

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**INTERAÇÕES DO BIOCARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DA
PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SISTEMA SOLO-
MICRORGANISMOS-PLANTA**

**Halax Duart Martins Silva
Engenheiro de Alimentos**

**FRUTAL-MG
2023**

HALAX DUART MARTINS SILVA

**INTERAÇÕES DO BIOCARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DA
PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SISTEMA SOLO-
MICRORGANISMOS-PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dra. Osania Emerenciano Ferreira

Coorientador

Dr. Alan Rodrigues Teixeira Machado

FRUTAL-MG

2023

Silva, Halax Duart Martins

S586i Interações do biocarvão produzido a partir da palha da cana-de-açúcar no sistema solo-microrganismo-planta / Halax Duart Martins Silva. - 2023.

101 f.: il., gráficos, tabelas, quadros

Orientadora: Osania Emerenciano Ferreira.

Co-orientador: Alan Rodrigues Teixeira Machado.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, 2023.

Inclui bibliografia

1. Biocondicionante. 2. Fitotoxicidade. 3. Biochar. 4. Atividade microbiana. I. Ferreira, Osania Emerenciano. II. Machado, Alan Rodrigues Teixeira. III. Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal. IV. Título.

CDD - 630

CDU – 631.878



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

HALAX DUART MARTINS SILVA

INTERAÇÕES DO BIOCARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SISTEMA SOLO-MICROORGANISMO-PLANTA

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Tecnologia, Ambiente e Sociedade, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 27 de julho de 2023

Prof.^ª Dr.^ª Mara Cristina Pessoa da Cruz - UNESP - Jaboticabal-SP

Prof. Dr. Eduardo da Silva Martins - UEMG - Frutal-MG

PROF.^ª DR.^ª OSANIA EMERENCIANO FERREIRA

ORIENTADORA



Documento assinado eletronicamente por **Osania Emerenciano Ferreira, Professora de Educação Superior**, em 01/08/2023, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo da Silva Martins, Professor de Educação Superior**, em 01/08/2023, às 09:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mara Cristina Pessoa da Cruz, Usuário Externo**, em 01/08/2023, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **70045938** e o código CRC **B5EDA4F3**.

Dedico este estudo à minha família, aos docentes e discentes da UEMG, que de uma maneira ou outra contribuíram para a conclusão deste projeto dando apoio, força, durante minha trajetória.

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade do que acontecem. Por isto existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”

(Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus familiares, foram base de tudo, sempre presentes em minha vida com apoio, dedicação, carinho e confiança, aos quais serei grandemente grato por toda vida.

À minha orientadora, Professora e Doutora Osania Emerenciano Ferreira, pela ajuda, compreensão, apoio e sabedoria demonstrada, não apenas pelas contribuições no meio acadêmico, mas também pela confiança conferida a mim.

Ao meu Coorientador Professor e Doutor Alan Rodrigues Teixeira Machado, pela ajuda, compreensão, apoio e sabedoria demonstrada ao período que estive no mestrado.

À professora Mara, pelo auxílio nas análises de solo.

Aos colegas discentes do curso de mestrado em Ciências Ambientais UEMG.

Um agradecimento especial aos colegas presentes nos laboratórios de estudo, os quais contribuíram muito para que minhas análises pudessem ter ocorrido da melhor forma possível.

A todos meus amigos que apoiaram que de alguma forma e entenderam minha ausência em momentos importantes.

Ao corpo docente do programa de pós-graduação, mestrado em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Minas Gerais, pela contribuição a minha formação.

À Universidade do Estado de Minas Gerais e seus colaboradores.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto de dissertação e concessão de bolsa.

RESUMO

Condicionadores de solos são produtos obtidos a partir de resíduos da agroindústria e promovem a melhoria nas propriedades físico-químicas e/ou biológicas do solo. Este trabalho teve por objetivo produzir um condicionante (biocarvão), utilizando palha de cana, caracterizar o material obtido, características físicas, químicas, microbiológicas, microscópicas, fitotoxicidade, e sistema de microcosmo, influência na microbiota do solo *in vitro* e condições de vaso. O biocarvão foi produzido em forno duplo tambor por meio de pirólise em temperaturas de 143°C a 340 °C. Caracterizado quanto a área superficial, pH, condutividade elétrica, materiais voláteis, teor de cinzas, carbono fixo, microscopia eletrônica de varredura, fitotoxicidade do material obtido em sementes de soja, milho e algodão, avaliou-se como esse produto influenciou na microbiota do solo *in vitro* (microcosmos) e em condições de vaso, no desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar. A avaliação microbiológica foi feita no solo em vasos e *in vitro* aos 30 dias e 60 dias em meio de contagem de (UFC) unidade formadora de colônias. Utilizou-se meio nutriente para bactérias totais e Meio Martin para fungos totais. O carvão apresentou área superficial de 133 mg/g⁻¹, pH de 9,10, condutividade elétrica de 2,20 ds/m⁻¹, dentre os materiais voláteis os valores foram da ordem de 56,1%, com teor de carbono fixo de 36,4%, e elementos K, Mg, Ca, Cl, Si e S. A microscopia eletrônica de varredura revelou que a superfície do biocarvão apresentou microporos e macroporos, podendo fornecer um habitat para microrganismos. As análises da germinação não apresentaram fitotoxicidade perante a soja e milho, em algodão este apresentou ser sensível. Os solos que receberam doses proporcionais de 1 %, 3% e 5% de biocarvão apresentaram retenção de água para todos os percentuais. Em condições de microcosmo, observou-se tendência de maior atividade respiratória nos solos com aplicação de biocarvão em todos os tratamentos. A atividade da desidrogenase se manteve superior ao solo controle 0% tanto *in vitro* quanto em condições de vaso. O biocarvão proveniente da palha de cana-de-açúcar afetou positivamente as características microbiológicas presentes no solo tanto para *in vitro* quanto para condições de vaso, isto se deve à estrutura porosa tornando um habitat propício para proliferação de microrganismos, mostrando ser benéfico. A atividade respiratória revela que a microbiota do solo foi capaz de utilizar o biocarvão como fonte de carbono. Nas condições experimentais biocarvão-solo-planta mostra que o biocarvão produzido através da palha de cana-de-açúcar obteve resultados promissores quanto as características físicas, químicas em condições de vaso e *in vitro*.

Palavras-chave: Biocondicionante. Fitotoxicidade. Biochar. Atividade microbiana.

INTERACTIONS OF BIOCARBON PRODUCED FROM SUGARCANE STRAW IN THE SOIL-MICROORGANISMS-PLANT SYSTEM

ABSTRACT

Soil conditioners are products obtained from agroindustry residues and promote improvement in the physical-chemical and/or biological properties of the soil. This work aimed to produce a conditioner (biochar), using sugarcane straw, to characterize the material obtained, physical, chemical, microbiological, microscopic characteristics, phytotoxicity, and microcosm system, influence on soil microbiota in vitro and vase conditions. Biochar was produced in a double drum furnace through pyrolysis at temperatures from 143°C to 340°C. Characterized in terms of surface area, pH, electrical conductivity, volatile materials, ash content, fixed carbon, scanning electron microscopy, phytotoxicity of the material obtained in soybean, corn and cotton seeds, it was evaluated how this product influenced the microbiota of the in vitro soil (microcosms) and in vase conditions, in the development of sugarcane seedlings. The microbiological evaluation was carried out in the soil in pots and in vitro at 30 days and 60 days in colony forming unit (CFU) counting medium. Nutrient medium for total bacteria and Martin medium for total fungi were used. The charcoal had a surface area of 133 mg g⁻¹, pH of 9.10, electrical conductivity of 2.20 dsm⁻¹, among the volatile materials the values were around 56.1%, with a fixed carbon content of 36.4%, and elements K, Mg, Ca, Cl, Si and S. Scanning electron microscopy revealed that the surface of the biochar presented micropores and macropores, possibly providing a habitat for microorganisms. Germination analyzes did not show phytotoxicity against soybeans and corn, in cotton this was shown to be sensitive. Soils that received proportional doses of 1%, 3% and 5% of biochar showed greater moisture retention for all percentages. Under microcosm conditions, a trend towards greater respiratory activity was observed in soils with biochar application in all treatments. The dehydrogenase activity remained higher than the 0% control soil both in vitro and in vase conditions. Biochar from sugarcane straw positively affected the microbiological characteristics present in the soil both for in vitro and vase conditions, this is due to the porous structure making it a conducive habitat for the proliferation of microorganisms, proving to be beneficial. The respiratory activity reveals that the soil microbiota was able to use biochar as a carbon source. Under experimental conditions biochar-soil-plant shows that biochar produced from sugarcane straw obtained promising results in terms of physical and chemical characteristics in vase conditions and in vitro.

Keywords: Bioconditioning. Phytotoxicity. Biochar. Microbial activity.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 Objetivo Geral	18
1.1.1 Objetivos Específicos	18
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 CONDICIONADORES DE SOLOS: BIOCARVÃO.....	21
2.2 BIOCARVÃO E SUAS INFLUÊNCIAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROSCÓPICAS PRESENTES DESTE MATERIAL.....	22
2.2.1 Área superficial	22
2.2.2 pH.....	22
2.2.3 Condutividade elétrica.....	23
2.2.4 Materiais Voláteis (MV)	23
2.2.5 Teor de cinzas.....	24
2.2.6 Carbono fixo.....	24
2.2.7 Microscopia eletrônica de varredura	25
2.2.8 Fitotoxicidade do biocarvão	25
2.3 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	26
2.4 REAPROVEITAMENTO DA PALHA DE CANA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO.....	28
2.5 DESAFIO DA AGRICULTURA E O MANEJO SUSTENTÁVEL DO SOLO.....	30
2.6 SISTEMA MICROCOSMO	31
2.7 MICRORGANISMO PRESENTE NO SOLO.....	32
2.8 ENZIMAS PRESENTES NO SOLO	33
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO OBTIDO DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR	41
3.1 INTRODUÇÃO	43
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3.2.1 Coleta e processamento da palha de cana-de-açúcar (PCA)	44
3.2.2 Produção de biocarvão a partir da palha de cana-de-açúcar.....	45
3.2.3 Caracterização do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar (BPT)	46
3.2.4 Determinação da área superficial pelo método de adsorção do azul de metileno	46
3.2.5 Determinação do pH e da condutividade elétrica (CE) do BPT.....	47
3.2.6 Quantificação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo.....	47
3.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	48
3.2.8 Ensaios de germinação de sementes da soja (<i>Glycine max L.</i>), milho (<i>Zea mays L.</i>) e algodão	

(<i>Gossypium hirsutum</i> L.).....	49
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.3.1 Produção e caracterização do biocarvão obtido da palha da cana-de-açúcar	50
3.3.2 Efeitos do biocarvão obtido da palha da cana-de-açúcar na germinação de soja (<i>Glycine max</i>), milho (<i>Zea mays</i> L.) e algodão (<i>Cossypium arboreum</i> L.)	55
3.4 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO 4 - INTERAÇÕES DO BIOCARVÃO NO SISTEMA SOLO MICRORGANISMOS EM SISTEMA DE MICROCOSMOS	67
4.1 INTRODUÇÃO	69
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	70
4.2.1 Montagem dos microcosmos para avaliação <i>in vitro</i> da interação biocarvão-solo-microrganismos	70
4.2.2 Avaliação da interação biocarvão-solo-microrganismos em condição de vasos.....	72
4.2.3 Biometria das mudas de cana-de-açúcar	73
4.2.3.1 Altura da planta	73
4.2.3.2 Comprimento e densidade das raízes	73
4.2.3.3 Matéria fresca.....	74
4.2.4 Análises físico químicas do solo para avaliar os mecanismos de interação biocarvão-solo-microrganismos	74
4.2.5 Determinação da Umidade Gravimétrica (%).....	74
4.2.6 Obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar)	74
4.2.7 Capacidade de retenção de água (CRA).....	74
4.2.8 Determinação do pH.....	75
4.2.9 Monitoramento da atividade microbiana nos microcosmos e em condição de vaso.....	75
4.2.9.1 Contagem de microrganismos do solo: diluição e preparo das amostras para contagem de microrganismos	75
4.2.9.2 Microrganismos totais	76
4.2.9.3 Fungos totais	76
4.2.9.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para microrganismos totais e fungos	76
4.2.10 Carbono da biomassa microbiana	76
4.2.11 Atividade respiratória microbiana (Respiração basal do solo).....	77
4.2.12 Atividade enzimática da desidrogenase	78
4.2.13 Análise estatística.....	78
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.3.1 Análise de umidade do solo em <i>in vitro</i> e em vaso	78
4.3.2 Caracterização do solo de estudo	79
4.3.2.1 Capacidade de retenção de água (CRA).....	79
4.3.3 Efeito do biocarvão sobre o desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar	80

4.3.4 Contagem de microrganismos <i>in vitro</i> e em condição de vaso	82
4.3.4.1 Caracterização das análises de bactérias totais e fungos totais por Microscopia eletrônica de varredura MEV.....	84
4.3.5 Carbono de Biomassa Microbiana (CBM)	86
4.3.6 Atividade respiratória microbiana	87
4.3.7 Atividade Enzimática da Desidrogenase (AED)	88
4.4 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	90
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	101

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2.

Figura 1. Mapa da moagem de tonelada de cana-de-açúcar e produção de açúcar e de etanol (m³) nos estados..... 27

Figura 2. Representação da estrutura típica da cana-de-açúcar 28

Capítulo 3.

Figura 1. Resíduos de palha de cana-de-açúcar após a colheita.....45

Figura 2. Forno duplo tambor..... 46

Figura 3 - Espectro de energia dispersiva de Raios X (EDS), mostrando a presença de nutrientes no Biocarvão obtido da Palha de Cana-de-açúcar (BPT).....51

Figura 4. Espectro de infravermelho do biocarvão obtido da palha de cana-de- açúcar em forno de duplo tambor.....53

Figura 5. Micrografias eletrônicas obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor, com ampliações de (a) 104 vezes, (b) 997 vezes, (c) 3.000 vezes e (d) 5.000 vezes..... 54

Figura 6 - (a) Isotermas de adsorção e dessorção nitrogênio e (b) distribuição de diâmetro de poros do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor.....55

Capítulo 4.

Figura 1. Sistema de microcosmo utilizando frascos de vidro transparente com mistura de solo+ bioarvão nas concentrações em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (3); 5,0 (5) 71

Figura 2. Microcosmos montados em frascos de vidro transparente contendo solo + biocarvão com teor de umidade de 60%.....72

Figura 3. Evolução da quantidade de nutrientes presentes nas diferentes doses de biocarvão..... 82

Figura 4. Crescimento de fungos totais em biocarvão produzidos a partir de palha de cana de açúcar. (A) Biomassa *in natura*; (B) Biocarvão à 1%; (C) Biocarvão à 3%; (D) Biocarvão à 5%.....85

Figura 5. Crescimento de bactérias totais em biocarvão produzido a partir de biomassa de palha de cana de açúcar em análises microrganismo. (A) Biomassa *in*

<i>natura</i> ; (B) Biocarvão à 1%; (C) Biocarvão à 3%; (D) Biocarvão à 5%.....	86
Figura 6. Carbono da biomassa microbiana em função do tempo de avaliação do biocarvão e em condições <i>in vitro</i> e vasos.....	87
Figura 7. Atividade respiratória microbiana nos 4 tratamentos ao longo de 7 semanas.....	88
Figura 8. Atividade enzimática da desidrogenase em função do tempo de avaliação do biocarvão.....	89

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3.

Tabela 1. Características químicas do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor (BPT).....	51
Tabela 2. Classificação quanto ao grau de toxicidade ao efeito do biocarvão obtido da alha de cana-de-açúcar.....	56
Tabela 3. Efeito do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar na Germinação Relativa (GR, %), no Crescimento Médio Relativo da Radícula (CRR, %) e no Índice de Germinação (IG, %) de sementes de soja (<i>Glycine max</i> L.), milho (<i>Zea mays</i> L.) e algodão (<i>Gossypium arboreum</i> L.).....	56

Capítulo 4.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados no sistema de microcosmos, utilizando frascos de vidro transparente com mistura de solo + biocarvão nas doses em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (3); 5,0 (5)	72
Tabela 2. Descrição dos tratamentos avaliados no sistema de vasos, utilizando vasos perfurados com mistura de solo + biocarvão nas doses em percentagem de massa (% m/m): controle; 1,0%; 3,0%, 5,0%.....	73
Tabela 3. Caracterização dos solos quanto a Umidade (%), em vaso e in vitro após 30 dias e 60 dias de experimento a tratamento com diferentes doses de biocarvão	79
Tabela 4. Capacidade de Retenção de Água (CRA).....	80
Tabela 5. Altura, comprimento de raiz e produção de Matéria Fresca (parte aérea e subterrânea), de mudas de cana-de-açúcar após 30 dias e 60 dias de plantio submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão.....	81
Tabela 6. Quantificação de bactérias totais no solo nos intervalos 0, 30 dias e 60 dias de microcosmos submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão e em condição de vaso.....	83
Tabela 8. Quantificação de fungos totais no solo nos intervalos 0, 30 dias e 60 dias de microcosmos submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão e em condição de vaso.....	84

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura e o manejo sustentável do solo vêm enfrentando desafios e com isto é necessário que sejam implementadas práticas agrícolas que não impactem negativamente o meio ambiente. O aumento da geração de resíduos com o crescimento populacional vem causando preocupação no intuito de buscar novas tecnologias para processos agrícolas mais sustentáveis. Para isto novas alternativas vêm sendo estudadas com o intuito de inibir o aumento de insumos e viabilizar o plantio e cultivo agrícola.

O uso de biocondicionadores pode contribuir para mudanças significativas nas propriedades físicas do solo, tais como: estrutura, porosidade e diâmetro dos poros em função de sua maior área superficial específica (DOWNIE et al., 2009). O biocarvão é um material carbonáceo poroso preparado a partir da pirólise de resíduos orgânicos. Pesquisas apontam que o carvão é eficaz em diferentes tipos de solo, já que possui características importantes como sua alta capacidade de sorção, alta área superficial, capacidade de troca catiônica e aniônica, alteração de pH e presença de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio (LEHMANN; JOSEPH, 2015).

A adição de biocarvão ao solo é um método eficaz para aumentar o sequestro de carbono no solo (HAMMOND et al., 2011; WINDEATT et al., 2014).

Assim, o biocarvão pode ser uma alternativa viável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, sendo um composto que permite melhorar o cultivo agrícola. Diferentes resíduos agrícolas podem ser utilizados para sua produção tais como: resíduos da madeira (GASCÓ, 2016), casca de arroz (EBE, 2019), palha de trigo (VISIOLI, 2016).

A utilização de resíduos orgânicos descartados na agricultura torna-se um tema de importância, estes descartados no solo em quantidades grandes em todo o mundo podem tornar aproveitáveis, transformando um resíduo descartado no meio ambiente em um resíduo utilizável, propiciando desta forma um manejo de solo sustentável. As propriedades físico-químicas do biocarvão produzido a partir de resíduos agrícolas, está relacionada com a temperatura do processo de pirólise e tempo de produção (HAMZAH et al., 2013).

O setor sucroenergético gera uma grande quantidade de resíduos. Atualmente o Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo que é utilizada para fabricação de açúcar, álcool combustível, biodiesel e energia. O setor é referência no aproveitamento dos seus resíduos, como a vinhaça, torta de filtro que já são utilizados no fornecimento de nutrientes para

solo e em cultivos, a palha e o bagaço que são reaproveitados na geração de energia das suas caldeiras, ou como mistura na ração animal (ASSAD, 2017). Diante destas características é um setor que tem matéria prima para produção de biocarvão, bem como necessita de técnicas sustentáveis na parte agrícola.

Na agricultura, o biocarvão pode melhorar propriedades físicas, químicas e biológicas no solo, podendo ter efeitos positivos do rendimento de culturas. Estudos realizados por (VAN ZWIETEN et al., 2009); (OLESZCZUK et al., 2013) e (SMIDER E SINGH, 2014) apresentam uma perspectiva interessante sobre a influência da adição de biocarvão nas propriedades agrônômicas do solo e no risco ecotoxicológico da adição de biocarvão. Estudos confirmam a aplicação adequada de biocarvão na melhoria do estado de nutrientes e propriedades físico-químicas e biológicas de campos de cultivo como milho, arroz e trigo (CHEN et al., 2010; LASHARI et al., 2015; SUN et al., 2017).

Durante o processo de carbonização, se não houver um controle bem estabelecido da temperatura, podem surgir alguns compostos fotoquímicos, tais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) citados por Fabbri et al. (2010), podendo ocasionar risco ao solo e a agricultura quando aplicados já que o biocarvão é resultante do processo de pirólise, ou seja, é produto da combustão incompleta de restos de material orgânico, mesmas condições que são produzidos os Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs).

Sabe-se que o impacto do biocarvão sobre o solo em especial nas diferentes culturas é bastante diverso. Assim, é importante investigar a fitotoxicidade do biocarvão frente a germinação de semente, uma vez que ainda não está completamente elucidado esse mecanismo de interação. O biocarvão não deve apresentar nenhum efeito tóxico, para que assim, seja destinado para fins de condicionante de solo.

Os efeitos positivos da aplicação do biocarvão em várias culturas foram validados, mas até agora há muito pouco conhecimento sobre seus efeitos no crescimento da cana-de-açúcar. Na região do Triângulo Mineiro, município de Frutal, local do experimento, ocorre intensa atividade agrícola nos últimos anos com a expansão de cana-de-açúcar, sendo importante pesquisas que permitam o manejo sustentável na cultura. A palha de cana-de-açúcar é uma alternativa viável, devido a grande disponibilidade deste resíduo para ser utilizada como matéria prima para obtenção do biocarvão, além de ser uma demanda do setor sucroenergético que busca alternativas que melhorem aptidão agrícola dos solos e minimizem a dependência na importação de fertilizantes.

Embora o potencial do biocarvão tenha sido relatado em vários trabalhos, com uso generalizado desse material na agricultura, faz-se necessário o desenvolvimento de novas pesquisas. Este trabalho foi organizado em capítulos e avaliará:

No primeiro capítulo aborda a introdução do presente trabalho, aplicação do biocarvão no solo.

No segundo capítulo apresenta referencial teórico do biocarvão e suas análises realizadas, cultura de cana-de-açúcar e os desafios na agricultura.

No terceiro capítulo apresenta produção do biocarvão a partir de forno duplo tambor, análises físicas, químicas e fitotoxidade do biocarvão.

No quarto capítulo apresenta o preparo dos vasos e microcosmos (*In vitro*), interação carvão-solo-planta/carvão-solo, avaliação microbiológica relacionado as bactérias totais, fungos totais, carbono de biomassa, atividade respiratória e enzimática.

1.1 Objetivo Geral

Produzir e caracterizar o biocarvão a partir de palha de cana-de-açúcar e avaliar as interação biocarvão-solo-planta.

1.1.1 Objetivos Específicos

Produzir e caracterizar o biocarvão a partir da palha de cana por meio da pirólise em forno de duplo tambor;

Verificar a fitotoxidade deste material por meio de testes de germinação e avaliar os efeitos de diferentes doses do biocarvão (0, 1,3 e 5% v/v), no desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar pré brotadas em até 60 dias após o plantio;

Investigar os efeitos de diferentes doses do biocarvão nos parâmetros físicos, químicos e biológicos (microbiologia) em solo, em condição de vaso e *in vitro* com duração de 60 dias.

