêndice B - Croqui do experimento disponibilidade de nutrientes do biocarvão da cama de aviário para o crescimento inicial do milho BRS 2022 em função de diferentes soluções nutritivas (S1 = sem adubo; S2 = adubação completa; S3 = -N; S4 = -P; S5 = -K; S6 = -Ca e S7 = -Mg) e doses de biocarvão (B0 = 0 t ha⁻¹; B5 = 5 t ha⁻¹ e B10 = 10 t ha⁻¹).



Apêndice C - Avaliação das características de crescimento e produção de matéria seca do Milho Híbrido BRS 2022 no final do experimento disponibilidade de nutrientes do biocarvão da cama de aviário em função de diferentes soluções nutritivas (sem adubo; adubação completa; sem nitrogênio; sem fósforo; sem potássio; sem cálcio; sem magnésio) e doses de biocarvão (0 t ha⁻¹; 5 t ha⁻¹ e 10 t ha⁻¹).



Apêndice D - Imagens do experimento biocarvão e sua influência no desempenho agrônômico do milho híbrido BRS 2022 em diferentes períodos de avaliação: 8 DAE (A); 15 DAE (B); 23 DAE (C); 35 DAE (D); 44 DAE (E); 56 DAE (F).

A



B



C1



C2



D



E



Apêndice E - Estádios Fenológicos do milho BRS 2022: emergência (A); pendoamento (B); florescimento (C1 e C2); grão leitoso (D); grão pastoso (E).