REFERÊNCIAS

- ASSAD L. Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores. **Ciência e Cultura**, v. 69, n. 4, p. 13–16, out. 2017.
- CHEN Y., SHINOGI Y., & TAIRA M. (2010). **Influência do uso de biochar no açúcar crescimento da cana, parâmetros do solo e qualidade da água subterrânea**. Pesquisa de Solo, 48(7), 526-530. <https://doi.org/10.1071/SR10011> Acesso em: 22 de dezembro de 2021 disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR10011>.
- DOWNIE A. et al. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: **science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 13-32.
- EBE S., OHIKE T., OKANAMI M., ANO T. Components of rice husk biochar in promoting the growth, sporulation and iturin A production of *Bacillus* sp. strain IA. **Zeitschrift Für Naturforschung C**, [S.L.], v. 74, n. 7-8, p. 211-217, 27 mar. 2019. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/znc-2018-0223>.
- FABBRI D., ADAMIANO D., TORRI A.C. 2010. GC–MS determination of polycyclic aromatic hydrocarbons evolved from pyrolysis of biomass. **Anal Bioanal Chem**. 397:309–317.
- GASCÓ G., CELY P., PAZ-FERREIRO J., PLAZA, C.; MÉNDEZ, A. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development. **Biological Agriculture & Horticulture**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 237-247, 31 mar. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2016.1166348>.
- HAMMOND J.; SHACKLEY S., SHOHI S., BROWNSORT P. Propective life cycle carbon abatement for pyrolysis. **Biomass Bioenergy** v. 71. P. 330-339. 2011.
- HAMZAH Z. et al. Characterization of physicochemical properties of biochar from different agricultural residues. **Advances in Environmental Biology**, v. 7, n. 12 S2, p. 3752-3758, 2013.
- LAIRD D., FLENNING P., WANG B. HORTON R., KARLEN P. Biochar impact on nutrient leaching from a mid western agricultural soil. **Geoderma** v. 158. P. 436-442. 2010.
- LASHARI M. S. et al. 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, 15 ago. 2014.
- LEHMANN, J., JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: **Biochar for environmental management**. Routledge, 2015. p. 33-46.
- OLESZCZUK P., JOŚKO I., KUŚMIERZ M. 2013. Biochar properties regarding to contaminants content and ecotoxicological assessment. **J Hazard Mater**. 260:375–382.
- SMIDER B., SINGH B. 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. **Agric Ecosyst Environ**. 191:99–107.

SUN J. et al. Effect of biochar amendment on water infiltration in a coastal saline soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 11, p. 3271–3279, 19 abr. 2018.

TRAZZI P. André; H., RIOYEI A., DIECKOW J., MANGRICH A. S., HIGA R. C. V. BIOCARVÃO: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 875-887, 29 jun. 2018. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832128>.

VAN Z. L., KIMBER S., MORRIS S., CHAN K.Y., DOWNIE A., RUST. J, JOSEPH S., COWIE A.2009. Efeitos do biochar de lento pirólise de resíduos de fábrica de papel no desempenho agronômico e fertilidade do solo. **Planta Solo**. 327:235-246.

VISIOLI G., CONTI F.D., MENTA, C. et al. Assessing biochar ecotoxicology for soil amendment by root phytotoxicity bioassays. *Environ Monit Assess* **188**, 166 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5173-y>.

WINDEATT J. H., ROSS A. B., WINLLIONS P. T., FORSTER P. M., NAHIL M. A. SINGG S. **Characterstics of biochars fron crop residues: potential for carbon sequestration and soil amendment**. J. Eviron. Manage v. 146. p. 189-197. 2014.

YANG L. F., LIAO M., HUANG L.T. YANG Y.R. L. Biochar improves sugarcane seedling root and soil properties under a pot experiment. **Sugar tech** v. 17(1): p.36–40.2015.

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONDICIONADORES DE SOLOS: BIOCARVÃO

O termo biocarvão ou biochar (do grego *bios* = vida e do inglês *char* = carvão) foi proposto a partir dos estudos da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios na Região Amazônica, em concordância com questionamentos que envolvem o manejo sustentável do solo (LEHMANN e JOSEPH, 2009).

Funcionando como uma matriz para retenção de microrganismos e nutrientes, pesquisas apontam que o carvão é eficaz em diferentes tipos de solo, já que possui características importantes como sua alta capacidade de sorção, alta área superficial, capacidade de troca catiônica e aniônica, alteração do pH e nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio (LEHMANN e JOSEPH, 2015).

A produção de biocarvão pode ser de alto custo devido à origem e valor da matéria-prima utilizadas (BACCAR et al., 2009). Nesse sentido, a utilização de materiais alternativos, de baixo custo que possam ser utilizados na produção de biocarvão são particularmente importantes (NASCIMENTO et al., 2017). Resíduos agroindustriais são matérias-primas muito atrativas na produção de biocarvão, devido ao baixo custo e simplicidade de produção e ao aproveitamento de biomassas descartadas pelo setor agrícola sem pretensão de utilização (NASCIMENTO et al., 2017).

(LEHMANN ET AL, 2011), definem o biocarvão com o produto da degradação térmica da matéria orgânica numa atmosfera limitada de oxigênio e a temperaturas relativamente altas, por volta de 500 °C. Esse produto é resultante do processo de pirólise, ou seja, é produto da combustão incompleta de restos de material orgânico ou de culturas possuindo alto teor de carbono em sua composição. Trata-se de um processo semelhante àquele utilizado na produção de carvão vegetal (uma das tecnologias mais antigas desenvolvidas pela humanidade) que se distinguem principalmente pelo uso final. Quando incorporado no solo, o biocarvão pode acarretar em diversas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (KOOKANA et al., 2011).

Os solos agrícolas quando explorados com frequência, tem gerado a degradação da área agrícola, baixa produtividade e assim tornando uma área improdutiva, porém o uso do biocarvão pode contribuir para mudanças significativas nas propriedades físicas e químicas do

solo, tais como: estrutura, porosidade, diâmetro dos poros, em função de sua maior área superficial específica (DOWNIE et al. 2009).

2.2 BIOCARVÃO E SUAS INFLUÊNCIAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROSCÓPICAS PRESENTES DESTE MATERIAL.

2.2.1 Área superficial

O biocarvão é um material carbonáceo e poroso preparado por meio da carbonização e ativação de substâncias orgânicas, em sua maioria de origem vegetal. São utilizados para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos, no tratamento de efluentes entre outros (BRUM et al., 2008).

A adsorção na fase líquida aplica-se a muitos processos de purificação, sendo o principal tratamento de resíduos em água. O Azul de Metileno (AM) é frequentemente empregado como adsorbato na adsorção em fase líquida (BRUM et al., 2008).

A elevação da área superficial específica do solo, alta porosidade e a predominância de cargas negativas de superfície no biocarvão, proporciona nitrogênio (MURKHERJEE et al., 2011). O nitrogênio exerce várias funções no crescimento das plantas, dentre elas resulta em maior teor de nitrogênio nas folhas resultando e forte correlação positiva entre fotossíntese e o teor de nitrogênio para muitas espécies (CECHIN E FUMIS, 2004).

Em um estudo realizado por (MOTA et al., 2021) com resíduos de madeira de eucalipto por pode-se verificar uma alta área superficial específica das partículas de biocarvão, que variou entre 200 e 400 m²g⁻¹ e favoreceu a retenção de água e nutrientes, contribuindo assim para o aumento da área foliar e altura de plantas de mudas de cana-de-açúcar.

2.2.2 pH

O pH do biocarvão é de grande importância pois pode ter influência sobre o solo. Embora o efeito do biocarvão no pH do solo possa ser benéfico para melhorar os solos ácidos, o aumento do pH tem sido associado a deficiências de micronutrientes e reduções de rendimento em alguns sistemas agrícolas (KISHIMOTO e SUGIURA, 1985). A maioria dos biochar usados para correção do solo são alcalinos (MUKHERJEE e LAL, 2014).

Quando se compara matérias-primas e seus respectivos biocarvões observou-se que ambos apresentaram uma faixa de pH mais neutro/alcalino. (LEHMANN et al., 2011) mencionam que biocarvões produzidos a partir de produtos não madeireiros possuem um pH mais elevado, isso pode ocorrer devido a presença de espécies químicas, como carbonatos e outros sais.

2.2.3 Condutividade elétrica

O conhecimento da quantidade de sais solúveis de Ca, Mg, Na e K, estimada pela condutividade elétrica, presentes no biocarvão é de grande importância, sendo que altas taxas de aplicação de biocarvão no solo podem afetar adversamente as plantas sensíveis aos sais (JOSEPHE et al., 2009).

Os valores de condutividade elétrica de biochar podem variar de 0,04 dS m⁻¹ (RAJKOVICHE et al., 2012) a 54,2 dS m⁻¹ (SMIDER e SINGH 2014) e pode ser estabelecida relações entre a condutividade elétrica e a matéria prima bem como com a temperatura de pirólise.

Biocarvão produzido em temperaturas de pirólise mais altas geralmente têm valores de condutividade elétrica mais altos (CANTRELLE et al., 2012; CLAOSTONE et al., 2014; REHRAHET et al., 2014). Este efeito tem sido atribuído ao aumento da concentração de resíduos ou cinzas causados pela perda de material volátil durante a pirólise (CANTRELLE et al., 2012).

2.2.4 Materiais Voláteis (MV)

Os materiais voláteis (MV) correspondem à fração da biomassa volatilizada durante o aquecimento, composta por gases e vapores orgânicos condensáveis (RENDEIRO et al., 2008; FROEHLICH e MOURA, 2014).

(TRUGILLHO E SILVA, 2001) e (DIAS JÚNIOR et al., 2020), afirmam que a perda de massa ocasionada pela liberação de materiais voláteis entre as temperaturas de 300°C a 500°C é muito maior do que a redução nas dimensões volumétricas do carvão vegetal, o que explica a diminuição da densidade aparente e verdadeira.

O material volátil tende a ser liberado em temperaturas mais elevadas (PAULINO et al., 2019), e apresenta relação com a facilidade de queima do material, resultando em biocarvões

com menor teor de carbono fixo. Assim, quanto maior a temperatura definida para o processo de pirólise, maior a liberação de materiais voláteis.

(PEREIRA E SEYE, 2014) em seu estudo sobre características e reais potencialidades energéticas de algumas biomassas residuais, encontraram valor de 80,42% de material volátil no bagaço de cana-de-açúcar. (KAMEYAMA et al., 2016) estudando o biocarvão de palha de cana-de-açúcar em diferentes temperaturas de pirólise obtiveram 51% a 400°C, enquanto (ZHANG et al., 2017) encontraram 60% de MV no bagaço pirolisado a 350°C. (CONZ et al., 2017) afirmam que a palha de cana-de-açúcar pode-se comparar ao processo de pirólise do bagaço de cana-de-açúcar.

2.2.5 Teor de cinzas

(CAO E HARRIS, 2010), estudando as propriedades do biocarvão de palha de cana-de-açúcar observaram 96% de cinzas a composição da matéria-prima pode influenciar, pois quanto maior a quantidade de nutrientes mais elevado será o teor de cinzas (SOUZA et al., 2022).

As cinzas são produtos obtidos da combustão completa dos componentes orgânicos e da oxidação dos materiais inorgânicos (SOUZA et al., 2022). São formadas por elementos em forma de sais ligadas à estrutura do carbono e na forma de partículas de minerais (RENDEIRO et al., 2008; VAN LOO e KOPPEJAN, 2008). O teor de cinzas está relacionado também à presença de material inorgânico na amostra, devido a contaminação do resíduo depositado sobre o solo (PIRES, 2017).

Ao se analisar o teor de cinzas do material estudado por (DELATORRE, 2020), observa-se que houve pequeno aumento do seu percentual com a elevação de temperatura de pirólise, comportamento similar ao encontrado por (FIGUEIREDO et al., 2018).

2.2.6 Carbono fixo

O teor de carbono fixo está relacionado à quantidade de carbono presente no biochar, comportando-se de modo proporcional ao aumento da temperatura de pirólise. (MARQUES, 2022). A partir da elevação da temperatura, os compostos voláteis e condensáveis são liberados. Inicia-se com a perda de oxigênio e hidrogênio em forma de água e hidrocarbonetos, seguindo

com a liberação dos gases não condensáveis como o monóxido e o dióxido de carbono (MAIA, 2017).

O teor de carbono fixo atingiu valores altos em todas as amostras no material estudado por (SANTANA et al., 2021), tendo como destaque a amostra de biocarvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, a 500 °C, com teor maior que 60%. Observou-se que os valores de carbono fixo estão relacionados à temperatura de pirólise, tal como verificado no trabalho de (ROZ et al., 2015), ou seja, quanto maior a temperatura utilizada, maiores são os teores de carbono fixo. A resposta positiva do carbono fixo em relação à temperatura ocorre porque com o aumento da temperatura ocorre a perda de água higroscópica e compostos como CO e CO₂ que são volatilizados durante o processo de pirólise (YANG et al., 2007).

2.2.7 Microscopia eletrônica de varredura

Através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é possível obter as imagens das estruturas das cinzas da palha de cana-de-açúcar e a composição química do biocarvão utilizando Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) (MARQUES, 2022).

Para entender a morfologia da superfície do biocarvão, um microscópio eletrônico de varredura foi usado para analisar amostras de biocarvão (MURALIKRISHNAN et al., 2021). Em estudos realizados por (MURALIKRISHNAN et al., 2021), pode-se verificar que a composição do biochar bruto era composto principalmente por carbono (71,91%) e oxigênio (9,70%).

2.2.8 Fitotoxicidade do biocarvão

Apesar do biocarvão obtido por meio do processo de pirólise oferecer benefício ao meio ambiente, há um ponto importante a ser abordado, a presença de compostos fitotóxicos em alguns biocarvões. Durante a carbonização, alguns compostos fitotóxicos, como Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) (FABBRI et al., 2010), podem se formar, e sua presença no biocarvão pode representar um risco de contaminação para solos e culturas (GASCÓ, 2016). O importante é controlar a temperatura durante a pirólise de forma a não formar esses compostos.

Existe o risco de toxicidade nas plantas ou de migração pelo perfil do solo até as águas subterrâneas (KOEUTOWSKI E OLESZCZUK, 2015), podendo ter efeito negativo para a saúde dos seres humanos, para o meio ambiente e para os organismos vivos (BOUQBIS, 2017). O biocarvão aplicado no solo deve estar livre de substâncias tóxicas antes mesmo de sua aplicação no solo.

2.3 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

O crescimento acelerado da população mundial nas últimas décadas expandiu a demanda por alimentos, combustíveis, fibras e forragem, levando a um aumento na pressão sobre os recursos naturais (BORDONAL et al., 2018). A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis, devido ao grande potencial na produção de etanol e por ser uma fonte renovável de energia.

O etanol é considerado alternativa viável de energia por substituição aos derivados de petróleo podendo contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono. Segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), a safra de cana de açúcar 2022/2023 está estimada em 598,3 milhões de toneladas. Comparando com a safra 2021/2022, houve crescimento de 4,4% (CONAB, 2022). Um dos fatores relacionados quanto há sua produtividade média ser baixa, são as adversidades climáticas enfrentadas durante a safra, um dos maiores causadores de atraso está relacionados a baixos níveis pluviométricos e as fortes geadas que impactam no potencial de produção da cultura de cana-de-açúcar.

O Brasil é maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e o principal exportador dos seus derivados, etanol e açúcar. O setor sucroalcooleiro é uma atividade crescente e se destaca principalmente pelo aspecto da autossuficiência energética da mesma maneira que seus subprodutos (SUGARCANE, 2019). Um fator de grande destaque na produção de cana-de-açúcar é a utilização de agrotóxicos, sendo o Brasil um grande utilizador (CARNEIRO, 2015).

O Brasil possui fatores favoráveis para o cultivo de cana-de-açúcar como solos férteis, água, clima tropical e relevos planos.

A produção de cana-de-açúcar tem se expandido nos estados do Goiás, Mato Grosso do Sul, Triângulo Mineiro, São Paulo e Paraná, como pode ser observado na Figura 1.

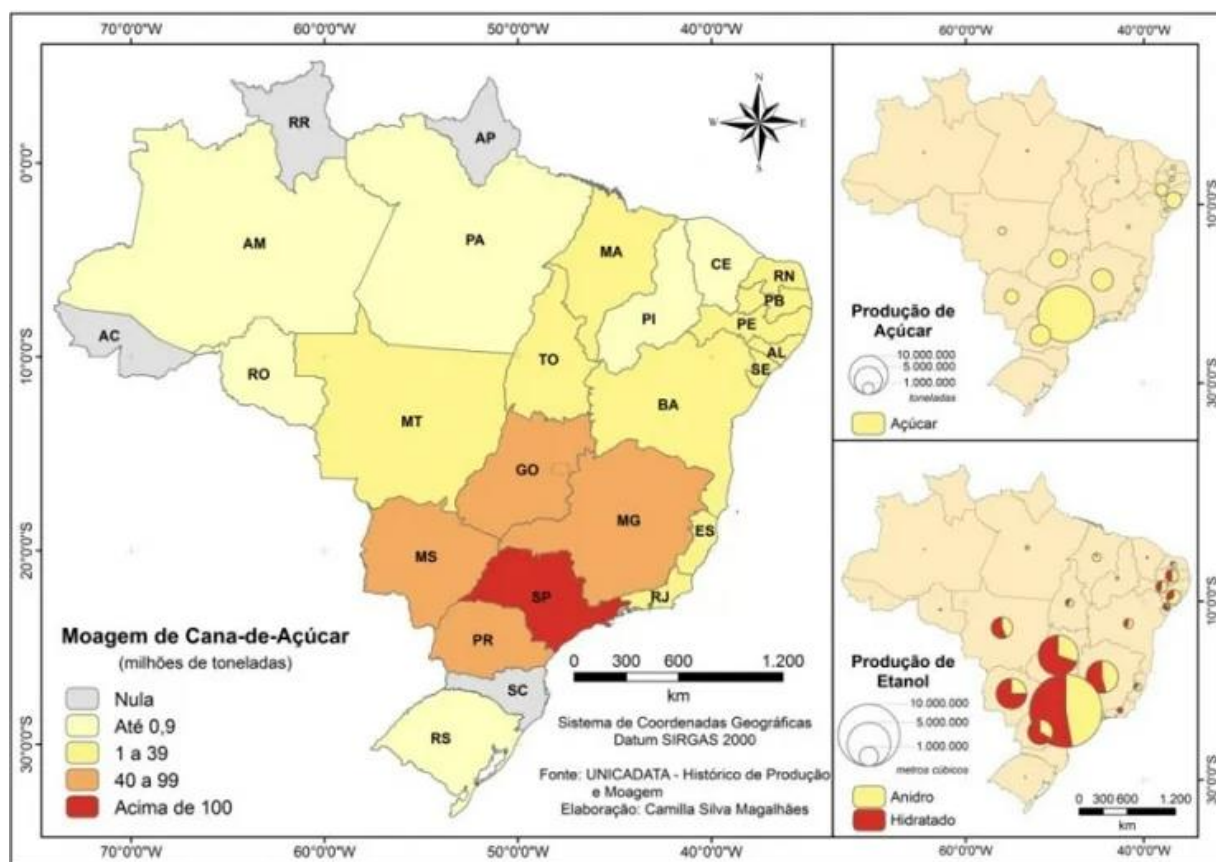


Figura 1 - Mapa da moagem de tonelada de cana-de-açúcar e produção de açúcar e de etanol (m³) nos estados brasileiros

Fonte: (CONAB, 2019).

Da cana-de-açúcar obtém-se: caldo, bagaço e palhiço, os três com teores energéticos similares. Normalmente, o processo produtivo tem focado tradicionalmente o caldo e o bagaço, deixando o palhiço como um resíduo com pouco aproveitamento. Sabe-se, entretanto, que, nos dias atuais, é de extrema importância o aproveitamento de todo e qualquer resíduo de biomassa renovável, devido ao seu valor energético (RIPOLI et al., 2004).

A palha é o “material remanescente sobre a superfície do talhão após a colheita, principalmente a mecanizada, constituído de folhas verdes, palhas, ponteiros e/ou suas frações; frações de colmos (industrializáveis ou não); eventualmente, frações de raízes e partículas de solo a eles aderidas”. A Figura 2 apresenta uma estrutura típica de cana-de-açúcar.

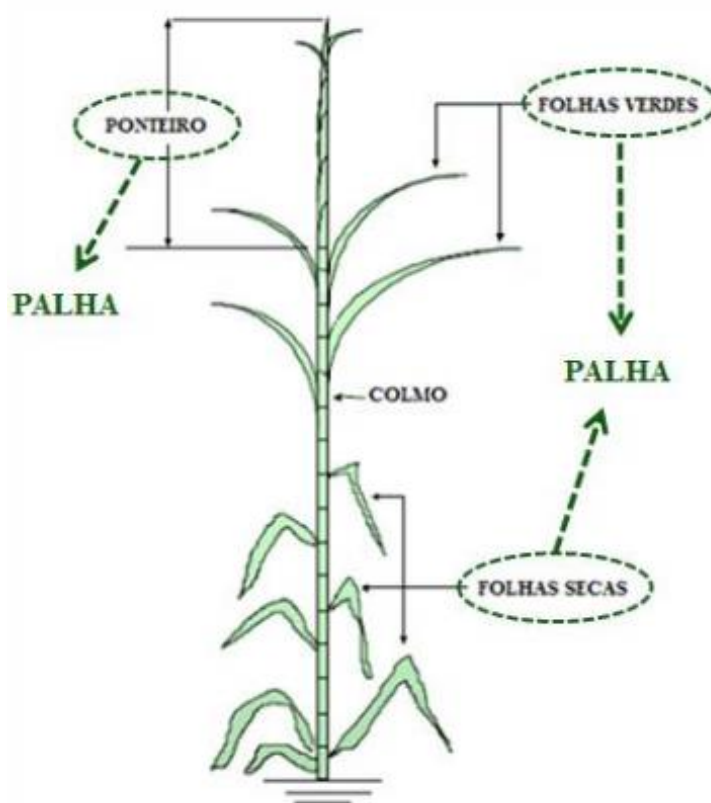


Figura 2 - Representação da estrutura típica da cana-de-açúcar

Fonte: (GEORGES, 2011).

2.4 REAPROVEITAMENTO DA PALHA DE CANA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO

A palha e o bagaço de cana-de-açúcar podem ser uma alternativa viável para produção de bocarvão, devido a sua grande disponibilidade e acessibilidade, especialmente em localidades com intenso cultivo de cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar é uma das principais culturas brasileiras, sendo o estado de Minas Gerais o terceiro maior produtor do Brasil, com destaque, para região do Triângulo Mineiro, incluindo municípios de Uberaba, Frutal, Ituiutaba, Conceição das Alagoas e Iturama, onde na última década ocorreu expansão da cultura. De acordo com os dados da Conab para a safra 2022/2023 a área total estimada de cultivo de cana-de-açúcar em Minas Gerais foi de 896,4 mil hectares (CONAB, 2023).

Durante a cadeia produtiva da cana-de-açúcar são gerados vários subprodutos, dentre estes a palha ou palhiço e o bagaço. O palhiço compreende todo o material remanescente sobre a superfície do talhão, após a colheita da cana, principalmente a mecanizada, constituída de

folhas verdes, palhas, ponteiros, colmos, raízes, ervas daninhas e/ou partículas de solo a elas aderidas. O bagaço é resultante do processo de extração do caldo da cana. Ambos são constituídos por celulose, hemicelulose e lignina, dentre outros constituintes. Estima-se que para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, 260 quilogramas são transformados em bagaço, para palha, este valor está condicionado a variedade e estágio de corte, podendo gerar entre 10 a 15 toneladas de matéria seca por hectare de cana-de-açúcar, com umidade de 10% (MARTINS, ZANELLA & PAULINO JÚNIOR, 2007).

Até alguns anos atrás o bagaço de cana e a palha eram subaproveitados. Parte do bagaço era queimada em caldeiras para geração de energia e a palha ficava no campo. Atualmente observa-se uma mudança neste cenário, dando outros empregos a estas matérias-primas e agregando maior valor a este subproduto, tais como: produção de papel, carvão vegetal e até como constituinte de massa asfáltica, produção de pellets, fazendo com que este subproduto agroindustrial ganhe valor tanto econômico quanto ambiental (FERREIRA, 2017).

Essa grande quantidade de bagaço que é gerada poderia servir de matéria-prima para produção do biocarvão. De acordo com (SANTOS, 2017) a palha de cana-de-açúcar também possui potencial bastante similar ao do bagaço, nas usinas têm apenas descartado no campo ou queimado a palha de cana-de-açúcar. Assim, a produção do biocarvão não afetaria a cogeração de energia.

Para obtenção do biocarvão utiliza-se de pirólise, processo físico-químico no qual aquece-se a biomassa em diferentes temperaturas para ocorrer sua decomposição, seja em atmosfera isenta ou com baixas concentrações de oxigênio. Como resultados desse procedimento, tem-se os produtos em uma porção sólida rica em carbono (biocarvão), uma fração volátil composta por gases e uma líquida denominada bio-óleo (VIEIRA et al., 2014).

A aplicação de carvão pode beneficiar a microbiota do solo, há melhora nas suas propriedades químicas. O biocarvão pode proporcionar aumento do pH, Capacidade de Troca Catônica (CTC) e do carbono orgânico (RONDON et al., 2007) e da matéria orgânica no solo, favorece a disponibilidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio entre outros (LEHMANN et al., 2011). Atua na melhoria da estrutura física do solo melhorando a disponibilidade de água (DOWNIE et al., 2009).

Através deste processo é possível concentrar o carbono com elevada resistência à degradação. De acordo com (SALETNIK et al. 2019), a composição deste material é dependente da matéria-prima utilizada no processo, bem como das condições de pirólise

empregada.

Vários são os resultados positivos obtidos pela aplicação do biocarvão em solos de baixa fertilidade, tais como, restauração ecológica do solo, mobilidade de nutrientes, retenção de água, podendo também reduzir o uso de fertilizantes químicos, bem como aumentar o crescimento de plantas, à atividade microbiana, dentre outros ganhos (AWAD et al., 2017).

Relata-se também que esta prática tem ganhado aceitação como ferramenta de gestão para o sequestro de carbono (BOUQBIS, et al., 2017).

2.5 DESAFIO DA AGRICULTURA E O MANEJO SUSTENTÁVEL DO SOLO

A cana-de-açúcar é uma biomassa energética de importância mundial. No Brasil, há a preocupação de reduzir os impactos ambientais de sua produção, introduzindo-se práticas mais sustentáveis. A fase agrícola é sabidamente a maior geradora de impactos, dentro do ciclo de vida da cana-de-açúcar (DIAS et al., 2016; SEABRA et al., 2011).

As monoculturas em longo prazo causam exaustão do solo, o que interfere na qualidade física, química e biológica do solo. Assim, o biocarvão torna-se um manejo viável economicamente e sustentável do ponto de vista ambiental, que pode auxiliar na recuperação destes solos e consequentemente aumentar a produtividade agrícola.

A forte demanda pelo uso de práticas agrícolas conservacionistas na cana-de-açúcar pode alterar o padrão de ocorrência de doenças e interferir no manejo da cultura (NECHET et al., 2017). Além de contribuírem com a redução na utilização de insumos químicos, aumentando à resistência a pragas e doenças, na planta, no solo e no produto final. Vale ressaltar que o maior consumo de insumos químicos, eleva o gasto com combustíveis fósseis utilizados em adubações, controle de pragas e doenças, e esta redução possibilitará à indústria gerar Créditos de Descarbonização (CBios) e comercializá-los de acordo com o programa RenovaBio do Governo Federal. Outro fator relevante é a melhoria da microbiologia do solo, favorecendo a degradação de matéria orgânica e melhor aproveitamento e incorporação de fertilizantes (NECHET et al., 2017).

Com a finalidade de reverter cenários de infertilidade e solos pobres, uma solução altamente eficaz é o uso dos chamados condicionadores de solos, produtos que concentram elementos que agem proporcionando equilíbrio físico, químico e biológico no substrato, aumentando a capacidade de suporte de plantas. O biocarvão é um condicionador de solo, rico

em carbono (LEHMANN e JOSEPH, 2009), que pode ser obtido de diferentes tipos de biomassa (resíduos). Porém para aplicação deste condicionador em escala agrícola, faz-se necessário avaliar os matérias-primas utilizadas para sua produção e os efeitos da sua aplicação em diferentes solos e culturas.

Sabe-se que na maioria dos solos, são encontrados pequenos fragmentos de carvão vegetal, resultante de queimadas naturais ou da ação do homem. O carvão é uma forma bastante estável da Matéria Orgânica do Solo (MOS). No Brasil, a terra preta de índio (ou terra preta arqueológica), solos formados pela atividade agrícola e dia-a-dia dos povos pré-colombianos da Bacia Amazônica, mostraram que o biocarvão possui efeito benéfico para a fertilidade dos solos tropicais (MADARI et al., 2006), ou seja, esse material pode ser usado como condicionador do solo, já que a terra preta de índio é uma das mais ricas do país e possui como característica uma alta retenção de carbono.

Estratégias de manejo como essas, que mantenham a fertilidade do solo adequada para o crescimento da cultura, aumentem o sequestro de carbono e reduzam a compactação e a erosão, são recomendadas para melhorar a qualidade do solo e a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar no Brasil (CHERUBIN et al., 2016).

2.6 SISTEMA MICROCOSMO

O sistema de microcosmo estuda pequenos sistemas multiespecíficos constituídos de conjuntos de comunidade biótica e abióticas referente a um ecossistema maior, cadeia trófica ou ciclos de produção-consumo, que contribui para compreensão de processos naturais (YU e RINKLEBE, 2011). Os microcosmos podem ser naturais ou artificiais, os naturais ocorrem em habitats pequenos, com organismos pequenos, como no caso das bromélias-tanque onde cada fitotelmo pode ser considerado um microcosmo (PIRES et al., 2014). Os artificiais são produzidos em condições laboratoriais, ficando isolados ou parcialmente isolados do mundo externo (MATHESON, 2008).

Os microcosmos são considerados estruturas de escala laboratorial, são experimentos menores, possuem vantagens, por serem autênticos, flexíveis, análise segura pois há a possibilidade do controle das condições de incubação. Podendo entender as condições e as proporções que o material analisado irá tomar, não se espera que o microcosmo simule o ambiente natural, e seus resultados não devem ser extrapolados para a resposta ambiental;

contudo, permite ao pesquisador compreender os fatores e as variáveis para o estudo em questão (HU et al., 2017).

A montagem de microcosmo é semelhante em todos os experimentos, podendo variar com diferentes representações seja de ambiente terrestre ou aquático, o organismo de estudo e a complexidade do sistema. É ideal que os componentes utilizados no microcosmo sejam do ecossistema natural e submetido aos mesmos efeitos físicos, químicos e biológicos para melhor eficiência do estudo (MATHESON, 2008).

2.7 MICRORGANISMO PRESENTE NO SOLO

Os microrganismos presentes no solo são componentes de grande importância nos ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem, atuando na decomposição da matéria orgânica, alterando os nutrientes presentes no solo e para plantas, influenciando as propriedades físicas do solo. A microbiota participa da formação da estrutura do solo, controla a disponibilidade de nutrientes às plantas pela mediação nos ciclos biogeoquímicos dos elementos, incluindo a fixação biológica do nitrogênio e a ciclagem de fósforo (SIQUEIRA et al., 1994).

As atividades dos diversos organismos presentes no solo estão interligadas entre si e com as condições de ambientes predominantes a cada momento, as populações microbianas se ajustam às variações dessas condições (COSTA, 2004). Sendo que as populações microbiota do solo depende de diversos fatores, tais como temperatura, aeração para condições de umidade, pH, quantidade de nutrição do solo, além da competição que existe entre os próprios grupos de microrganismos. Dentre os principais microrganismos presentes nos solos estão segundo (MARTINS, 2014), bactérias, fungos e algas, além dos vírus, estruturas que se desenvolvem dentro das células vivas de outros organismos.

Observações em diversas situações, utilizando-se microscopia eletrônica de varredura, revelam que a ocupação de microrganismos no solo chega a ser 0,5% do espaço poroso do solo, aumentando significativamente no solo rizosférico (região do solo próximo a raízes das plantas) devido a maior disponibilidade de substrato (matéria orgânica) (MICHEREFF et al., 2005).

As bactérias são microrganismos que crescem muito rápido, sendo esta velocidade não constante, podendo haver variações, que irão depender da fase de crescimento em que se encontram e das condições do ambiente. Os parâmetros intrínsecos (inerentes ao solo) e os

extrínsecos (inerentes ao ambiente), por conseguinte, determinam também a velocidade de multiplicação (HOFFMAN, 2001).

2.8 ENZIMAS PRESENTES NO SOLO

Algumas características são de extrema importância para avaliação dos parâmetros da atividade microbiana presente no solo, dentre elas variedades e condições presentes no solo, agente estudado (biocarvão), e confiança científica.

Há necessidade de realizar diversas análises para avaliar qualidade de solo, e suas interferências de agentes com o solo (DA SILVEIRA; DOS SANTOS FREITAS, 2007). Para determinar os efeitos de contaminantes e do manejo do solo sobre a atividade microbiana, as análises mais utilizadas são respiração microbiana, atividade enzimática, mineralização de nitrogênio e carbono, contagem de microrganismos e biomassa microbiana (DA SILVEIRA; DOS SANTOS FREITAS, 2007).

Segundo (GREGORICH, 1994), a quantificação da biomassa microbiana do solo é o parâmetro mais utilizado em estudos para determinar o impacto ambiental sobre a microbiota do solo. Solos que possuem um alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes de estocar e ciclar mais nutrientes no sistema (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Para determinar a biomassa microbiana utilizam-se os métodos de fumigação-extração. Um método baseado na esterilização parcial (fumigação) de amostras de solos com clorofórmio, eliminando as populações microbianas matando-as rapidamente, rompendo a membrana celular e liberando os constituintes presentes internamente, causando pouca interferência na matéria orgânica do solo e podendo ser facilmente removido. A partir da extração e quantificação do carbono das amostras fumigadas e não-fumigadas após 24 h, é realizada a estimativa (VANCE et al., 1987).

A respiração microbiana é um método que determina a quantidade de carbono liberado na forma de CO₂, resultante da decomposição da matéria orgânica pela comunidade microbiana do solo, permitindo quantificar o carbono degradado no solo, verificar se as condições climáticas, o manejo do solo e a presença de elementos poluentes estão ou não comprometendo a atividade microbiana durante a decomposição e a mineralização do carbono no solo (DA SILVEIRA; DOS SANTOS FREITAS, 2007).

A atividade microbiana representa todas as reações metabólicas celulares, incluindo suas

interações com os organismos do solo (SIQUEIRA et al., 1994). A hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é um método que avalia a atividade hidrolítica total do solo. O FDA é hidrolisado por várias enzimas microbianas, sendo a maioria extracelulares (lipases, proteases e esterases) representando a atividade que essas enzimas exercem no solo (SILVA et al., 2004). A atividade da desidrogenase é um importante variável a se avaliar. São enzimas intracelulares, produzidas por microrganismos vivos, indicam a capacidade oxidativa da microbiota e desempenha papel importante na degradação da matéria orgânica (DICK, 1997). A contagem de microrganismos pode ser avaliada através de contagens ou a partir da estimativa da biomassa microbiana.

REFERÊNCIAS

- AWAD Y. M. et al. Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. **Journal Of Cleaner Production**, v. 156, p. 581-588, 2017.
- ARBEX, M. A. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia** [online]. 2004, v. 30, n. 2 [Acessado 18 março 2022], pp. 158-175. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015>>. Epub 08 Jun 2004. ISSN 1806-3756. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015>.
- BACCAR, R.; BOUZID, J.; FEKI, M.; MONTIEL, A. (2009), Preparation of activated carbon from tunisianolivewaste cakes and its application for adsorption of heavy metal ion”, **Journal of Hazardous Materials**, Vol 162, p.1522–1529.
- BORDONAL R., CARVALHO J., LAL R., FIGUEIREDO E. B., OLIVEIRA, B., LA S. N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, 2018.
- BOUQBIS L., DAOUD S., KOYRO H. W., KAMMANN C. I., AINLHOUT F. Z., HARROUNI M. C. Phytotoxic effects of argan shell biochar on salad and barley germination. **Agriculture And Natural Resources**, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 247-252, ago. 2017. Kasetsart University and Development Institute. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2017.04.001>.
- BRUM S. S.; BIANCHI M. L., SILVA V. L., GONÇALVES M., GUERREIRO M. C., OLIVEIRA, L.C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000500019>.
- CANTRELL K.B., Hunt P.G., UCHIMIYA M., NOVAK J.M., RO K.S. mpact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107, 419–428. doi:10.1016/j.biortech.2011.11.084.

CARNEIRO F. F. 2015. **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. EPSJV/Expressão Popular.

CLAOSTON N., SAMSURI A., HUSNI, M., AMRAN M. M. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 331-339, 18 mar. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14525822>.

CECHIN I., FUMIS T. F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. **Plant Science**, v. 166, n. 5, p.1379-1385, 2004.

CHERUBIN M.R., KARLEN D.L., FRANCO A.L.C., TORMENA C.A., CERRI C.E.P., DAVIES, C.A.; CERRI, C.A. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma, Amsterdam**, v.267, n.1, p.156-168, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra Brasileira Cana-de-açúcar. **Safra 2021/2022**. Brasileira. v. 8. p. 1-63, 2021. nov. Acesso em 18 de dezembro de 2021

CONAB. Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar, Brasília, v. 6 - **Safra 2019/2020**, n. 1 - Primeiro levantamento, maio de 2019. Acesso em: 28 mar. 2021.

CONAB. Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar, Brasília, v. 6 - **Safra 2022/2023**, n. 1 - Primeiro levantamento, maio de 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 08 maio. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra Brasileira Cana-de-açúcar. **Safra 2022/2023**. Dezembro, 2022. Acesso em 10 de fevereiro de 2023. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.

CONZ R. F. et al. Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability of biochar. **Agricultural Sciences**, 8, 914- 933.

CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESIDUOS SOLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 4., 2021, Gramado RS. Influencia da temperatura e da lavagem nas características de biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar. Gramado, Rs: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2021.

CORTEZ J. W. et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola** [online]. 2006, v. 26, n. 2 [Acessado 18 março 2022], pp. 502-510. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000200019>>. Epub 15 abr. 2008. ISSN 1809-4430. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000200019>.

COSTA, J. B. Caracterização e Constituição do Solo. 7ª ed. Lisboa: **Editora da Fundação Calouste Gulbenkian**. 2004.

DA SILVEIRA, A.P.D.; DOS SANTOS FREITAS, S. **Microbiota do solo e qualidade**

ambiental. Instituto Agronômico, 2007.

DE ARAÚJO, A.S.F. Biodegradação de glifosato em dois solos brasileiros. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, 2003.

DELATORRE F. M., CUPERTINO G. F. M., SANTOS J. A. J., SILVA, Á. M., DIAS J. A. F., SILVEIRA M.P. R. Insights acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 138, 28 dez. 2020. Agropecuaria cientifica no Semiariado. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v16i3.1272>.

DIAS J. A. F., ANDRADE A. M., SOARES V. W., COSTA J. D. S.; FERREIRA D. H. A. A., LELES P. S. S. Potencial energético de sete materiais genéticos de Eucalyptus cultivados no Estado do Rio de Janeiro. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 833-843, 1 dez. 2015.

DIAS M. O. S. et al. Use of the VBS to assess biorefinery strategies. In: AntonioBonomi, Otávio Cavalett, Marcelo Pereira da Cunha, Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). *Green Energy and Technology*. 1st Ed. **Switzerland: Springer International Publishing**, 2016, p. 189-256.

DOWNIE A. et al. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. *Biochar for environmental management: science and Technology*. London: Earthscan, 2009. p. 13-32.

FABBRI D., ADAMIAN D. T. GC–MS determination of polycyclic aromatic hydrocarbons evolved from pyrolysis of biomass. *Anal Bioanal Chem*. 397:309–317.

FERREIRA O. E. Energia, papel, carvão e asfalto: como reaproveitar o bagaço da palha de cana. **Revista Strider**, ed.2, p.48-50, 2017.

FROEHLICH P. L. & MOURA A. B. D. Carvão vegetal: Propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Tecnologia e Tendências**, 9, (1), 1-19.

GASCÓ G., CELY P., PAZ F. J., PLAZA C., MÉNDEZ A. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development. **Biological Agriculture & Horticulture**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 237-247, 31 mar. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2016.1166348>.

GEORGES F. **Caracterização da palha da cana-de-açúcar do Rio Grande do Sul e de seus produtos de pirólise**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

HOFFMAN, Fernando Leite. Fatores limitantes à proliferação de microrganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 23-30, 2001.

HU, M. et al. 2017. Characterization of the fate and distribution of ethiprole in water fish-sediment microcosm using a fugacity model. **Science of the Total Environment**, Volume 576, pp. 696-704.

JOSEPH S, PEACOCKE C, LEHMANN J, MONROE P (2009) Developing a biochar classification and test methods. In *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*.

1st edn. (Eds J Lehmann, S Joseph) pp. 107–126. Earthscan, London.

KAMEYAMA K. et al. Effects of biochar produced from sugarcane bagasse at different pyrolysis temperatures on water retention of a calcaric dark red soil. **Soil Science**, 181(1), 20–28. 2016.

KISHIMOTO S, SUGIURA G (1985) Charcoal as a soil conditioner. In Symposium on Forest Products Research International: **Achievements for the future**. Vol. 5, pp. 12/23/1–12/23/15. CSIR, Pretoria.

KOOKANA, R.S., SARMAH, A.K., VAN ZWIETEN, L., KRULL, E., SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy** v. 112, p. 103-143, 2011.

LEHMANN J., JOSEPH S. Biochar for Environmental Management: an Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). Biochar for environmental management: science and Technology. **London: Earthscan**, 2009. p. 1-12.

LEHMANN J., RILLIG M. C., THIES J., MASIELLO C. A., HOCKADAY W. C., CROWLEY D. Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1812–1836, set. 2011.

MADARI B. E. et al. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): **um estudo prospectivo**. **Embrapa Arroz e Feijão**-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2006.

MAIA A. A. D. (2017). A biomassa Capsicum spp. **como fonte de bioenergia e adsorção de metais**. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba.

MARTINS C. H., ZANELLA R. M., & PAULINO J. R. (2007). **Potencial do uso de cinza do bagaço e cana-de-açúcar como agregado miúdo**. I Seminário de engenharia urbana da universidade estadual de Maringá. Anais... Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 121-126.

MARTINS, M. A. **Microbiologia do Solo**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF. 2014. Disponível em: <www.uenf.br/Uenf/Downloads/LSOL_345_1113400965.pdf>. Acesso em 22 de março, 2022.

MARQUES C. A., SILVA D. A. APRESENTAÇÃO, M. de J. F. de.; NAKASHIMA, G. T.; YAMAJI, F. M. Biochar production with sugarcane straw (Saccharum sp.). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e31211124675, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24675. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24675>. Acesso em: 30 apr. 2022.

MATHESON, F., 2008. Microcosm. **Encyclopedia of Ecology**, pp. 2393-2397.

MICHAEL, J.; GOLAB, A.; SHULAKOVA, V.; ENNIS-KING, J.; ALLINSON, G.;

SHARMA, S.; AIKEN, T. Geological storage of CO₂ in saline aquifers — A review of the experience from existing storage operations. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 4, p. 659 -667, 2010.

MURALIKRISHNAN R., JODHI C. Biodecolorization of Reactive Orange 16 using biochar produced from groundnut shell (*Arachis hypogaea*): batch, isotherm, kinetic, and regeneration studies. **Biomass Conv. Bioref.** (2021). <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01710-8>.

MOTA M. F. C. et al. Biochar as an alternative substrate for the production of sugarcane seedlings. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 25, n. 12, p. 826-832, Dec. 2021. Available from <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662021001200826&lng=en&nrm=iso>. access on 27 June 2022. Epub Sep 08, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p826-832>.

MURKHERJEE A, ZIMMERMAN A.R, HARRIS W. Surface chemistry variations among a series of laboratory produced biochars. **Geoderma. Elsevier B.V.**; 2011; 163:247–255.

NASCIMENTO C.T., MOREIRA G.J., SPOHR G.H., VIEIRA M.G.A., SILVA, E.A., BORBA C.E.. Síntese e caracterização de carvão ativado da palha de milho a partir da ativação química com H₂PO₄ para a adsorção de atrazina e carbendazim. Enemp. **Congresso brasileiro de sistemas particulados**. Maringá – PR, 2017. 22 a 25 de out. 2017.

NECHET K.L., RAMOS N.P., HALFELDVEIRA B.A. Prevalence of ring spot and red rot on sugarcane farming with different conservation practices. **Congresso Pauista de fitopatologia**. 2017.

PAULINO E. K., PINTO M. A., MACENA D. Â., LIMA, A. C., SANTANA E. M. L., SOUZA J. G., ALVES M. R. Biocarvão do biossólido da estação de tratamento de esgoto de Presidente Prudente - SP. In: Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332. 2019. p. 46-61.

PEREIRA T. V. & SEYE O. (2014). Caracterização física de biomassa local. Enepex, Dourados: UFGD.

PIRES, A., OMENA, P., AZEVEDO, F. & GONÇALVES, A., 2014. O universo em um microcosmo. **Ciência Hoje**, Volume 53, pp. 56-57.

RAJKOVICH S., ENDERS A., HANLEY K., HYLAND Charles, ZIMMERMAN A. R., LEHMANN J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, [S.L.], v. 48, n. 3, p. 271-284, 1 out. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7>.

REHRAH D R. M., NOVAK J.M, BANSODE R.R, SCHIMMEL K.A, YU J, WATTS D.W, AHMEDNA M. (2014) Production and characterization of biochars from agricultural byproducts for use in soil quality enhancement. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** **108**, 301. Rhoades JD (1996).

RENDEIRO G., NOGUEIRA M. F. M., Brasil A.C. M., CRUZ D. O. A., GUERRA D. R.S.,

MACÊDO E. N., & ICHIHARA J. A. (2018). Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida: **Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília** :Ministério de Minas e Energia.

RIPOLI T. C. C., RIPOLI M. L. C., Biomassa de cana-de-açúcar: **colheita, energia e ambiente**. Piracicaba, 2004, p 302.

RONDON M. A. et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology Fertility Soils**, Amsterdam, v. 43, p. 699-708, 2007.p.

SANTOS F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova** [online]. 2012, v. 35, n. 5 [Acessado 4 janeiro 2022], pp. 1004-1010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>>. Acesso em 18Janeiro 2022. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>.

SEABRA J. E. A., et al. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioprod. Bioref.**, 2011, v. 5, p. 519 – 532.

SILVA, W.B. **Os riscos no uso indiscriminado de agrotóxicos: uma contaminação invisível**. Informativo Técnico do Semiárido, v. 11, n. 1, 2017.

SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. M. de S., GRISI, B. M., HUNGRIA, M., ARAUJO, R. 125 S. Microrganismos e Processos Biológicos do Solo: **Perspectiva Ambiental. Embrapa**. Brasília. 1994. Disponível em: Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. - Portal Embrapa. Acesso em 22 de fevereiro de 2023.

SMIDER B., SINGH B. (2014) Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosys tems and Environment* 191, 99–107. doi:10.1016/j.agee.2014.01.024.

SOUZA J. G., SANTOS B. C. S., COSTA M. E. S., SANTOS M. K., SANTOS C. H., MAZZUCHELLI R. de C. L.; ALVES, M. R. Organic waste and biochars for soil conditioner purposes. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e1510716660, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16660. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16660>. Acesso em: 30 apr. 2022.

SUGARCANE. **Sustainability the Brazilian Experience**. Disponível em: <https://www.sugarcane.org/sustainability-the-brazilian-experience/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2021.

RUGILHO P. F., SILVA D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). *Scientia agraria*, v. 2, n. 1, p. 45-53, 31 dez. 2001.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987. VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Embrapa Trigo, 2006.

VIEIRA W. T. et al. **Caracterização cromatográfica e avaliação da atividade antimicrobiana do extrato pirolenhoso obtido a partir de biomassas residuais**. 2019.

YU, K. & RINKLEBE, J., 2011. Advancement in soil microcosm apparatus for biogeochemical research. **Ecological Engineering**, Volume 37, pp. 2071-2075.

ZHANG, H. et al. (2017). Effect of feedstock and pyrolysis temperature on properties of biochar governing end use efficacy. **Biomass Bioenergy**, 105:136–146.

CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO OBTIDO DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

Com a aplicação do biocarvão no solo, pode-se reduzir o uso de fertilizantes e contribuir para o sequestro de carbono da atmosfera. No entanto, as suas características são altamente heterogêneas e dependem da matéria-prima e das condições escolhidas para a pirólise. Por isso, a caracterização do biocarvão é uma etapa importante para a avaliação do seu uso em solo. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi produzir e caracterizar o biocarvão a partir da palha de cana-de-açúcar, bem como investigar possíveis efeitos fitotóxicos às germinações de algodão, milho e soja. Para tanto, o biocarvão foi produzido em forno de duplo tambor e caracterizado quanto ao rendimento gravimétrico, pH, condutividade elétrica. Os grupos funcionais foram caracterizados por FTIR e a área superficial foi determinada a partir das isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio. Além disso, a morfologia e a composição mineral foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os ensaios de germinação foram conduzidos *in vitro*, em placas de Petri com doses de biocarvão variando entre 0 e 100 t/ha. O biocarvão foi obtido com rendimento de 40 %, pH igual a 9,10, condutividade elétrica de 2,20 ds/m e área superficial específica de 133 m²/g. A FTIR mostrou a presença de grupos oxigenados na superfície do carvão, enquanto a MEV mostrou estrutura porosa tipo favo de mel e importantes nutrientes, como o Mg, K e Ca. O ensaio de germinação classificou o biocarvão como fitonutriente para o milho e mostrou ausência de fitotoxicidade para soja. Por outro lado, para o algodão, as doses mais elevadas (50 e 100 t/ha) causaram fitotoxicidade. Os resultados deste trabalho vêm ao encontro das demandas globais por técnicas verdes. O biocarvão feito da palha de cana-de-açúcar é uma tecnologia promissora para melhorar a fertilidade de solos pobres e gerir o sequestro de carbono.

Palavras-chave: Resíduos. Pirólise. Fitotoxicidade.

ABSTRACT

With the application of biochar to the soil, one can reduce the use of fertilizers and contribute to the sequestration of carbon from the atmosphere. However, its characteristics are highly heterogeneous and depend on the raw material and the conditions chosen for pyrolysis. Therefore, the characterization of biochar is an important step for the evaluation of its use in soil. In this context, the objective of this work was to produce and characterize biochar from sugarcane straw, as well as to investigate possible phytotoxic effects to the germination of cotton, corn and soybean. To this end, the biochar was produced in a double drum oven and characterized as to gravimetric yield, pH and electrical conductivity and immediate chemical composition. The functional groups were characterized by FTIR and the surface area was determined from the adsorption and desorption isotherms of nitrogen. In addition, morphology and mineral composition were evaluated by SEM/EDS. The germination trials were conducted in vitro, in Petri dishes with doses of biochar varying between 0 and 100 t/ha. The biochar was obtained with a yield of 40%, pH equal to 9.10, electrical conductivity of 2.20 ds/m and specific surface area of 133 m²/g. FTIR showed the presence of oxygenated groups on the charcoal surface, while SEM/EDS showed honeycomb porous structure and important nutrients such as Mg, K and Ca. The germination test classified the bio-coal as phytonutrient for corn and showed no phytotoxicity for soybean. On the other hand, for cotton, the highest doses (50 and 100 t/ha) caused phytotoxicity. The results of this work meet the global demands for green techniques. Biochar made from sugar-cane straw is a promising technology to improve the infertility of poor soils and manage carbon sequestration.

Keywords: Waste. Pyrolysis. Phytotoxicity.

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), com cerca de 8.410,3 mil hectares destinados para o cultivo dessa gramínea (CONAB, 2023). Com isso, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) prevê a colheita de 637,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para a safra 2023/24, o que representa um aumento de 4,4% em relação à safra anterior (CONAB, 2023). Isso também resulta na geração de grandes volumes de subprodutos e resíduos, por exemplo, a palha de cana-de-açúcar (PCA). Estima-se que, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, sejam produzidas cerca de 140 kg de PCA (COSTA et al., 2015). Mas, infelizmente, em algumas regiões do mundo, a PCA ainda é totalmente queimada no campo (KUMAR et al., 2014). Para evitar o seu descarte inadequado, uma opção é a sua utilização como insumo para a obtenção de produtos de maior valor agregado, o que atende a um dos princípios da química verde (MUTLU, 2022). A PCA pode ser usada, por exemplo, para obter biocarvão (PIRES et al. 2018 e KUMAR et al., 2022), bio-óleo (KUMAR et al., 2022), bioeletricidade e etanol celulósico (segunda geração) (GONZAGA et al., 2019 e CARVALHO et al., 2019).

O biocarvão é um material obtido pela pirólise da biomassa para uso em práticas agrícolas e ambientais sustentáveis (MULABAGAL et al., 2021). A pirólise é o processo de decomposição térmica da biomassa na ausência ou em condições limitadas de oxigênio, que produz compostos nas fases gasosa, líquida e sólida (FELIX et al., 2018). Devido à limitação do oxigênio nesse processo, não há combustão do carbono da biomassa e dentre os materiais formados, está o biocarvão, material sólido e de cor preta (CERMANKY, 2015). O biocarvão pode ser considerado uma tecnologia de captura e armazenamento de carbono, que desempenha papel importante na redução dos níveis de CO₂ na atmosfera (LEHMANN, 2007 e DING et al., 2023). Além disso, devido à sua capacidade de melhorar a produtividade (KATTER et al., 2022) e à adsorção de poluentes (LIU et al., 2023), esse material tem se tornado bastante popular nos últimos anos, como substituto para compostos de carbono fóssil em diversas aplicações (JING et al. 2023 e LOPES et al., 2022). Dessa forma, vários grupos de pesquisa têm se dedicado à valorização da biomassa residual por meio da conversão em biocarvão. No entanto, ainda que seu principal elemento seja o carbono, a composição elementar do biocarvão é definida pela matéria-prima e pelas características do processo de pirólise que são adotadas (CERMANN, 2015).

Conforme exposto, o biocarvão é um produto com composição variada. Para exemplificar essa heterogeneidade, pode-se citar o trabalho de(MATOS et al., 2021), que verificaram o efeito da pirólise a 350 °C, em fornos tubular, rotativo e mufla, do bagaço de cana-de-açúcar, casca da acácia esgotada (*Acacia mearnsii De Wild*) e capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). Os autores observaram biocarvões com diferentes graus de carbonização (MATOS et al., 2021). Outro estudo revelou que biocarvões de borra de café, pirolisados em mufla, a temperaturas que variaram de 300 °C a 1000 °C, mostraram efeitos estimulantes ou fitotóxicos frente à germinação do milho, a depender da temperatura (DAS GRAÇAS et al., 2023). Dessa forma, a caracterização do biocarvão é uma etapa importante para melhor aproveitamento dos seus benefícios. Para sua produção em escala laboratorial, muflas ou fornos tubulares são usados com frequência, devido à simplicidade e ao baixo custo (VEIGA et al., 2021). Por outro lado, a capacidade produtiva desses fornos é um fator que limita a investigação das propriedades do biocarvão nos ensaios em campo ou, mesmo ainda, em casa de vegetação, pois requerem maiores quantidades desse material.

Para contornar esse problema, o sistema de forno de duplo tambor é outra opção que pode ser usada para a produção de biocarvão em pequena escala. Resumidamente, nesse sistema, o tambor de diâmetro menor é preenchido com a biomassa. Em seguida, ele é inserido em outro tambor de diâmetro maior e o volume entre os dois tambores é preenchido com madeira ou outro resíduo orgânico. A combustão da madeira fornecerá energia para pirólise da biomassa contida no tambor menor (O'TOOLE et al., 2013 e IBRAHIM et al., 2021). O'Toole et al. (2013) usaram esse tipo de forno e, a partir de vinte cinco bateladas, tiveram um rendimento médio de (O'TOOLE et al., 2013), $\pm 4,7\%$ para a produção do biocarvão a partir da palha de trigo. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo produzir e caracterizar o biocarvão a partir da palha de cana-de-açúcar utilizando o sistema de forno de duplo tambor e ainda avaliar os possíveis efeitos fitotóxicos do biocarvão à germinação de algodão, milho e soja.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta e processamento da palha de cana-de-açúcar (PCA)

A PCA (folhas e ponteiros) foi coletada na forma de palhas secas, manualmente, 1 dia

após a colheita mecanizada, no mês de setembro de 2021, em área de solo arenoso, localizada na zona rural do Município de Frutal, Minas Gerais, próximo a usina de cana-de-açúcar, com coordenadas geográficas -19.920514 S, -49.147143 W. O material coletado foi seco por 30 h em temperatura ambiente (Figura 1). Em seguida, a PCA foi triturada em um triturador elétrico Tramontina TRE30 com Motor 2 hp bivolt e saída lateral com peneira com espessura de 2 mm.



Figura 1 - Resíduos de palha de cana-de-açúcar após a colheita
Fonte: Autor.

3.2.2 Produção de biocarvão a partir da palha de cana-de-açúcar

O biocarvão foi produzido em um forno de duplo tambor (Figura 2) seguindo a metodologia adaptada de (O'TOOLE et al., 2013). Para tanto, utilizou-se um tambor externo de 200 L com 0,88 m de altura e 0,57 m de diâmetro. Já o tambor interno possuía volume, altura e diâmetro de 30 L, 0,55 m e 0,34 m, respectivamente. Para a realização da pirólise, o tambor interno foi preenchido com 5 kg de PCA e inserido no tambor externo. O volume entre os tambores foi preenchido com lenha de poda de árvores. Em seguida, iniciou-se a combustão da lenha que foi mantida por um período de 2 h. Após esse período, o tambor interno foi retirado e adicionado água no biocarvão obtido com o objetivo de resfriar o material e evitar a sua combustão completa. Durante a carbonização, a temperatura foi monitorada com termômetro digital infravermelho com mira laser (Benetech, modelo GM550).

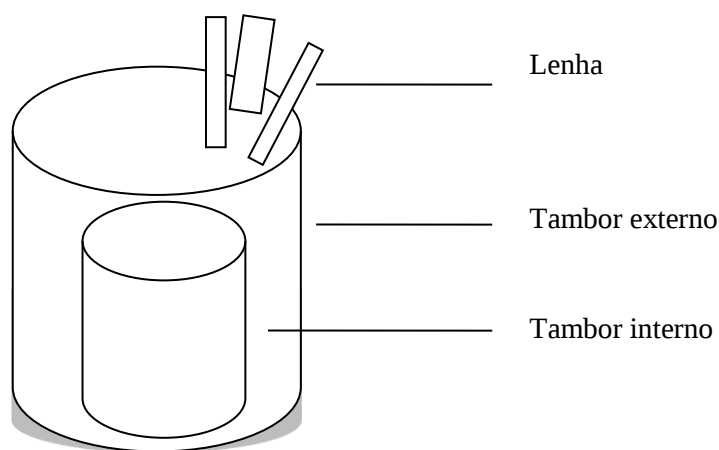


Figura 2- Forno duplo tambor

Fonte: Autor.

O material obtido foi seco em estufa (Lucadema, modelo 821480) a 100 °C por 72 h, moído, peneirado em peneira com abertura de 0,850 mm (20 mesh) e codificado como Biocarvão obtido da Palha de cana-de-açúcar (BPT). O rendimento gravimétrico (R, %) foi determinado por meio da divisão da massa obtida pela massa seca da PCA (Equação 1).

Equação 1

$$R (\%) = \frac{M_f}{M_i} * 100$$

Em que:

M_i = Massa inicial da PCA.

M_f = massa final do biocarvão

3.2.3 Caracterização do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar (BPT)

O BPT foi caracterizado quanto a área superficial, pH, condutividade elétrica, material volátil, carbono fixo, e teor de cinzas. Também foi aplicada a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada a um detector de Energia Dispersiva de Raios X (EDS) para análises da morfologia e da composição elementar qualitativa.

3.2.4 Determinação da área superficial pelo método de adsorção do azul de metileno

Para estimativa da área superficial do BPT foi utilizado o método de adsorção do corante azul de metileno (AM) conforme metodologia proposta por (BRUM et al., 2008). Para tanto,

100 mg do BPT foi colocado em contato com 25 mL de solução aquosa de AM (50 mg L^{-1}). A mistura foi colocada em mesa agitadora com rotação de 150 rpm por 24 h, em temperatura ambiente. A absorbância da solução de Azul de Metileno (AM) foi monitorada em um espectrofotômetro de UV/VIS no comprimento de onda de 665 nm. Com auxílio de uma curva de calibração, previamente construída, determinou-se a concentração do AM remanescente na solução. Em seguida, conforme o método proposto por (STAVROPOULOS E ZABANIOTOU, 2005), foi determinada o valor da área superficial (S_{AM}) do BPT.

3.2.5 Determinação do pH e da condutividade elétrica (CE) do BPT

Um g do BPT foi misturado com 10 mL de solução de CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$), em triplicata. Em seguida, as misturas foram agitadas em mesa agitadora a 220 rpm a temperatura ambiente, por 10 min. Após esse procedimento, as misturas foram mantidas em repouso por 30 min. Para a medida do pH utilizou-se um pagômetro marca Digmed, modelo DM – 22. O pH foi determinado seguindo a metodologia de Singh et al. 2017. Para a determinação a condutividade elétrica (CE) 0,5 g de BPT foi misturado com 10 mL de água deionizada, em quintuplicada. As misturas foram agitadas em uma mesa agitadora a 220 rpm a temperatura ambiente, por 30 s. Após esse período, as amostras foram mantidas em repouso por 30 min. Em seguida, usando um medidor de condutividade (BEL Engineering, modelo W12D), determinou-se a CE do BPT seguindo a metodologia de (SINGH et al., 2017).

3.2.6 Quantificação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo

Para determinação dos teores de Materiais Voláteis (TV), Teor de Cinzas (TC) e Carbono Fixo (CF) foi usada a metodologia descrita por (FIGUEIREDO et al., 2018). Inicialmente, 1,00 g do BPT, em triplicata, foi colocado em cadinho tampado e levado à porta do forno tipo mufla (Quimis) por 2 min, a 950°C . Posteriormente, o cadinho foi inserido no interior do forno por 9 min e após esse período, a amostra foi colocada em dessecador por 30 min. A massa obtida foi registrada e o TV foi calculado usando a Equação 2.

$$\text{TV}(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: TV, m_i e m_f indicam o teor de materiais voláteis (%), a massa inicial do BPT (g) e a massa final (g) obtida após o aquecimento em forno tipo mufla, respectivamente.

O TC foi o obtido aquecendo 1,00 g do BPT, em triplicata, num forno tipo mufla (Quimis) a 600 °C, por 6 h. Em seguida, a amostra foi colocada em dessecador por 30 min e após esse período determinou-se a massa. O TC foi calculado usando a Equação 3.

$$TC (\%) = \frac{m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: TC, m_i e m_f indicam o teor de cinzas (%), a massa inicial do BPT (g) e a massa final (g) obtida após o aquecimento em forno tipo mufla, respectivamente.

O CF foi determinado de modo indireto usando a Equação 4.

$$CF (\%) = 100 - (TC + TV) \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: CF, TC e TV indicam os teores de carbono fixo, cinzas e materiais voláteis, respectivamente.

O teor em material volátil é definido pela perda de massa de amostra seca utilizando um forno mufla previamente aquecido com temperatura de 950 °C. Neste trabalho, utilizou-se um forno mufla Quimis. 1 g do BPT em um cadinho foi aquecido durante 2 min próximo a superfície da tampa da mufla. Em seguida, o cadinho foi inserido no interior da mufla sobre abrigo de ar por um período de 9 min. O teor de material volátil foi calculado utilizando a equação 2, seguindo a metodologia de (FIGUEIREDO et al., 2018).

3.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os grupos funcionais foram investigados usando Espectrômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier (Cary 630 FTIR, Agilent Technologies, Santa Clara, Estados Unidos), equipado com módulo de Refletância Total Atenuada (ATR). A amostra foi colocada sobre o porta-amostra do instrumento e prensa-das sobre um cristal de diamante. A medida foi realizada no intervalo de 4000 a 650 cm^{-1} , com resolução espectral de 8 cm^{-1} e 128 varreduras. A característica morfológica e composição elementar do biocarvão foram avaliadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (Vega 3 LMU, TES-CAN, Brno-Kohoutovice, Tchéquia)

acoplado a um detector de Energia Dispersiva de Raios X (EDS, X-MaxN, Oxford Instruments, Oxford, Reino Unido) para análises elementares qualitativas. O biocarvão foi depositado sobre fita adesiva de carbono, que foi fixada em stab e analisado empregando-se voltagem de 20kv. As informações texturais foram obtidas a partir da isoterma de adsorção e dessorção de nitrogênio a 77 K (Nova 2200, Quantachrome Instruments, Boynton Beach, Estados Unidos). A área superficial foi determinada usando o método de multiponto de Brunauer, Emmett e Teller (BET), enquanto o volume e o tamanho dos poros foram determinados utilizando a Teoria funcional da densidade não local (NLDFT) (THOMMES et al., 2015).

3.2.8 Ensaios de germinação de sementes da soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.).

Os efeitos do BPT na germinação da soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.) foram investigados em placas de Petri (8,5 cm de diâmetro) com as seguintes doses: 0,00 (referente ao controle negativo, no qual se utilizou água destilada); 0,50; 1,00; 2,50 e 5,00 g por placa, correspondendo aos seguintes valores em t/ha, com base no volume a 10 cm de profundidade do solo, 0, 10, 20, 50, 100, respectivamente (SOLAIMAN et al., 2012).

Os ensaios de germinação foram conduzidos em câmaras de germinação do tipo "biochemical oxygen demand" (BOD), com fotoperíodo de 12 horas, a 25 °C. Para tanto, vinte e cinco sementes de cada cultura foram distribuídas, separadamente, em placas de Petri, em triplicata, sobre uma camada de papel de filtro, umedecido com 20 mL água destilada. Esse procedimento foi repetido adicionando as diferentes doses de BPT. Todas as placas de Petri foram tampadas e incubadas e, aos 4 dias após o início do experimento, determinou-se o número de sementes germinadas e o comprimento médio da radícula por placa. Esses dados foram aplicados para os cálculos da Germinação Relativa (GR), Crescimento Médio Relativo da Radícula (CRR) e Índice de Germinação (IG) usando as Equações 5, 6 e 7 (GASCÓ, 2016 e EMINO et al., 2004), respectivamente.

$$GR (\%) = \frac{N_B}{N_C} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: GR, N_B e N_C indicam a germinação relativa (%), o número de sementes germinadas no tratamento com o biocarvão e o número médio de sementes germinadas no controle, respectivamente.

$$CRR (\%) = \frac{L_B}{L_C} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: CRR, L_B e L_C indicam o Crescimento Médio Relativo da Radícula (%), o comprimento médio da radícula no tratamento com o biocarvão e o comprimento médio da radícula no controle, respectivamente.

$$IG (\%) = \frac{GR \cdot CRR}{100} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que: IG, GR e CRR, indicam o Índice de Germinação (%), a germinação relativa (%) e o Crescimento Médio Relativo da Radícula (%), respectivamente.

Os resultados obtidos para GR, CRR e IG foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA et al., 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Produção e caracterização do biocarvão obtido da palha da cana-de-açúcar

Durante a pirólise ocorre a decomposição térmica da biomassa, liberando vários gases durante a pirólise, condensáveis e não condensáveis, isto é, o bioóleo e o biogás, respectivamente (FELIX et al., 2018). Por isso, observa-se redução da massa ao final do processo, sendo que o rendimento gravimétrico é um indicador dessa perda e uma medida da qualidade do processo.

Com o sistema de forno duplo tambor, observou-se que a temperatura variou de 143 °C a 340 °C ao longo da pirólise. Observou-se ainda que o sistema de forno de duplo tambor foi eficiente para promover a carbonização da palha de cana-de-açúcar, pois foi obtido rendimento gravimétrico de 40,33 % (Tabela 1). Esse valor está acima do valor mínimo aceitável (30%) para a produção do biocarvão (SOUZA, 2021). Além disso, esse valor é maior do que obtido por (GEORGES, 2011), que alcançou o rendimento de 26 %, em forno tubular para carbonização de palha de cana de açúcar. O rendimento obtido neste trabalho também foi maior do que obtido por (OLIVEIRA, 2013), que utilizando o sistema forno-fornalha, para carbonização de madeira alcançou o rendimento de 26,40%.

Tabela 1 – Características químicas do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor (BPT).

Biocarvão	R*	Teor de voláteis	Teor de cinzas	Carbono Fixo	C	O	Mg	K	Ca	S _{AM} **	pH	CE***
				% m/m						(m ² /g)	(em CaCl ₂)	(dS/m ⁻¹)
BPT	40,3	56,1	7,4	36,4	89,2	8,5	0,3	1,1	0,3	133	9,10	2,20

*R – Rendimento; **Valor da área superficial estimada pela adsorção do azul de metileno. *** Condutividade elétrica.

Fonte: autor

No processo de carbonização, os grupos funcionais ácidos da biomassa são removidos e os sais de elementos alcalinos e alcalino-terrosos são enriquecidos (UENO et al., 2008; FUERTES et al., 2010). Por isso, é esperado que o biocarvão possua alta alcalinidade, o que é benéfico em termos de mitigação da acidez do solo (NOVAK, 2009). De fato, o pH encontrado para o BPT foi de 9,10 e elementos alcalinos e alcalino-terrosos puderam ser identificados na sua estrutura com a aplicação MEV/EDS (Tabela 1 e Figura 3), o que revela o potencial desse bioproduto como corretivo da acidez de solo. Obviamente, isso é de interesse agrônômico, pois o pH do solo é um importante atributo que desempenha papel crucial na ciclagem de nutrientes e na solubilidade de elementos potencialmente tóxicos (CHENG et al., 2021). Além disso, afeta também os microrganismos presentes no solo e os vegetais (BRADY e WEIL, 2013).

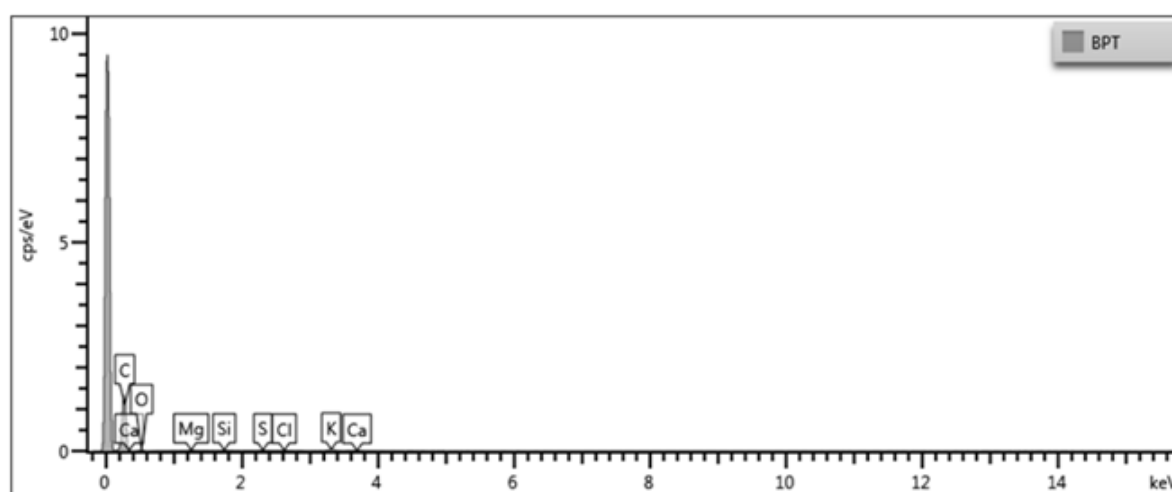


Figura 3 - Espectro de energia dispersiva de Raios X (EDS), mostrando a presença de nutrientes no biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar (BPT).

Fonte: Autor

Assim como o pH, a CE do biocarvão está relacionada com a matéria-prima e a temperatura da pirólise, sendo uma característica usada rotineiramente para avaliar a qualidade desse produto. Por isso, buscou-se também avaliar a CE do BPT e o resultado mostrou o valor de $2,22 \text{ dS/m}^{-1}$ (Tabela 1), que é considerado alto (CANTRELL et al., 2012; CLAOSTON et al., 2014; REHRAH et al., 2014). Esse resultado pode limitar a aplicação do BPT para plantas sensíveis à salinidade (SINGH et al., 2017), pois a CE pode ser associada a quantidade de sais solúveis presentes no biocarvão e, e a medida baseia no princípio de que soluções com concentrações elevadas de sais transmitem melhor a corrente elétrica (FAWZY, 2021). A CE também está relacionada com o teor de cinzas, que para o BPT foi de 7,43 % (Tabela 1). No entanto, deve-se destacar que as cinzas que tem origem na biomassa vegetal são importantes para correção da acidez do solo, pois são fontes de cálcio e magnésio. De fato, a EDS confirmou a presença desses elementos na composição do BPT (Tabela 1, Figura 3).

Outras caracterizações importantes para o biocarvão são quanto aos seus teores de carbono e de carbono fixo. O carbono fixo não inclui cinzas, mas pode conter parte de outros elementos não voláteis (DASGUPTA, 2016). Assim, ele depende, principalmente, do teor de materiais voláteis, sendo que a soma entre esses teores deve ser igual a 100%. Já o carbono é composto de formas de carbono lábil e não lábil. Neste trabalho, os teores de carbono, materiais voláteis e carbono fixo encontrados para o BPT foram de 89,19%, 56,14 % e 36,42 %, respectivamente (Tabela 1). O TCF está abaixo do relatado por (DE ALMEIDA et al., 2022), que relatam valor de 49,37% para o biocarvão feito da PCA, pirolisado a 450 °C. Por outro lado, o TCF obtido é cerca de 2,7 vezes maior que o teor de carbono fixo da PCA, o que demonstra que a pirólise no forno de duplo tambor foi capaz de converter parte do carbono da PCA em carbono recalcitrante. É importante destacar que o TCF não inclui cinzas, mas o seu conteúdo pode conter parte de outros elementos não voláteis. Dessa forma, ele depende, principalmente, do TMV, sendo que a soma desses três teores (TCF, TMV e TCZ) deve ser de 100%. Já o teor de carbono (89,20 % m/m) é composto por formas de carbono lábil e não lábil. Ainda, é importante salientar que o alto teor de carbono no biocarvão é desejável para a utilização desse material como tecnologia para o sequestro de carbono.

Esses resultados são comparáveis aos obtidos por (RÓZ et al., 2015), que obtiveram teor de carbono fixo entre 10,6% a 72,8% quando a temperatura de pirólise variou de 200 °C a 500 °C, enquanto o teor de materiais voláteis variou de 27,6% a 89,8% para essa mesma faixa de temperatura. Ademais, o alto teor de carbono é desejável para aplicação do BPT como

ferramenta para condicionamento do solo, pois contribui para o aumento do processo de umidificação, desenvolve a densidade do solo e a retenção de água (NAIR, 2017).

A identificação dos grupos funcionais na superfície do biocarvão foi feita por meio da FTIR, como mostra a Figura 4. A banda larga em 3300 cm^{-1} é atribuída à ligação O-H, indicando a presença de fenóis, álcoois, ácidos carboxílicos ou água (DE ALMEIDA et al., 2022 e CARVALHO et al., 2019). As bandas de 2920 cm^{-1} e 2850 cm^{-1} são atribuídas as vibrações de estiramento das ligações C-H de grupos alifáticos. A presença desses grupos indica que a pirólise foi incompleta (RODRIGUEZ et al., 2017). Isso é corroborado pelo reconhecimento da banda em 1620 cm^{-1} , que pode ser atribuído aos estiramentos da ligação C=O, o que também indica a presença de grupos oxigenados, como ácidos carboxílicos e ésteres. Ademais, a banda larga centrada em 1030 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento assimétrico da ligação C-O-C, presente nas estruturas da celulose, hemicelulose e lignina que não foram totalmente degradadas (RODRIGUEZ et al., 2017). É importante salientar que os grupos funcionais são um dos principais fatores que influenciam na capacidade de troca catiônica do solo, o que pode contribuir para a melhoria da propriedade desse ecossistema (LAGO et al., 2021).

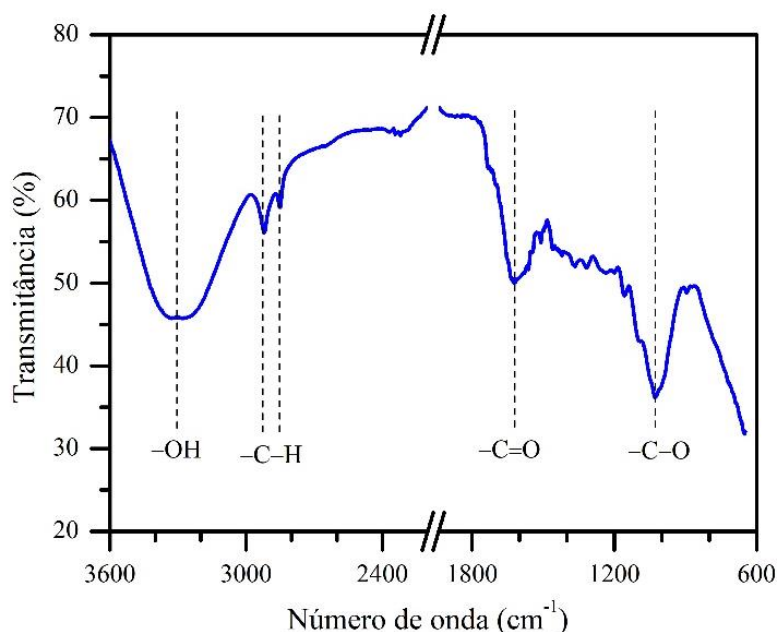


Figura 4 -Espectro de infravermelho do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor

Fonte: Autor.

Para completar a caracterização do BPT, a sua morfologia foi investigada por MEV e a

área superficial foi estimada usando o azul de metileno como sonda molecular. As micrografias obtidas são apresentadas na Figura 5. Observa-se partículas heterogêneas com estrutura porosa que se assemelha a favos de mel. Essa porosidade é formada devido ao fluxo de matéria volátil que ocorre durante a pirólise (FERNÁNDEZ et al., 2015). Também foi possível observar a presença de macroporos com diâmetros menores de 5 μm (Figura 5d, pág. 57), que são essenciais na retenção de água e para o crescimento das raízes no solo (THIES e RILIG, 2009). De fato, a isoterma de adsorção e dessorção de N_2 sobre o biocarvão (Figura 6a), classificada como do tipo II de acordo com a classificação da IUPAC (THOMMES, 2015), indica a presença de macroporos. Além disso, o loop de histerese não foi fechado, indicando a ausência de mesoporos (ZHU, et al., 2018). Por outro lado, a análise de distribuição de poros (Figura 6b) mostrou ainda a presença de microporos, que são essenciais na retenção de água e para o crescimento das raízes no solo (LUSTOSA et al., 2020). Além disso, os microporos e macroporos do BPT podem fornecer um habitat para microrganismos e auxiliar na aeração do solo (CONZ et al., 2015). De fato, a S_{AM} encontrada para o biocarvão foi de 133 m^2/g e, isso, indica o AM pode ter sido positivo nos microporos e macroporos do BPT (BRUM *et al.* 2008).

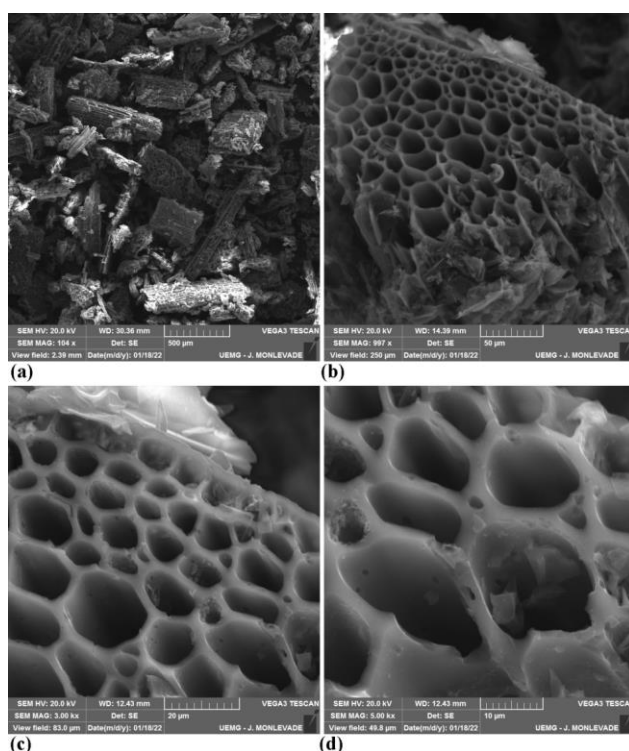


Figura 5 - Micrografias eletrônicas obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor, com ampliações de (a) 104 vezes, (b) 997 vezes, (c) 3.000 vezes e (d) 5.000 vezes.

Fonte: Autor.

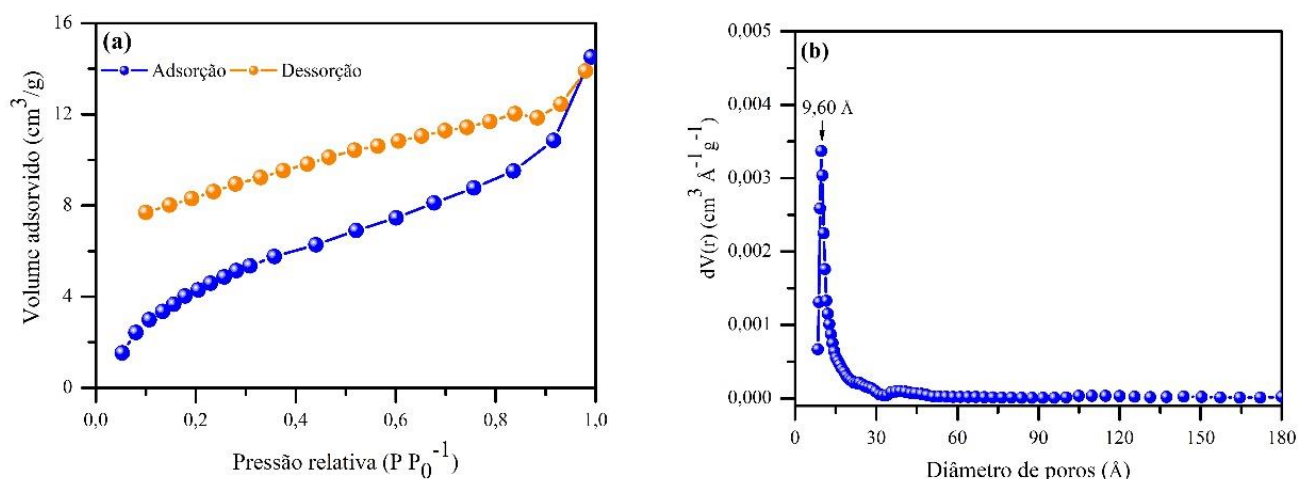


Figura 6 - (a) Isotermas de adsorção e dessorção nitrogênio e (b) distribuição de diâmetro de poros do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar em forno de duplo tambor.

Fonte: Autor

3.3.2 Efeitos do biocarvão obtido da palha da cana-de-açúcar na germinação de soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Cossypium arboreum* L.)

O bioensaio em placa de Petri sem solo é indicado para avaliar efeitos tóxicos do biocarvão na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas antes da aplicação desse bioproduto em campo porque é simples, rápido e não exige o uso de solo padronizado (SOLAIMAN et al., 2012; DIAS, et al., 2020). Assim, ele foi usado para investigar a germinação de sementes de soja, milho e algodão em água destilada e em diferentes doses de BPT.

Para analisar o efeito do biocarvão obtido através da palha de cana-de-açúcar, tem-se o referencial de IG (índice de germinação) % classificando o grau de toxidade (Tabela 2) são apresentados o efeito do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar, avaliando a fitoxidade. Os resultados mostraram que as doses avaliadas do BPT não apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre a GR (%), CRR (%) e IG (%) de plântulas de soja (Tabela 3), embora uma tendência de aumento tenha sido encontrada para o CRR (%) e IG (%), germinação está relacionada com a estrutura do solo (estrutura porosa), propriedade física, já o crescimento radicular envolve as propriedades físicas e químicas do solo.

Tabela 2 – Classificação quanto ao grau de toxidade ao efeito do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar.

IG (%)	Classificação
< 50	Fitotoxidade alta
50 < IG < 80	Fitotoxidade moderada
> 80	Fitotoxidade nula
> 100	Fitoestimulante

Fonte: (ZUCCONI et al., 1985)

Tabela 3 – Efeito do biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar na Germinação Relativa (GR, %), no Crescimento Médio Relativo da Radícula (CRR, %) e no Índice de Germinação (IG, %) de sementes de soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Cossypium arboreum* L.).

Dosagem (t/ha)	Soja			Milho			Algodão		
	GR (%)	CRR (%)	IG (%)	GR (%)	CRR (%)	IG (%)	GR (%)	CRR (%)	IG (%)
0	100 a	100 a	100 a	100 b	100 b	100 b	100 a	100 a	100 a
10	94 a	155 a	148 a	131 b	156 ab	223 ab	96 a	94 ab	92 ab
20	89 a	135 a	127 a	141 ab	170 ab	248 ab	100 a	113 a	112 ab
50	89 a	148 a	131 a	186 ab	180 ab	335 ab	93 a	60 ab	58 ab
100	113 a	159 a	179 a	228 a	233 a	533 a	68 b	35 c	24 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor

Para os ensaios com milho, observou-se aumento significativo ($p < 0,05$) da GR, CRR e IG para dose de 100 t/há (Figura 7), em relação ao controle negativo. Também foi possível observar que, com o aumento da dose do BPT, houve aumento linear da GR, CRR e IG.

Por outro lado, o BPT na dose de 100 t/ha causou redução significativa ($p < 0,05$) da GR (%), CRR (%) e IG (%) das plântulas de algodão. É possível hipotetizar que essa redução seja decorrente do alto teor de sais solúveis indicados pela análise de CE (Tabela 1, pág. 52), uma vez que a sensibilidade do algodão à salinidade já foi reconhecida (JÁCOME et al., 2003).

Alguns autores concluíram que as taxas de germinação aumentaram quando as doses de aplicação do biocarvão variaram entre 10 e 50 t/ha e reduziram ou não tiveram efeitos quando

as doses foram maiores do que 50 t/ha. Também vale mencionar o trabalho de (DIAS et al. 2020), que mostraram o aumento do crescimento de plântulas de milho e grama preta (*Vigna mungo* L.), com a aplicação de 5 t/ha de biocarvão.

3.4 CONCLUSÃO

O sistema de forno de duplo tambor mostrou-se promissor para obtenção de biocarvão a partir da palha de cana-de-açúcar pelo processo de pirólise com rendimento em acima de 40 %. Este valor mostra que o sistema de produção é viável com bons rendimentos. O biocarvão apresentou características propícias para seu uso como condicionante em solo, tais como: pH alcalino (9,10) podendo ser utilizado como corretivo de acidez, e com presença de nutrientes como: magnésio, potássio, cálcio. Além disso, apresentou alto teor de carbono e uma estrutura que favorece a retenção de umidade no solo. O biocarvão feito da palha de cana-de-açúcar não apresentou efeito fitotóxico na germinação de soja e foi considerado estimulante para o milho. Na cultura do algodão, é preciso ter cautela ao trabalhar com doses altas, pois foi encontrada fitotoxicidade, exigindo mais estudos para compreensão desse efeito.

REFERÊNCIAS

- A.A. ABDELHAFEZ, M.H.H. ABBAS, M.H. HAMED BIOCHAR: **A Solution For Soil Lead (Pb) Pollution, The 8th Int. Conf. for Develop. and the Environment in the Arab World**, March, 22-24, 2016 Assiut University Center for Environmental Studies-Egypt (2016).
- ANTAL, MICHAEL J., GRONLI, M. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [S.L.], v. 42, n. 8, p. 1619-1640, 14 mar. 2003. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ie0207919>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos sólidos** – Classificação. Segunda edição. 31.05.2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BIOCHAR. Csiro Publishing: Balwant Singh et al., 13 jun. 2017. Disponível em: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/usyd/detail.action?docID=4826498>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- BIEDERMAN LA, HARPOLE WS. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **Global Change Biology Bioenergy** 5: 202–214.
- BRADY, N.C., WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes /Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p. ISBN 978-85-99851-70-8.

BRAND M. A., RODRIGUES. A. A., OLIVEIRA, A.; MACHADO. M. S., ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na Região Serrana Sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1165-1173, 2015.

BRUM, S. S., BIANCHI, M. L., S., V. L., GONÇALVES M., GUERREIRO M. C.; OLIVEIRA L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000500019>.

CANTRELL KB, HUNT PG, UCHIMIYA M, NOVAK JM, Ro KS (2012) Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. **Bioresource Technology**. v. 107, p. 419–428. doi:10.1016/j.biortech.2011.11.084.

CAO X. D., MA, L.N., GAO B., HARRIS W. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. **Environmental Science & Technology**, v. 43, p. 3285–3291, 2009.

CARVALHO, J.L.N., MENANDRO, L.M.S., DE CASTRO, S.G.Q., CHERUBIN, M.R., et al., Multilocation Straw Removal **Effects on Sugarcane Yield in South-Central Brazil. BioEnergy Research**, v. 12, pp. 813–829., 2019.

CERNANSKY, R., **Agriculture: State-of-the-art soil. Nature**, v. 517, pp. 258–260, 2015.

CHENG C.; LEHMANN J, THIES J. E.; BURTON S. D.; ENGELHARD, M. H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, [S.L.], v. 37, n. 11, p. 1477-1488, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>.

CHEN, X. et al. (2021). Biochar as tools to reduce environmental impacts of nitrogen loss in water-saving irrigation paddy field. **Journal of Cleaner Production**, v. 290.

CYBULAK M., SOKOŁOWSKA Z., BOGUTA P. Impact of Biochar on Physicochemical Properties of Haplic Luvisol Soil under Different Land Use: a plot experiment. **Agronomy**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 531, 11 set. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9090531>.

CLAOSTON N, SAMSURI A., HUSNI M. A., AMRAN M. M. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 331-339, 18 mar. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14525822>.

CONAB, Boletim safra de cana de açúcar, disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 08 de maio de 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO. **Acompanhamento da safra**

brasileira de ca-na-de-açúcar, Brasília, DF, v. 11, n. 1 abril 2023.

C. S. A. Pires, I., T. Nakashima, G., R. D. Padilla, E., R. O. Santos, L., et al., **Biochar of Sugarcane Straw: Characterization and Study of the Process**. Revista Virtual de Química, v. 10, pp.892–899, 2018.

COSTA, S.M., AGUIAR, A., LUZ, S.M., PESSOA, A., COSTA, S.A., “**Sugarcane Straw and Its Cellulose Fraction as Raw Materials for Obtainment of Textile fibers and Other Bioproducts**”, Polysaccharides, pp 513–533, 2015.

CONZ, R. F. (2015). **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CRUZ, M. A. et al. **Análise da viabilidade do uso de resíduos de cana-de-açúcar para produção de aglomerantes sustentáveis**. Matéria (Rio de Janeiro) [online]. 2021, v. 26, n. 04 [Acessado 20 abril 2022], e13113. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1313>>. Epub 05 Jan 2022. ISSN 1517-7076. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1313>.

DAS GRAÇAS SOUZA, K., DE OLIVEIRA, M.A., ALCANTARA, G.U., PAULINO, G.M., et al., **Effect of py-rolysis temperature on the properties of the coffee grounds biochar and composition of its leachates**. Chemical Papers, v. 77, pp. 3947–3956, 2023.

DAS, S.K., GHOSH, G.K., AVASTHE, R., **Evaluating biomas-derived biochar on seed germination and ear-ly seedling growth of maize and black gram**. Biomass Conversion and Biorefinery, v. 12, pp. 5663–5676, 2020.

DAS, S.K., GHOSH, G.K., AVASTHE, R., **Ecotoxicological responses of weed biochar on seed germination and seedling growth in acidic soil**. Environmental Technology & Innovation, v. 20, pp. 101074, 2020.

DIAS, S. K., GHOSH, GOUTAM K., AVASTHE R. Ecotoxicological responses of weed biochar on seed germination and seedling growth in acidic soil. **Environmental Technology & Innovation**, [S.L.], v. 20, p. 101074, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2020.101074>.

DING, X., LI, G., ZHAO, X., LIN, Q., WANG, X., **Biochar application significantly increases soil organic car-bon under conservation tillage: an 11-year field experiment**. Biochar, v. 5, 2023.

DHAR S. A., SAKIB, TAMJID U., HILARY L. N. Effects of pyrolysis temperature on production and physicochemical characterization of biochar derived from coconut fiber biomass through slow pyrolysis process. **Biomass Conversion And Biorefinery**, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 2631-2647, 4 nov. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-020-01116-y>.

DELATORRE F. M., CUPERTINO G. F. M., SANTO J. A. J., SILVA Á. P., DIAS J. A. F.,

SILVEIRA M. P. R. Insights acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 138, 28 dez. 2020. *Agropecuária científica no Seminário*. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v16i3.1272>.

DE ALMEIDA, S.G.C., TARELHO, L.A.C., HAUSCHILD, T., COSTA, M.A.M., DUSSÁN, K.J., **Biochar production from sugarcane biomass using slow pyrolysis: Characterization of the solid fraction**. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 179, 109054, 2022.

DWIVEDI, S., DEY, S., **Review on biochar as an adsorbent material for removal of dyes from waterbodies**. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022.

DOWNIE A., CROSKY A., MUNROE P. Physical Properties of Biochar. (2009). In Lehmann, J., & Joseph, Biochar for Environmental Management: **Science and Technology**, (13-30). London: Earthscan.

EMINO E, WARMAN P. 2004. **Ensaio biológico para a qualidade do composto**. *Compost Sci Util*. 12:342-348.

FAWZY S., OSMAN A. I., YANG H., DORAN J., ROONEY D. W. Industrial biochar systems for atmospheric carbon removal: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 3023-3055, 11 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10311-021-01210-1>.

FÉLIX, C.R. DE O., AZEVEDO JÚNIOR, A.F. DE, FREITAS, C.C., PIRES, C.A. DE M., et al., **Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presença de catalisador Al-MCM-41**. *Matéria* (Rio de Janeiro), pp. 22, 2018.

FERNANDEZ M., LEDESMA B., ROMÁN S., BONELLI P.R., CUKIERMAN A.L. Development and characterization of activated hydrochars from orange peels as potential adsorbents for emerging organic contaminants. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 183, p. 221-228, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.035>.

FIGUEIREDO, E.B., SCALA J. N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.141, n.1/2, p.77- 85, 2011.

FIGUEIREDO, M.E.O., JÚNIOR, D.L., PEREIRA, A.K.S., CARNEIRO, A. DE C.O., SILVA, C.M.S. DA, **POTENCIAL DA MADEIRA DE *Pterogyne nitens* Tul. (MADEIRA-NOVA) PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**. *Ciência Florestal*, v. 28, pp. 420–431, 2018.

FERREIRA, D.F., **SISVAR: A computer analysis to fixed effects split plot type designs**. *Revista Brasileira de biometria.*, v. 37, pp. 529–535, 2019.

FEOLA CONZ, R., ABBRUZZINI, T.F., DE ANDRADE, C.A., P. MILORI, D.M.B., E. P. CERRI, C., **Effect of Pyrolysis Temperature and Feedstock Type on Agricultural Properties and Stability of Biochars**. *Agricultural Sciences*, v. 08, pp. 914–933, 2017.

FUERTES A. B., ARBESTAIN M. C. SEVILLA M., MACIÁ J. A. FIOL S., LÓPEZ R., SMERNIK R. J., AITKENHEAD W. P., ARCE F., MACÍAS F. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonisation of corn stover. **Soil Research**, [S.L.], v. 48, n. 7, p. 618, 2010. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/sr10010>.

GEORGES F. **Caracterização da palha de cana-de-açúcar do Rio Grande do Sul e de seus produtos de Pirolise** (Dissertação de Maestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2011.

GASCÓ G. et al. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development. **Biological Agriculture & Horticulture**, 2016.

GONZAGA, L.C., ZOTELLI, L. DO C., DE CASTRO, S.G.Q., DE OLIVEIRA, B.G., et al., **Implications of Sugarcane Straw Removal for Soil Greenhouse Gas Emissions in São Paulo State**, Brazil. *BioEnergy Research*, v. 12, pp. 843–857, 2019.

HARTEMINK, A.E., BARROW, N.J., Soil pH - **nutrient relationships: the diagram**. **Plant and Soil**, v. 486, pp. 209–215, 2023.

IBRAHIM, A., MARIE, H.A.M.E., ELFAKI, J., **Impact of biochar and compost on aggregate stability in loamy sand soil**. **Agricultural Research Journal**, v. 58, pp. 34–44, 2021.

JÁCOME A. G, OLIVEIRA R. H. D., FERNANDES P. D. E., GONÇALVES A. C. A. Comportamento produtivo de genótipos de algodão sob condições salinas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.187-194, 2003.

JAISWAL A. K.; ELAD Y., CYTRYN E., GRABER E. R., FRENKEL O. Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning. **New Phytologist**, [S.L.], v. 219, n. 1, p. 363-377, 8 fev. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.15042>.

JAISWAL A.K., FRENKEL O., ELAD Y., LEW B., GRABER E.R. 2015. Non-monotonic influence of biochar dose on bean seedling growth and susceptibility to *Rhizoctonia solani*: the “Shifted Rmax-Effect”. **Plant and Soil** 395: 125–140.

JEFFERY S, ABALOS D, SPOKAS K.A, VERHEIJEN F.G. 2015. Biochar effects on crop yield. In: Lehmann J, Joseph S, eds. *Biochar for environmental management: science and technology*. London, UK: **Earthscan Books Ltd**, 301–325.

JEFFERY S, ABALOS D, Prodana M, Bastos A.C, van Groenigen JW, Hungate BA, Verheijen F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. **Environmental Research Letters** 12: 053001.

JING, H., JI, L., LI, Z., WANG, Z., et al., **Zn/Fe bimetallic modified *Spartina alterniflora*-derived biochar heterostructure with superior catalytic performance for the degradation of malachite green**. *Biochar* 2023, 5.

KÄTTERER, T., ROOBROECK, D., KIMUTAI, G., KARLTUN, E., et al., **Maize grain yield responses to realistic biochar application rates on smallholder farms in Kenya**. *Agronomy for Sustainable Development*, pp. 42, 2022.

KLINGENBERG D., NOLASCO A. M., DIAS J., A. F., CANDATEN L., CAVALCANTE, A. K. L., SOUZA E. C. de. Potencial energético de resíduos madeireiros de uma floresta tropical urbana. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-21, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7478.

KUMAR, M., UPADHYAY, S.N., MISHRA, P.K., Pyrolysis of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) **Leaves and Characterization of Products**. *ACS Omega*, v. 7, pp. 28052–2806, 2022.

KUMAR, P., KUMAR, S., JOSHI, L., **The Extent and Management of Crop Stubble. Socioeconomic and Environmental Implications of Agricultural Residue Burning**, pp. 13–34, 2014.

LAIRD D.A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. **Agronomy Journal** 100: p.178–181.

LAGO, B.C., SILVA, C.A., MELO, L.C.A., MORAIS, E.G. DE, **Predicting biochar cation exchange capacity using Fourier transform infrared spectroscopy combined with partial least square regression**. *Science of The Total Environment*, v. 794, pp. 148762, 2021.

LEHMANN J., and S.D. JOSEPH. 2009. Biochar for environmental management: **Science and technology**. Abingdon: Routledge, Abingdon Press.

LEHMANN J. 2007. A handful of carbon. **Nature** 447: 143–144.

LIU F., YANG L.I, QIANG X. J., LI Y., HUANG D., YANG L. Effect of Biochar on Growth, Photosynthetic Characteristics and Nutrient Distribution in Sugarcane. **Sugar tech**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 289-295, 12 set. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-018-0663-6>.

LOPES, R.P., GUIMARÃES, T., MORO, M.M., GUIASOLA, E., et al., **Magnetic Biochar-Supported Pd Nanoparticles as a Peroxidase-Like Catalyst**. *Waste and Biomass Valorization*, v. 13, pp. 3629–3637, 2022.

LUSTOSA CARVALHO, M., TUZZIN DE MORAES, M., CERRI, C.E.P., CHERUBIN, M.R., Biochar Amendment Enhances Water Retention in a Tropical Sandy Soil. *Agriculture*, v. 10, p. 62, 2020.

MARRIS E. Black is the new green. **Nature**, [S.L.], v. 442, n. 7103, p. 624-626, ago. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/442624a>.

MARTINS F. A. P, MEDEIROS E. V, LIMA J., COSTA D.P.D, DUDA G.P, SILVA J.S.A.D.,

OLIVEIRA J.B., ANTONINO A.C.D., MENEZES R.S.C., HAMMECKER C. **Impact of coffee biochar on carbon, microbial biomass and enzyme activities of a sandy soil cultivated with bean.** An Acad Bras Cienc. 2021 Sep 3;93(4):e20200096. doi: 10.1590/0001-3765202120200096. PMID: 34495200

MATOS, T.T.S., FORNARI, M.R., MANGRICH, A.S., SCHULTZ, J., et al., Low temperature production of biochars from different biomasses: **Effect of static and rotary lab reactors and application as soil conditioners.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, pp. 105472, 2021.

MUKHERJEE A., ZIMMERMAN A.R., HARRIS W. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, [S.L.], v. 163, n. 3-4, p. 247-255, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.021>.

MULABAGAL, V., BAAH, D.A., EGIEBOR, N.O., SAJJADI, B., et al., **Biochar from Biomass: A Strategy for Carbon Dioxide Sequestration, Soil Amendment, Power Generation, CO₂ Utilization, and Removal of Per-fluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment.** Handbook of Climate Change Mit-igation and Adaptation, pp. 1–64, 2021.

MUTLU, H., BARNER, L., **Getting the Terms Right: Green, Sustainable, or Circular Chemistry, Macromolecular Chemistry and Physics**, v. 223, 2200111, 2022.

NAIR V.D., NAIR P., DARI B., FREITAS A.M., Chatterjee N, Pinheiro FM (2017) Biochar no agroecossistema – mudanças climáticas – **nexo de sustentabilidade**. Front Plant Sci 8: 2051.

NOVAK J.M., LIMA I., XING B., GASKIN J.W., STEINER C., DIAS K., AHMEDNA M., REHRAH D W. DW, BUSSCHER W.J. (2009) Ann Environ Sci.

NOVOTNY E.H., MAIA C.M.B.D.F., CARVALHO M.T.M. & MADARI B.E. 2015. WANG H, ZHENG H, JIANG Z, DAI Y, LIU G, CHEN L & WANG Z. 2017. Biochar: carbono pirogênico para uso agrícola - uma revisão crítica. Rev Bras Ciênc Solo 39: 321-344.

OLIVEIRA A. C., CARNEIRO A. C. O., PEREIRA B. L. C., VITAL B. R., CARVALHO A. M. M. L., TRUGILHO, P. F., DAMÁSIO, R. A. P. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. 2013. *Revista Árvore*, Viçosa - MG, v. 37, n. 3, p. 557-566. 2013.

O'TOOLE A., ZARRUK, K. K., STEFFENS M., RASSE D. P. Characterization, Stability, and Plant Effects of Kiln-Produced Wheat Straw Biochar. *Journal Of Environmental Quality*, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 429-436, mar. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2012.0163>.

PAULINO E. K., PINTO, M. A., MACENA D. Â., LIMA, A. C., SANTANA, E. M. de L., SOUZA, J. G., ALVES, M. R. Biocarvão do biossólido da estação de tratamento de esgoto de Presidente Prudente - SP. In: *Colloquium Exactarum*. ISSN: 2178-8332. 2019. p. 46-61.

PETTER F. A., LIMA, L. B., MORALES, M. M., MARIMONJÚNIOR B. H.M., & MORAIS, L. A. (2016). Biocarvão nosolo: **Aspectos agrônômicos e ambientais**. In: Simpósio

Brasileiro de Agropecuária Sustentável. (p. 9). Sinop, MT.

POTENCIAL DA MADEIRA DE *Pterogyne nitens* Tul. (MADEIRA-NOVA) PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 420-431, 2 abr. 2018. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831620>.

RADY N.C., WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

RAJKOVICH S., ENDERS A., HANLEY K., HYLAND C., ZIMMERMAN A.R., LEHMANN J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils** 48: 271–284.

REHRAH D. R. MR, NOVAK J.M, BANSODE R.R, SCHIMMEL K.A, YU J., WATTS D.W., AHMEDNA M. (2014) Production and characterization of biochars from agricultural by products for use in soil quality enhancement. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v. 108, p. 301.

RODRÍGUEZ-VILA, A., SELWYN-SMITH, H., ENUNWA, L., SMAIL, I., et al., **Predicting Cu and Zn sorption capacity of biochar from feedstock C/N ratio and pyrolysis temperature**. Environmental Science and Pollution Research , v. 25, pp. 7730–7739, 2017.

RÓZ A. L., RICARDO J. F. C., NAKASHIMA G. T., SANTOS L. R. O., YAMAJI F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015.

ROGOVSKA N., LAIRD D., LEANDRO L., ALLER D. 2017. Biochar effect on severity of soybean root disease caused by *Fusarium virguliforme*. **Plant and Soil** 413: 111– 126.
SINGH B et al (2017) Chapter 3. **Biochar pH, electrical conductivity and liming potential**, pp 23–38

SINGH B. & M.M, DOLK & SHEN, QINHUA & CAMPS ARBESTAIN, MARTA. (2017). Chapter 3. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential.

SHETTY, R., PRAKASH, N.B., **Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity**. Scientific Reports, v. 10, 2020.

SILVA, F.C., CRUZ, N.C., TARELHO, L.A.C., RODRIGUES, S.M., Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: Critical review of the existing regulatory framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 214, pp. 112–124, 2019.

SOUZA J. G., SANTOS B. C. S., COSTA M. E. S., SANTOS M. K., SANTOS C. H., MAZZUCHELLI R. C. L., ALVES M. R. Organic waste and biochars for soil conditioner purposes. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e1510716660, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16660. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16660>. Acesso em: 5 apr. 2022.

SOLAIMAN Z. M., MURPHY D. V., ABBOTT L. K. Biochars influence seed germination

and early growth of seedlings. **Plant Soil**, 353, 273–287, 2012.

STAVROPOULOS G.G., ZABANIOTOU A. A. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. **Microporous and Mesoporous Materials**, [S.L.], v. 82, n. 1-2, p. 79-85, jul. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2005.03.009>.

THIES J.E. and RILLIG M.C. (2009) Characteristics of Biochar: Biochar Properties. In: Lehmann, J. and Joseph, S., Eds., **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, Earthscan, London, 85-105.

TRAZZI, P.A. **Uso do Biocarvão na Produção de Mudas e no Crescimento Inicial de Pinus taeda L.** 119f. Tese (Doutorado) - Curso de Eng. Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TRIPATHI M., SAHU J.N., GANESAN P. (2016) Efeito dos parâmetros do processo na produção de biocarvão a partir de resíduos de biomassa por pirólise: uma revisão. **Renovar Sust Energ Rev** 55: 467–481.

THOMMES, M., KANEKO, K., NEIMARK, A.V., OLIVIER, J.P., et al., **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, pp. 1051–1069, 2015.

UENO M., KAWAMITSU Y., KOMIYA Y., LIYA S. (2008) In Proceedings of the XXVI Congress of the International **Society of Sugar Cane Technologists**. ICC, Durban, 29 July–2 August 2007. pp. 1194–1201. International Society of Sugar Cane Technologists, Quatre-Bornes, Mauritius.

] USLU, O.S., BABUR, E., ALMA, M.H., SOLAIMAN, Z.M., **Walnut Shell Biochar Increases Seed Germination and Early Growth of Seedlings of Fodder Crops. Agriculture**, v. 10, p. 427, 2020.

UPADHYAY, K.P., GEORGE, D., SWIFT, R.S., GALEA, V., **The Influence of Biochar on Growth of Lettuce and Potato. Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, pp. 541–546, 2014.

VEIGA, P.A. DA S., CERQUEIRA, M.H., GONÇALVES, M.G., MATOS, T.T. DA S., et al., **Upgrading from batch to continuous flow process for the pyrolysis of sugarcane bagasse: Structural characterization of the biochars produced. Journal of Environmental Management**, v. 285, pp. 112145, 2021.

VIGER M., HANCOCK R.D., MIGLIETTA F., TAYLOR G. 2014. More plant growth but less plant defence? First global gene expression data for plants grown in soil amended with biochar. **GCB Bioenergy** 7: 658–672.

WANG, C., ZHOU, X., GUO, D., ZHAO, J., et al., **Soil pH is the primary factor driving the distribution and function of microorganisms in farmland soils in northeastern China. Annals of Microbiology**, v. 69, pp. 1461–1473, 2019.

WANI, I., RAMOLA, S., GARG, A., KUSHVAHA, V., **Critical review of biochar**

applications in geoengineering infrastructure: moving beyond agricultural and environmental perspectives. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021.

ZHANG, H., SU, L., CHENG, C., CHENG, H., et al., **A new type of calcium-rich biochars derived from spent mushroom substrates and their efficient adsorption properties for cationic dyes.** Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, v. 10, 2022.

ZHONG, Y., YAN, W., CANISARES, L.P., WANG, S., BRODIE, E.L., Alterations in soil pH emerge as a key driver of the impact of global change on soil microbial nitrogen cycling: **Evidence from a global meta-analysis.** Global Ecology and Biogeography, v. 32, pp. 145–165, 2022.

ZHU, L., ZHAO, N., TONG, L., LV, Y., **Structural and adsorption characteristics of potassium carbonate activated biochar.** RSC Advances, v. 8, pp. 21012–21019, 2018.

ZUCCONI F., MONACO A., FORTE M., BERTOLDI M.1985. **Fitotoxinas durante a estabilização da matéria orgânica.** Em: Gasser JKR, editor. Compostagem de resíduos agrícolas e outros. Londres: Elsevier; pág. 73-86.

CAPÍTULO 4 - INTERAÇÕES DO BIOCARVÃO NO SISTEMA SOLO MICRORGANISMOS EM SISTEMA DE MICROCOSMOS

RESUMO

Pesquisas utilizando biocarvão no solo e mecanismos de biodegradação ganham complexidade devido ao grande número de variáveis envolvidas: natureza heterogênea do solo, disponibilidade de receptores de elétrons, a composição de sais, minerais, nutrientes, microbiota nativa, conteúdo de água. Este trabalho tem por objetivo avaliar as interações do biocarvão produzido a partir de palha de cana-de-açúcar no sistema solo/microrganismo, identificar os efeitos de doses nos atributos físico-químicos e biológicos do solo, como influenciam bem como no reflexo de seu uso no desenvolvimento inicial de mudas de cana-de-açúcar. O biocarvão foi produzido pelo sistema de forno duplo tambor por meio de pirólise, utilizando palha de cana-de-açúcar como matéria-prima. Para avaliar a interação biocarvão-solo-plantas foi utilizado o sistema de microcosmos e ensaios em vasos utilizando solo virgem e biocarvão nas proporções de 1%, 3% e 5%, com duração de 60 dias. Foram determinados umidade, pH, capacidade de retenção de água e atributos de fertilidade para solo in-natura e nos tratamentos. Para o monitoramento da atividade microbiana aos 30 e 60 dias foram realizadas contagem de bactérias totais (meio nutriente) e fungos totais (meio Martin), foi monitorada a atividade respiratória microbiana, o carbono da biomassa microbiana, a atividade enzimática da desidrogenase. Utilizou-se de Microscopia eletrônica de varredura para verificar o crescimento de bactérias e fungos totais sobre o biocarvão. Os solos com aplicação de biocarvão mantiveram a umidade. Em ambos os tratamentos *in vitro* e em condição de vasos aumentou a capacidade de campo nas três doses testadas. O pH não foi alterado com a aplicação do biocarvão, com valores de 6,8. Quanto a avaliação do desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar houve resultados significativos para altura da planta, comprimento da raiz, massa da raiz para os 60 dias de plantio, já para massa fresca da parte aérea não foram obtidos resultados promissores. Para os 30 dias de plantio não houve resultado significativo para altura da planta, massa fresca de parte aérea, já para comprimento da raiz e massa fresca da raiz, foram resultados positivos. O crescimento da microbiota mostrou-se favorável em todas as doses aplicadas, o carbono de biomassa microbiana mostrou níveis superiores ao controle, a atividade enzimática da desidrogenase oscilou ao longo dos 60 dias, no entanto, sem diferença significativa entre os tratamentos.

Palavras-chave: Carbono de biomassa. Capacidade de campo. Microbiota.

ABSTRACT

Studies using biochar in soil and biodegradation mechanisms gain complexity due to the large number of variables involved: heterogeneous nature of the soil, availability of electron receptors, composition of salts, minerals, nutrients, native microbiota, water and/or carbon content. This work aims to evaluate the interactions of biochar produced from sugarcane straw in the biochar-soil-plant system and to identify the effects of different doses on the physical-chemical and biological parameters of the soil and how they influence the initial development of sugar cane seedlings. Biochar was produced by a double drum furnace system through pyrolysis, using sugarcane straw as raw material. To evaluate the biochar-soil-plant interaction, the system of microcosms and pot tests were used using virgin soil and biochar in the proportions of 1%, 3% and 5% with a duration of 60 days. Moisture, pH, water retention capacity and fertility parameters were determined for soil in natura and in treatments. To monitor microbial activity at 30 and 60 days, total bacteria (nutrient medium) and total fungi (Martin medium) counts were performed, monitoring microbial respiratory activity, microbial biomass carbon, dehydrogenase enzymatic activity. Scanning electron microscopy was used to verify the growth of total bacteria and fungi on biochar. Soils with biochar application maintained moisture. In both in vitro treatments and in vase conditions, field capacity increased at the three tested dosages. The pH was not altered when applying biochar with values of 6.8. As for the evaluation of the development of sugarcane seedlings, there were significant results for plant height, root length, fresh mass underground part for the 60 days of planting, as for fresh mass aerial part did not obtain promising results. For the 30 days of planting, there was no significant result for plant height, aerial part fresh mass, as for root length and subterranean fresh mass, it obtained positive results. Microbiota growth was favorable at all applied doses, microbial biomass carbon showed higher levels than control, dehydrogenase enzymatic activity fluctuated over the 60 days, however, with no significant difference between treatments.

Keywords: Biomass carbon. Field capacity . Microbiota.

4.1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a demanda de atender as necessidades nutricionais faz com que a produção agrícola aumente, fazendo que a mesma área produza com mais constância. Gerando perdas de nutrientes, pragas, doenças no solo, assim os insumos químicos, passam a ser itens essenciais para a obtenção de maiores rendimentos.

Insumos agrícolas aplicados no solo interferem na situação termodinâmica, afetando as interações entre solo-microrganismos-plantas. Todas estas variáveis podem afetar a eficiência de biodegradação de compostos orgânicos em solos, desta forma as interações do biocarvão, ainda necessitam ser bem estabelecidas.

A microbiota do solo tem participação na execução e controle de várias funções no solo, fixação de nutrientes e nitrogênio atmosférico e fluxo energético. (JAISWAL et al., 2017); KOLTONE et al., 2017), relataram crescente aumento da diversidade e da atividade microbiana da rizosfera induzida pelo biocarvão. Esses efeitos positivos contribuem para aumento da produtividade e na saúde das plantas.

Outro efeito positivo do biocarvão é sua capacidade de reter água no solo (HANKE et al., 2022). A umidade do solo tem impactos fundamentais no desenvolvimento das plantas, reações químicas e na atividade microbiana do solo. Em especial na atividade e estabelecimento da comunidade microbiana (BROCKETTE et al., 2012; MANZONI et al., 2012; BARNARDE et al., 2013; CAVAGNARO, 2016). Assim, levanta-se a hipótese que a microbiota do solo tem impactos positivos promovidos pela adição de biocarvão nas características físico-químicas e biológicas do solo, bem como esses efeitos positivos podem trazer benefícios no desenvolvimento de plantas.

Sendo um bioproduto é retentor de umidade de solo. Por isso, é esperado que o condicionamento de solo com o biocarvão ocasione um aumento da diversidade e atividade microbiana por meio da estimulação no pré-plantio do crescimento de MPB ativando as populações de microrganismos do solo que estariam em resiliência. Essas mudanças podem aumentar coletivamente a eficácia do biocarvão para a promoção do crescimento de plantas e supressão de doenças, bem como reduzir a fitotoxicidade (JAISWAL et al., 2018).

Por outro lado, a aplicação do biocarvão como proposta de melhorar a fertilidade de solos agrícolas e sua ampla aceitação para fins agronômicos ainda exige investigações para certificação da sua qualidade. Além disso, as condições da pirólise da biomassa, (temperatura,

taxa de oxigênio, taxa de fornecimento de matéria-prima, composição, entre outras) podem afetar suas propriedades químicas e físicas, resultando em material heterogêneo. Soma-se a isso, os poucos estudos sobre a influência do biocarvão nos estágios iniciais do crescimento das plantas, como na germinação de sementes e no crescimento de plântulas. Mais ainda, em se tratando do cultivo de cana-de-açúcar a literatura é carente de informações quanto a aplicação de biocarvão e seus efeitos no desenvolvimento da cultura.

A porosidade de um solo é dada pelo volume de espaços vazios existentes entre as partículas sólidas e classificada quanto ao tamanho do poro: macroporos são responsáveis pelo livre movimento da água, do ar e crescimento radicular, enquanto os microporos são responsáveis pela formação de reservatório de água (FERNÁNDEZ et al. 2015). O padrão de macroporos e microporos define a capacidade de retenção de água, determinando o transporte e armazenamento, o perfil de erosão e o teor de água disponível (FERNÁNDEZ et al. 2015).

Para avaliar o efeito do biocarvão e de interferências no ambiente, há necessidade de utilizar métodos sensíveis que detectem pequenas mudanças. A avaliação do carbono da biomassa microbiana é um dos indicadores que pode ser utilizado no monitoramento de alterações da funcionalidade do solo, sendo útil para avaliar alterações biológicas em ecossistemas com interferências antrópicas.

A partir das constatações descritas, percebe-se que a importância das análises de granulometria, capacidade de retenção de água, variáveis microbiológicas, tais como respiração do solo, atividade enzimática e carbono da biomassa microbiana, ao que proporcionam informações de presença e a atividade de microrganismos, e também sobre a intensidade, tipo e duração dos efeitos que o biocarvão na atividade metabólica do solo.

Considerando todos esses aspectos, este trabalho buscou investigar a influência de diferentes doses de biocarvão obtido da palha de cana-de-açúcar no solo em condições de vaso e microcosmo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de Físico-química na Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, utilizando material de solo de textura argiloso, e biocarvão produzido por meio da pirólise de palha de cana-de-açúcar.

4.2.1 Montagem dos microcosmos para avaliação *in vitro* da interação biocarvão-solo-

microrganismos

O solo utilizado no experimento foi obtido em área sem cultivo prévio de nenhuma cultura e não foi feita nenhuma correção química (solo *in natura*). O volume coletado foi seco em temperatura ambiente, por 2 dias e posteriormente peneirado em peneira com malha de 2 mm. A umidade foi ajustada para 60% da capacidade de campo com água destilada estéril em todos os tratamentos. Os microcosmos foram montados em frascos de vidro transparente de 3 L previamente autoclavados.

O experimento foi realizado em blocos inteiramente casualizados com 4 tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais e duas provas em branco, totalizando 18 microcosmos (Figura 1). Cada frasco contendo mistura de solo e biocarvão, considerando como uma unidade experimental (parcela). Foram utilizados quatro tratamentos no solo (Tabela 1), contendo as respectivas doses do biocarvão em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (2); 5,0 (3).

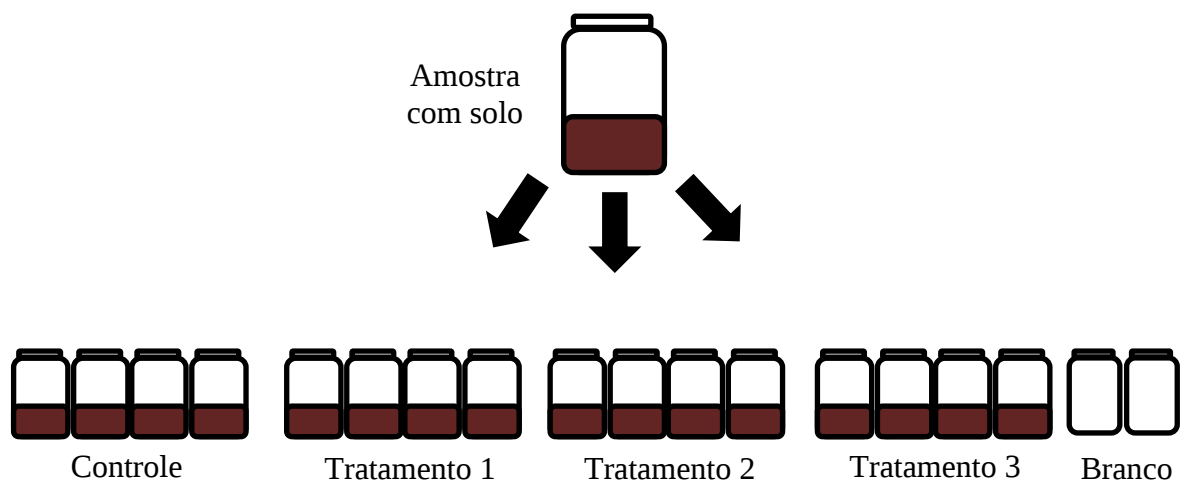


Figura 1 - Sistema de microcosmo utilizando frascos de vidro transparente com mistura de solo+ biocarvão nas concentrações em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (3); 5,0 (5).

Fonte: Autor.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados no sistema de microcosmos, utilizando frascos de vidro transparente com mistura de solo + biocarvão nas doses em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (3); 5,0 (5).

Tratamentos	Biocarvão (% m/m)	Massa de biocarvão (g)	Massa de solo (g)	Número de microcosmos
Controle	0	0	1000	4
1	1	10	990	4
2	3	30	970	4
3	5	50	950	4
B – Branco	0	0	0	2

Fonte: Autor

Os microcosmos foram mantidos em ambiente fechado com temperatura ambiente, sem luz, nivelado, evitando interferências da exposição destes à radiação solar (Figura 2). A umidade e atividade respiratória nos microcosmos foram avaliadas a cada dois dias nos primeiros 10 dias de experimento sendo sua água substituída por água deionizada autoclavada e, posteriormente, semanalmente, as avaliações foram feitas até 60 dias. Nos tempos 0, 30 e 60 dias, uma amostra foi retirada de cada sistema para realização de análises, físicas, químicas e biológicas, sendo estas: granulometria, capacidade de campo, capacidade de retenção de água, umidade relativa, atividade de desidrogenase, carbono de biomassa microbiana, Unidade Formadora de Colônias (UFC) de bactérias e fungos totais em meios Nutriente e Martin.



Figura 2 - Microcosmos montados em frascos de vidro transparente contendo solo + biocarvão com teor de umidade de 60%.

Fonte: Autor

4.2.2 Avaliação da interação biocarvão-solo-microrganismos em condição de vasos

O solo utilizado no experimento foi obtido em área sem cultivo prévio de nenhuma cultura, não foi feita nenhuma correção química. Os vasos foram colocados em estufa em área nivelada sem vegetação arbórea próxima. Foram utilizados vasos perfurados para drenagem e evitar a perda de solo. Foram utilizados vasos de 3 L contendo a mistura de solo e biocarvão, considerando cada vaso como uma unidade experimental (parcela). O plantio nos vasos foi feito manualmente, utilizando de gemas de cana-de-açúcar com idade fisiológica de 10 meses da variedade CTC 4. O experimento foi realizado em blocos inteiramente casualizados com esquema fatorial 4 x 2, com 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Foram utilizados quatro tratamentos no solo (Tabela 2), contendo as respectivas doses do biocarvão em percentagem de massa (% m/m): 0,0 (controle); 1,0 (1); 3,0 (3); 5,0 (5) com avaliações em 2 períodos, aos 30 e 60 dias.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos avaliados no sistema de vasos, utilizando vasos perfurados com mistura de solo + biocarvão nas doses em percentagem de massa (% m/m): controle; 1,0%; 3,0%, 5,0%.

Tratamentos	Massa de biocarvão (g)	Massa de solo (g)
Controle	0	3000
1 %	30	2970
3 %	90	2910
5 %	150	2850

Fonte: Autor

4.2.3 Biometria das mudas de cana-de-açúcar

4.2.3.1 Altura da planta

A altura (cm) foi determinada medindo-se da base da planta até a lígula da folha + 1 (sistema de numeração de Kuijper) utilizando régua graduada (EMBRAPA, 2012).

4.2.3.2 Comprimento e densidade das raízes

O tamanho das raízes foi determinado com régua graduada. A determinação de

densidade de raiz foi realizada visualmente por meio de estabelecimento de escala própria (Muito, Médio e Pouco denso) (EMBRAPA, 2012).

4.2.3.3 Matéria fresca

Foi determinada a massa de matéria fresca da parte aérea e da raiz, desmembrando a planta em parte aérea (colmo, folhas verdes e folhas secas/palha) e raízes (EMBRAPA, 2012).

4.2.4 Análises físico químicas do solo para avaliar os mecanismos de interação biocarvão-solo-microrganismos

4.2.5 Determinação da Umidade Gravimétrica (%)

A Umidade Gravimétrica (UG, %) do solo aos 30 e 60 dias após o plantio foi determinada, em triplicata, colocando 5 g do solo em um cadinho de porcelana, que foi aquecido em estufa a 105 °C por 24 h (EMBRAPA, 2017). A partir do registro da massa após o aquecimento e com uso da Equação 1 foi feito o cálculo da UG (%).

$$UG (\%) = \left(\frac{a-b}{b} \right) \text{ (Eq. 1)}$$

Em que: UG, a e b indicam Umidade Gravimétrica (%), a massa inicial do solo e massa da amostra seca a 105° C ate atingir peso constante (g).

Para fins de comparação também foi determinada a UG (%) do solo virgem no dia do plantio para cada tratamento com os tempos de 30 e 60 dias.

4.2.6 Obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar)

As amostras retiradas dos vasos e dos microcosmos foram espalhadas sobre papel kraft 180 g/m² e colocadas em local seco e arejado, até completa secagem ao ar.

4.2.7 Capacidade de retenção de água (CRA)

50 g do solo dos respectivos tratamentos foram colocados em copos de plástico perfurados e colocados em um suporte de funil de vidro sobre uma bureta. No solo do copo foram adicionados 50 mL de água destilada, e este material permaneceu na condição de repouso por 3 h, (EMBRAPA, 1997). Após a drenagem de toda a água do solo, foi feita a leitura do volume coletado em cada uma das provetas e calculado as capacidades de campo de cada solo, utilizando a seguinte equação 8:

Equação 8 – Capacidade de retenção de água.

$$CRA = \frac{\text{Água retida no solo (mL)} \times 100\%}{\text{Volume do solo (mL)}}$$

Em que:

CRA = capacidade de retenção de água do solo, em % de volume de solo utilizado.

Água retida no solo = volume de 50 mL - volume de água coletado na proveta (mL)

Volume de solo no funil = 50 mL

4.2.8 Determinação do pH

10 g do solo com respectivos tratamentos, foram misturados com 25 mL de H₂O deionizada. Em seguida, as misturas foram agitadas em mesa agitadora a 220 rpm a temperatura ambiente, por 15 min. Após esse procedimento, as misturas foram mantidas em repouso por 30 min. Para a medida do pH utilizou-se um pagômetro marca Digmed, modelo DM – 22, o pH foi determinado seguindo a metodologia de (SINGH et al, 2017).

4.2.9 Monitoramento da atividade microbiana nos microcosmos e em condição de vaso

4.2.9.1 Contagem de microrganismos do solo: diluição e preparo das amostras para contagem de microrganismos

5,0 g de solo de cada um dos microcosmos/vasos foram coletados no início (solo virgem), com 30 dias e no final do experimento 60 dias, Cada amostra foi diluído em 45 mL de solução de pirofosfato de sódio 0,1% (m/v) e colocados mesa agitadora com velocidade de 300 rpm. Deste material foram feitas diluições decimais em série, de 10⁻¹ a 10⁻⁹ em solução aquosa de cloreto de sódio a 0,9% (m/v). Em seguida, alíquotas de 0,1 mL de cada diluição foi

transferidas pelo método “pour plate” em placas de Petri contendo meio de cultura e acondicionadas em saco plástico com o objetivo de evitar o ressecamento do meio (OLSEN & BAKKEN, 1987; SORHEIM; TORSVIK; GOKSOYR, 1989) e incubadas na temperatura indicada para cada microrganismo.

4.2.9.2 Microrganismos totais

Para contagem do número total de microrganismos foi utilizado o meio de cultura Ágar Nutriente, incubadas em duas estufas BOD, com temperaturas a 30°C, em ausência de luz. As contagens foram feitas a cada 24 horas em um contador de colônias com 6x de aumento (OLSEN E BAKKEN, 1987; SORHEIM et al., 1989).

4.2.9.3 Fungos totais

Foi utilizado o meio de (MARTIN, 1950), para contagem do número total de fungos constituído por 1.000 mL água, 10 g ágar, 1 g KH_2PO_4 , 1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 g peptona e 10 g dextrose. Foi ajustado o pH 5,5, acrescido de 70 mg/mL e rosa de bengala. O meio foi autoclavado por 15 min e acrescido com 0,1 g/L de uma mistura de antibiótico no momento da incubação. A incubação das culturas foi realizada a 30 °C por três dias. As contagens foram feitas em contador de colônias com 6x de aumento.

4.2.9.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para microrganismos totais e fungos

Após a diluição e o preparo das amostras para a contagem de microrganismos, com solo contendo biocarvão a 0%, 1%, 3% e 5%, selecionou-se amostras para investigar a interação dos microrganismos com a superfície do biocarvão por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para avaliação, as placas foram secas em estufas a 35 °C por 36 horas. As amostras foram cortadas em pequenos filamentos e colocadas em uma fita adesiva de carbono e analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (Vega 3 LMU, TESCAN).

4.2.10 Carbono da biomassa microbiana

Foi determinado o carbono de biomassa microbiana com coletas no início (solo virgem), com 30 dias e no final do experimento 60 dias. O método da Irradiação-Extração consiste na utilização da energia eletromagnética (micro-ondas) para promover o rompimento celular, liberando os compostos intracelulares para posterior extração e quantificação do Carbono. A determinação foi feita pela diferença entre as quantidades de Carbono da amostra irradiada e outra que não sofreu esse tratamento, submetida aos mesmos procedimentos. A extração foi feita com sulfato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e a quantificação foi realizada por titulação de uma alíquota do extrato que foi oxidada com excesso de dicromato de potássio $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ em meio ácido e determinado esse excedente com sulfato ferroso amoniacal $0,03 \text{ mol L}^{-1}$.

O carbono de biomassa é determinado pela equação do carbono da biomassa microbiana.

Equação 9 - Equação do carbono da biomassa microbiana.

$$c = \frac{(v_b - v_{am}) \cdot (\text{concentração sulfato ferroso}) \cdot 3 \cdot 1000 \cdot (\text{volume extrator})}{(\text{volume extrator}) \cdot (\text{peso do solo})}$$

Fonte: Embrapa, (2017)

Em que:

V_b – média volumes gastos na titulação dos brancos;

V_{am} – media dos volumes gastos na titulação das amostras;

Concentração de sulfato ferroso – $0,03 \text{ mols}$.

3 – Resultado da reação entre Cr_2O_7^- que reage com Fe, multiplicado pelo número de mols de Cr_2O_7^- que reage com C multiplicado pela massa atômica de C (12);

1000 – Fator de conversão de unidades;

Volume extrator – $40 \text{ ml } 0,05 \text{ mol}$;

Volume extrato 10 mL .

4.2.11 Atividade respiratória microbiana (Respiração basal do solo)

A atividade respiratória microbiana dos microcosmos foi avaliada com base na liberação cumulativa de C-CO_2 (ALEF, 1995) Para a capacitação de CO_2 liberado montou-se em cada microcosmo um recipiente constituído de recipiente plástico contendo 20 mL de NaOH ($0,5 \text{ mol}$), sendo mantidos fechados abertos apenas para substituição dos recipientes contendo NaOH e retirada de amostra de solos, com meio de provas em branco foi utilizados dois frascos

sem solo, contendo recipientes com NaOH (JENKINSON & POWLSON, 1976).

4.2.12 Atividade enzimática da desidrogenase

Foi determinada atividade enzimática da desidrogenase com coletas no início (solo virgem) e no final do experimento (60 dias). Foram pesados 3 g de solo seco (< 2 mm) em tubo de ensaio 18 x 180 mm, adicionado 0,03 g de carbonato de cálcio, 0,5 mL de cloreto de 2,3,5-trifinil tetrazolium cloreto (TTC) e 1,3 mL de água destilada (CASIDA et al., 1964). A mistura foi homogeneizada, os tubos vedados com filme plástico PVC e colocados em banho maria a 37°C por 24 horas. Após incubação, foram adicionados aos tubos de ensaio 10 mL de metanol, agitados, filtrados em papel filtro Whatman 42, transferidos para Erlenmeyers de 125 mL, e a intensidade da cor vermelha foi medida em espectrofotômetro com absorbância de 485 nm.

A atividade enzimática desidrogenase é determinada pela equação

.

Equação 10 - equação da atividade enzimática da desidrogenase.

$$At = \frac{v \cdot x \cdot d}{p}$$

Em que:

v – volume da amostra;

x – equação da curva padrão;

d – diluição da enzima;

p – peso seco da amostra.

4.2.13 Análise estatística

Os cálculos referentes às análises foram realizados utilizando o software Microsoft Excel, submetidos também à análise de variância por meio de teste Tukey, considerando o nível de significância de 5%.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Análise de umidade do solo em *in vitro* e em vaso

Pode-se observar que tanto para o solo virgem, quanto para os tratamentos com adição

de biocarvão nos períodos de 30 e 60 dias em *in vitro*, não há perda de umidade por conta de ser um sistema fechado. Isso implica que a umidade no solo se manteve em todos os tratamentos (Tabela 3), sendo assim permite avaliar a máxima atividade microbiana sem interferências externas. O teor de até 60% permite que os decompositores realizem de forma eficiente a degradação do material orgânico, e acima deste valor não é possível fornecer concentrações de oxigênio suficiente para máxima atividade microbiana (MIRSAL, 2008). Em condições de vaso, por se tratar de um sistema aberto, os teores de umidade aumentaram com a adição de biocarvão aos 60 dias nas concentrações 3% e 5%. Resultados estes que corroboram com o trabalho de (YANG, 2014), que mostrou que a aplicação do biocarvão aumenta a retenção de água no solo.

Tabela 3 – Caracterização dos solos quanto a Umidade (%), em vaso e *in vitro* após 30 dias e 60 dias de experimento a tratamento com diferentes doses de biocarvão.

Tratamentos	Umidade do solo (%)			
	<i>In vitro</i> 30 dias	<i>In Vitro</i> 60 dias	Vaso 30 dias	Vaso 60 dias
Controle	45,03	45,48	40,71	40,81
1 %	45,62	45,62	33,68	34,78
3 %	45,81	45,67	40,90	41,36
5 %	45,87	45,92	40,97	41,70

Fonte: Autor.

4.3.2 Caracterização do solo de estudo

4.3.2.1 Capacidade de retenção de água (CRA)

A capacidade de retenção de água (Tabela 4), a comparando os tratamentos 1%, 3% e 5% ao controle 0%, quando a dose de biocarvão aumenta, há uma correlação positiva com a capacidade de campo e de retenção de água. À medida que aumentou a dosagem de biocarvão nos solos, a capacidade de retenção de água aumentou, em todos os tratamentos, na ordem de 20%, 35% e 48%. Com 5% de biocarvão tem-se uma retenção de água, comparada ao controle, quase 50% maior que comparada ao controle. Os resultados encontrados confirmaram a influência que o biocarvão no solo tem, quanto a capacidade de campo e de retenção de água do solo. Esse resultado é similar aos resultados relatados em outros estudos (LIRA et al. 2015;

MIRANDA et al. 2015).

Tabela 4 – Capacidade de retenção de água

Tratamentos Dosagem de biocarvão (%)	Capacidade de campo (%)	Capacidade de retenção de água (%)	pH da água de retenção
0	52,56c	14,51c	6,83a
1	63,56bc	17,25bc	6,71a
3	71,19ab	19,04ab	6,84a
5	78,85a	21,07a	6,82a
DMS (5%) =	14,25	3,57	0,51

Fonte: Autor

4.3.3 Efeito do biocarvão sobre o desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar

A influência do biocarvão no crescimento de plântulas de cana-de-açúcar aos 30 dias após o plantio é apresentada (Tabela 5). Observou-se aos 30 e 60 dias de plantio que houve diferenças significativas para comprimento da raiz e massa fresca da raiz, com destaque a maior dose de biocarvão aplicada, 5%. Já para altura da planta e massa frescas folhas não foi observada diferença estatística, independente da dose. Provavelmente este fato pode ser decorrente à adsorção de nutrientes no solo pelo biocarvão no estágio inicial (PINTO et al., 2023). Embora não esteja claro se esse efeito abrupto se prolonga até a maturação dos colmos, (LEHMANN et al., 2011), propuseram que as razões para as mudanças no crescimento das raízes da cultura, dependem das diferentes propriedades do biocarvão e dos ambientes do solo.

Tabela 5 - Altura, comprimento de raiz e produção de Matéria Fresca (parte aérea e subterrânea), de mudas de cana-de-açúcar após 30 dias e 60 dias de plantio submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão

30 Dias após plantio				
	Altura (cm)	Comprimento raiz (cm)	Massa fresca (folhas) (gramas)	Massa fresca (raiz) (gramas)
Controle	30,66a	7,66a	1,89a	0,17d
1%	28,50a	8,16a	1,26a	1,35b
3%	26,16a	10,33a	1,14a	1,12c
5%	25,83a	11,50a	1,51a	3,55a
60 Dias após plantio				
Controle	46,33a	12,66c	1,89a	1,11b
1%	59,66a	41,66a	1,26a	1,18a
3%	66,06a	40,33a	1,14a	1,14a
5%	66,60a	49,00a	1,51a	3,55a

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Autor

Aos 60 dias de experimento (Tabela 7), o biocarvão teve influência na altura da planta, comprimento da raiz, massa fresca da raiz em todas as doses testadas. A altura da planta e o comprimento da raiz aumentaram respectivamente com relação ao controle em 28%, 43%, 43% e 329%, 318% e 387%. A adição percentual de biocarvão também promoveu o desenvolvimento da raiz, o que é consistente com estudos realizados por (RAZAQ et al., 2017).

Alguns autores relatam que o biocarvão pode aumentar o rendimento das culturas (HUANG et al., 2014; PENG et al., 2011; PINTO et al., 2023). Neste trabalho foram observados efeitos positivos no desenvolvimento das mudas de cana-de-açúcar aos 60 dias. Sabe-se o desenvolvimento desta cultura é complexo, por apresentar ciclo longo, os efeitos positivos do biocarvão podem exigir mais tempo de cultivo para serem significativos.

A Figura 3 apresenta os teores foliares da cultura de cana-de-açúcar e nutrientes presentes, nas diferentes doses de biocarvão, os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram maiores à 1% e 3% de biocarvão, estando estes relacionados com as paredes celulares das folhas, sendo que o Ca, aumenta a taxa fotossintética (ETICHA et al., 2017). O (Mg) tem papel principal no processo da fotossíntese, participa de processos ligados à síntese de amido, proteína, gorduras e vitaminas (MOSAIC, 2023). Quanto ao potássio (K) obteve-se teores maiores a 1% e 3%, este estando relacionado a pigmentos das folhas como a clorofila e os carotenoides, desempenha papel importante no estado nutricional da planta, contribuindo para um bom desempenho na fotossíntese (HOU et al., 2019; CROFT e CHEN, 2017; CROFT et al.,

2017). O ferro (Fe) aumentou progressivamente em 3% e 5%. O zinco (Zn) mostrou seu maior teor com 3% de biocarvão este estando relacionado com o crescimento da cana-de-açúcar (ANDRADE, 2021). Para o cobre (Cu) houve maiores taxas em 1%, pode atuar como fungicida ou bactericida dependendo da fonte e dosagem usada (ANDRADE, 2021), tendo ação direta em várias enzimas. Segundo (MARSHNER, 1995) a absorção dos nutrientes pelas plantas e sua acumulação nos tecidos é dependente de características fisiológicas intrínsecas das mesmas. Neste trabalho a dose de 3% mostrou-se mais promissora para acúmulo de nutrientes nas folhas de cana-de-açúcar.

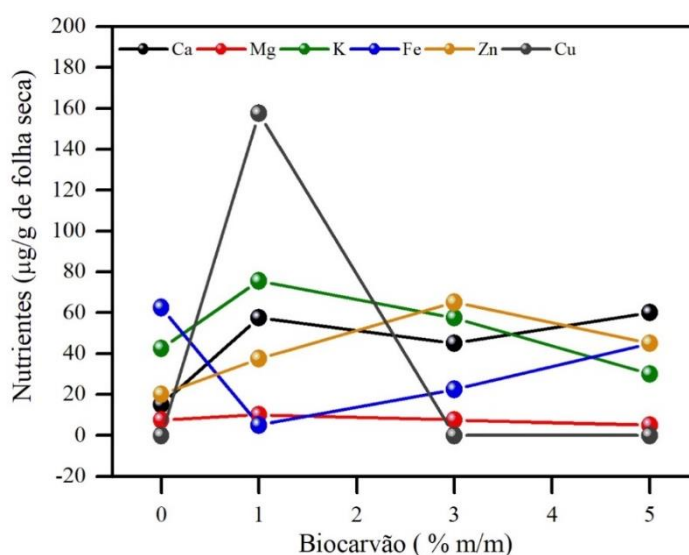


Figura 3 – Evolução da quantidade de nutrientes presentes nas diferentes doses de biocarvão
Fonte: Autor

4.3.4 Contagem de microrganismos *in vitro* e em condição de vaso

As contagens de microrganismos revelaram que todas as doses aplicadas de biocarvão à 5% aos 30 e 60 dias foram iguais ao ao controle, já para 1% e 3% foram menores comparado ao controle referentes aos números de UFC por g^{-1} solo seco de bactérias totais, em relação ao controle (0 %) (Tabela 6). Também foi possível observar que ocorreu aumento nos intervalos de dias de contagem 30 e 60 dias, quando comparados ao dia de montagem *in vitro* e em vasos. A contagem de bactérias totais aumentou nos tratamentos com 3% e 5% com adição de biocarvão quando comparada ao controle, em sistema *in vitro*, houve variações progressiva durante a incubação dos microcosmos nos tratamentos 3% e 5%. Quando comparados os quatro tratamentos, pode se observar que houve maior número de bactérias totais nos tratamentos

contendo biocarvão, nos 30 dias e 60 dias de incubação de microcosmos, e a contagem foi maior em 5% de aplicação de biocarvão.

Tabela 6 – Quantificação de bactérias totais no solo nos intervalos 0, 30 dias e 60 dias de microcosmos submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão e em condição de vaso.

Tratamentos	Bactérias em condições de vaso (UFC x 10 ⁵ g ⁻¹ solo seco)		
	0 dias	30 dias	60 dias
Controle	3,25b	4,10b	11,60a
1%	3,95a	10,50a	5,75b
3%	9,12a	9,75a	5,42b
5%	3,50a	5,07b	12,45a
Bactérias totais in vitro (UFC x 10 ⁵ g ⁻¹ solo seco)			
Controle	7,00c	8,77b	11,70c
1%	7,60c	8,62b	10,75c
3%	8,25b	9,89b	23,25b
5%	11,55a	13,70a	27,50a

Letras minúsculas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. Unidade Formadora de Colônia (UFC).

Fonte: Autor

Para condições em vaso, os resultados revelaram que as doses aplicadas de biocarvão a 1% e 3% promoveram aumentos nos números de UFC por g⁻¹ solo seco para 30 dias, em relação ao controle (0 %), para 60 dias houve aumento à 5%.

A contagem de fungos revelaram que não houve aumentos nos números de UFC por g⁻¹ solo seco de fungos totais para condições *In vitro*, em relação ao controle 0% (Tabela 7), sendo possível nos intervalos de 3% e 5% para 30 dias e para 60 dias para os tratamentos 1%, 3%, 5%, sendo os fungos habitantes já presentes no solo, podendo agir de forma benéfica ou não, os fungos são tão quanto prejudiciais como benéficos à agricultura. Por uma parte prejudicam a colheita por causa das enfermidades que produzem nas plantações, enquanto por outra parte aumentam a fertilidade do solo por trocas que originam, que dão como resultado a produção de alimentos que são aproveitados pelas plantas verdes (DINIZ, 2011). Quando ocorre a aplicação de biocarvão, o aumento das populações dos microrganismos in vitro é visível. A microbiota do solo pode estar utilizando-se do biocarvão como fonte de energia uma vez que neste material tem uma fração de carbono lábil, mais micronutrientes que podem favorecer e permitir o aumento da população microbiana. Dessa forma, as populações microbianas com a adição de biocarvão são susceptíveis aos produtos resultantes da interação solo-biocarvão.

Quando ocorre a aplicação de biocarvão em condições de vaso para fungos é possível observar um aumento com doses de 1% e 3% aos 30 dias, para os 60 dias houve aumento apenas a quantidades maiores de biocarvão no tratamento 5%.

Tabela 7 – Quantificação de fungos totais no solo nos intervalos 0, 30 dias e 60 dias de microcosmos submetidas a tratamento com diferentes doses de biocarvão e em condição de vaso

Tratamentos	Fungos totais em condições de vaso (UFC x 10 ⁴ g ⁻¹ solo seco)		
	0 dias	30 dias	60 dias
Controle	1,51c	1,52c	6,67a
1%	3,95b	8,17a	1,75c
3%	8,05a	3,50b	1,90b
5%	3,50b	0,23c	7,30a
	Fungos totais em condição in vitro (UFC x 10 ⁴ g ⁻¹ solo seco)		
	0 dias	30 dias	60 dias
Controle	6,20a	5,72a	6,32a
1%	6,27a	5,45a	8,62a
3%	6,97a	6,37a	8,72a
5%	6,62a	6,42a	8,67a

Letras minúsculas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%. Unidade Formadora de Colônia (UFC).

Fonte: Autor

O biocarvão pode modificar as condições dos microrganismos do solo, incluindo fatores abióticos como carbono disponível, nutrientes, pH, capacidade de retenção de água e fatores bióticos, como habitats diferentes, podem levar a mudanças na estrutura da comunidade microbiana (MARTINS et al. 2021). De fato, (XU et al. 2016) observaram um aumento da microbiota nas maiores doses de biocarvão.

O aumento da microbiota no solo é desejável, uma vez que ela participa ativamente da degradação dos minerais presentes no solo (RAWAT et al. 2019). Os microrganismos fornecem micronutrientes e macronutrientes, elementos benéficos ao solo. Com crescimento para diferentes doses de biocarvão, tanto para bactérias totais e fungos totais, o biocarvão, obtido neste trabalho, mostrou ter efeito promissor para o crescimento de microrganismos.

4.3.4.1 Caracterização das análises de bactérias totais e fungos totais por Microscopia eletrônica de varredura MEV.

O conjunto de reações químicas que ocorre durante o processamento de pirólise do biocarvão eleva o grau de heterogeneidade química, que se estende à escala microscópica.

Quando se avalia o crescimento microbiano sobre o biocarvão, observou-se neste trabalho que independente da porcentagem acrescentada aos meios de cultura, ocorreu crescimento microbiano envolvendo as estruturas do material, inclusive ocupando os poros do material. Assim, é possível pressupor que o biocarvão, cria microambientes que fornecem um conjunto de características físicas únicas permitindo o desenvolvimento tanto de fungos quanto de bactérias em seu entorno, de forma mais expansiva, tornando este ambiente uma matriz que retem e favorece o crescimento de microrganismos (Figuras 4B, C, D e 5B, C, D) controle (Figuras 4A e 5A).

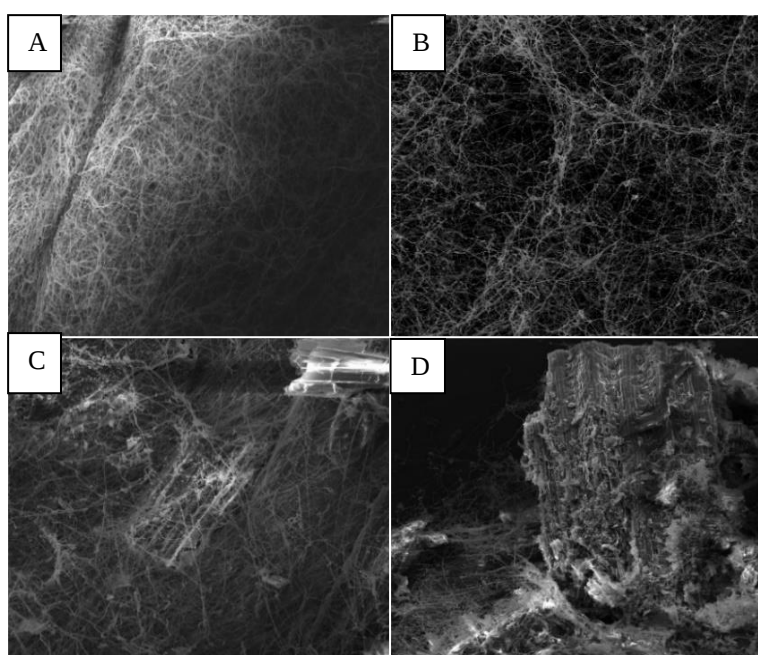


Figura 4 – Crescimento de fungos totais em biocarvão produzidos a partir de palha de cana de açúcar. (A) Biomassa *in natura*; (B) Biocarvão à 1%; (C) Biocarvão à 3%; (D) Biocarvão à 5%.

Fonte: Autor

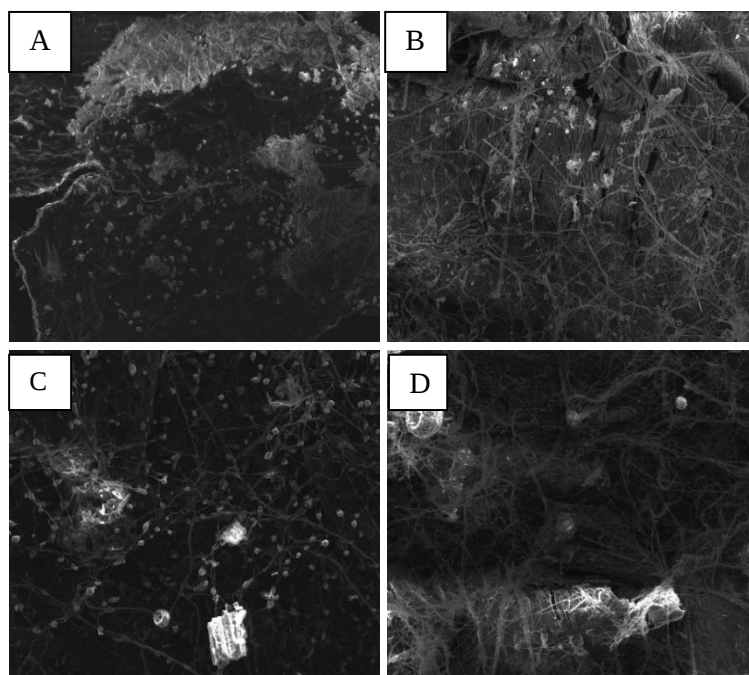


Figura 5 –Crescimento de bactérias totais em biocarvão produzido a partir de biomassa de palha de cana de açúcar. (A) Biomassa *in natura*; (B) Biocarvão à 1%; (C) Biocarvão à 3%; (D) Biocarvão à 5%

Fonte: Autor

4.3.5 Carbono de Biomassa Microbiana (CBM)

Dados referentes ao carbono de biomassa microbiana podem ser observados (Figura 6), nos quatros tratamentos ao longo de 0 dias, 30 dias e 60 dias de incubação *in vitro* e em condições de vaso. O CBM mostrou tendência há diminuir após a aplicação das diferentes concentrações de biocarvão 0%, 1%, 3% e 5%, comparado a 0 dias. Diversos resultados têm sido encontrados no CBM após adicionar biocarvão, sendo as diferenças geralmente relacionadas ao tipo de solo, taxas de aplicação do biocarvão e propriedades físico-químicas do biocarvão (KOLB et al., 2009; WARNOCK et al., 2010). Após 30 dias em condições de vaso e *in vitro*, mostraram concentrações inferiores ao controle 0% e aos 0 dias para ambos. Após 60 dias de incubação, o CBM se manteve abaixo ao inicial há 0 dias, para condições em vaso e *in vitro*; porém os tratamentos em condições *in vitro* 1% e 5% , aumentaram em relação ao controle 0% aos 60 dias, havendo um destaque para 1% estando este valor semelhante ao inicial 0 dias, podendo observar a taxa de carbono de biomassa microbiano teve um aumento significativo, nesta condição a quantidade de biocarvão menor obteve um melhor resultado. Já

para o experimento em condições de vaso aos 60 dias, houve diminuição do carbono de biomassa microbiana em todos os tratamentos avaliados quando comparado com o controle. O efeito da interação solo/biocarvão em microcosmos, correlacionando tempo e dosagem, os solos com biocarvão nos tempos 0, 30 e 60 dias tanto para *in vitro* quanto para condições de vaso mostram que aos 0 dias o carbono de biomassa foi semelhante para todos, aos 30 e 60 dias houve uma diminuição do carbono de biomassa microbiano.

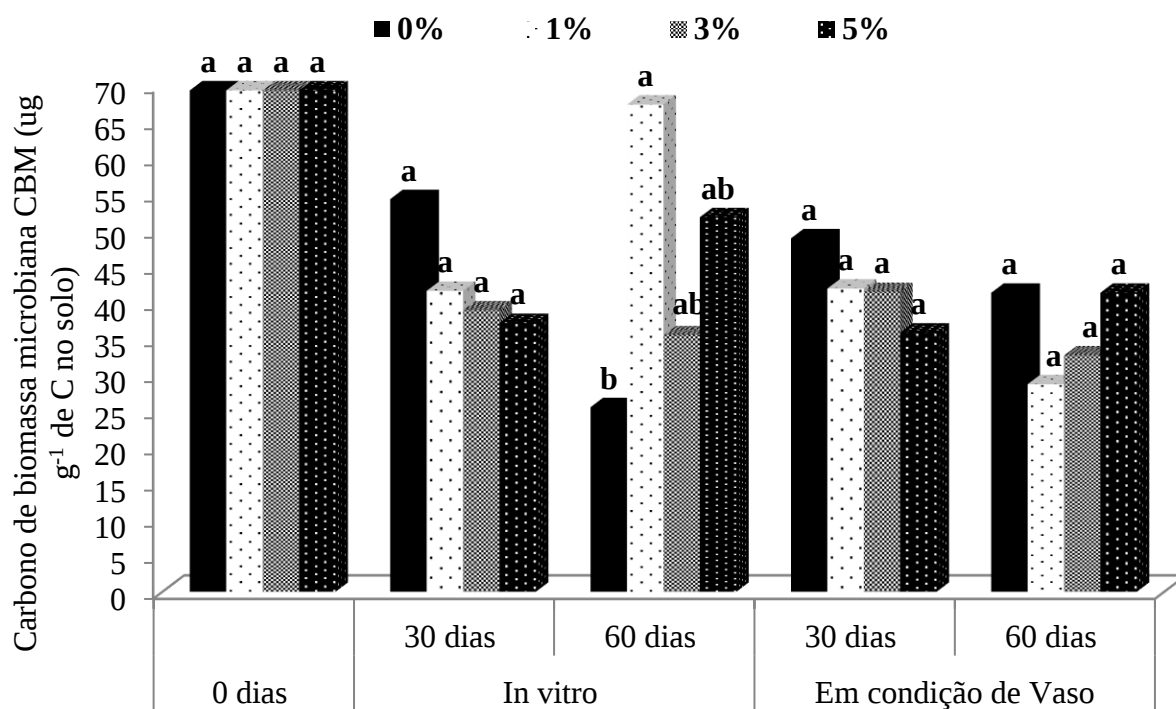


Figura 6 – Carbono da biomassa microbiana em função do tempo de avaliação do biocarvão e em condições *in vitro* e vasos.

Fonte: Autor

4.3.6 Atividade respiratória microbiana

As análises referentes a atividade respiratória ao longo de 7 semanas de experimento em microcosmos com tratamentos sem e com biocarvão estão na Figura 10. É possível notar que em todos os tratamentos (1%, 3% e 5%) estes apresentam níveis de atividade respiratória maior do que ao controle após a segunda semana, que foram matidos elevados até a quarta semana. Destaca-se a dose de 5% de biocarvão, na qual foram observados os maiores valores de atividade respiratória os picos altos entre a terceira e quarta semana (30 dias de experimento) ocorreram em valores da ordem de 36 mg C-CO₂ g S⁻¹ e 35 mg C-CO₂ g S⁻¹, respectivamente.

Após este período observou-se decréscimo, ainda assim mantendo sua atividade respiratória em todo período de experimento maior do que a observada na primeira semana em todos os tratamentos com aplicação de biocarvão, exceto o 1% a partir da 6ª e 7ª semana. Assim, é possível afirmar que a aplicação de biocarvão estimula a atividade respiratória. O acúmulo de CO₂ em relação ao controle (Figura 7) é similar há diversos estudos, dentre eles, ao qual o experimento com biocarvão apresentou a taxas de atividade respiratória maiores comparado ao controle durante as 7 semanas de experimento. Comportamento também evidenciado no trabalho de Araújo et al. (2003) e De Souza (1999), havendo também acúmulo de CO₂ em microcosmos. Os resultados obtidos indicam que a microbiota do solo foi capaz de utilizar o biocarvão como fonte de carbono e que há influência quanto a porcentagem de biocarvão aplicada. Ressalta-se que ao longo de todo o experimento a temperatura foi mantida em de 30 °C.

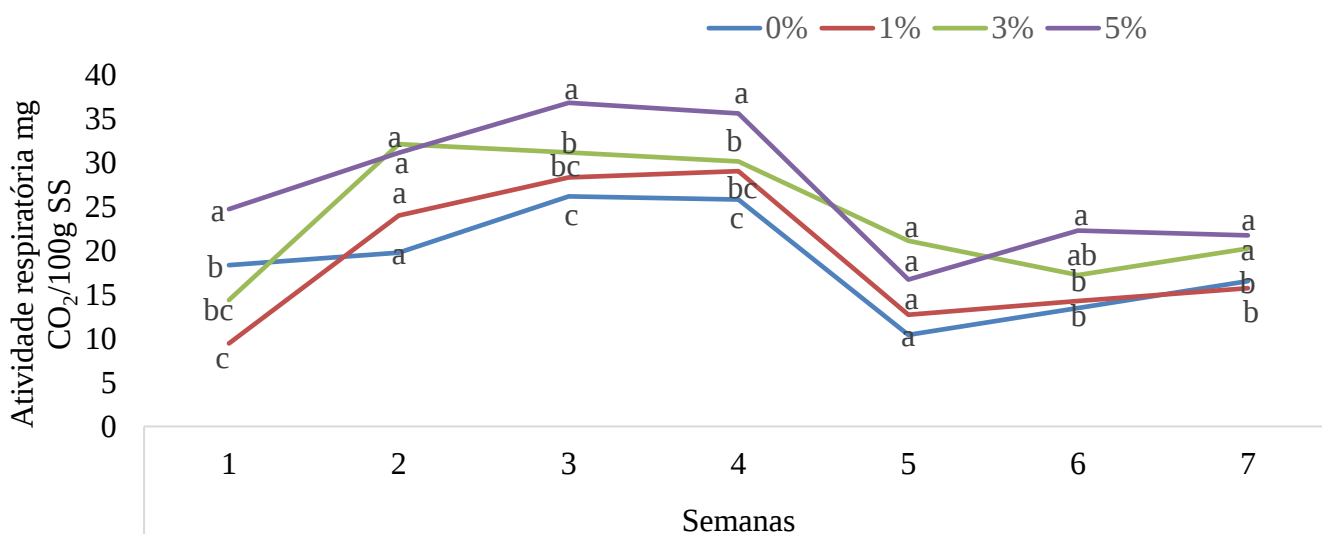


Figura 7 – Atividade respiratória microbiana nos 4 tratamentos ao longo de 7 semanas
Fonte: Autor

4.3.7 Atividade Enzimática da Desidrogenase (AED)

As desidrogenases são enzimas intracelulares produzidas por microrganismos vivos que indicam a capacidade oxidativa da microbiota e desempenha papel importante na degradação da matéria orgânica (DICK, 1997). Os resultados da análise de AED ao longo de 30 e 60 dias nos quatro tratamentos, tanto para in vitro quanto para condições de vaso são apresentadas na

(Figura 8). No tempo zero, a AED foi igual em todos os tratamentos e menor do que as medidas *in vitro* e em condições de vaso nos 30 e 60 dias. Após 30 dias tanto para *in vitro* quanto para condições de vaso, houve elevação da atividade de desidrogenase, mostrando que a quantidade de biocarvão interferiu na atividade desidrogenase. Aos 30 e 60 dias *in vitro* e em condições de vaso todos os tratamentos foram superiores há 0 dias, obtendo resultados positivos. Aos 30 dias *in vitro* houve maior atividade nostratamentos 3% e 5%, com 60 dias a AED foi maior com 1%, e inferior ao controle nas doses de 3 e 5%. Em condições de vaso aos 30 dias todos os tratamentos mantiveram-se maiores do que o controle, com a AED maior aos 5%. Com 60 dias não houve diferença estatística entre 3% e 5%, e em 1% os valores foram inferiores ao controle. Assim é possível afirmar que o biocarvão estimula a atividade de desidrogenase nos primeiros 30 dias de aplicação biocarvão quando em condição vaso independente da dose aplicada.

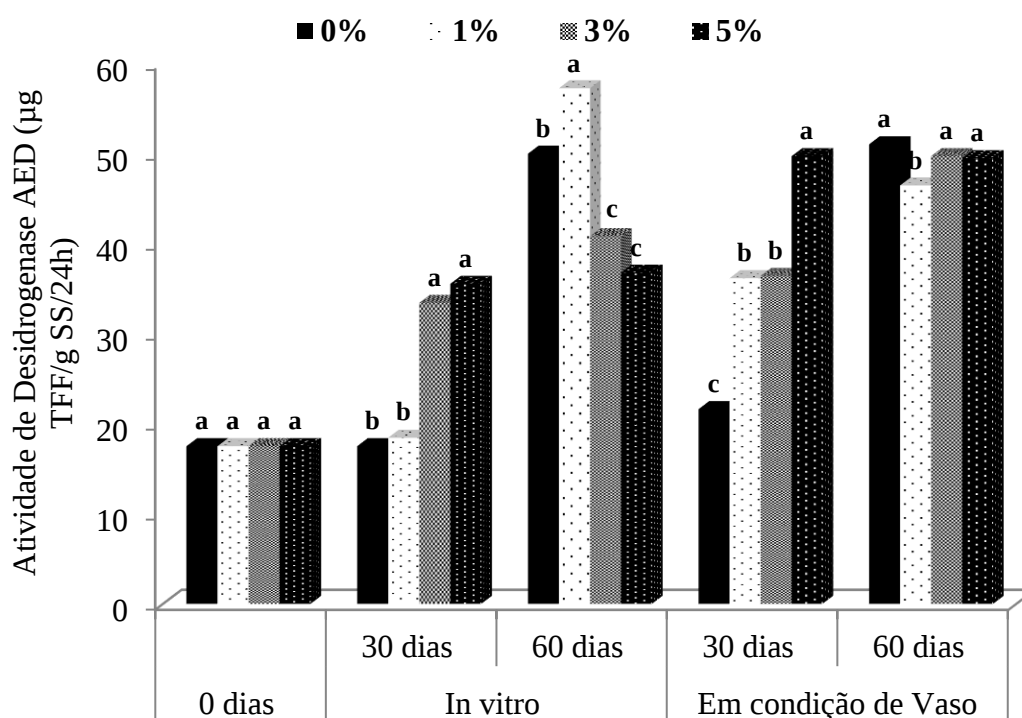


Figura 8 – Atividade enzimática da desidrogenase em função do tempo de avaliação do biocarvão
Fonte: Autor

A aplicação de biocarvão influenciou atividade de desidrogenase. As atividades enzimáticas da desidrogenases ocorrem em todas as células microbianas, e sua mensuração está relacionada à capacidade oxidativa de microrganismos e consequente oxidação da matéria orgânica. (OGBOLOSINGHA et al. 2015).

4.4 CONCLUSÃO

Observou-se que o biocarvão produzido a partir da palha de cana-de-açúcar pelo processo de pirólise, aplicado no solo fornece características físicas (porosidade) e químicas (nutrientes), que funcionaram com uma matriz de crescimento tanto de bactérias quanto de fungos;

O uso do biocarvão nas proporções 1%, 3% e 5% produzido, contribui para retenção de água no solo;

O biocarvão contribuiu com desenvolvimento de raiz em das mudas de cana-de-açúcar aos 60 dias, estimulou o desenvolvimento da comunidade microbiana em solos argilosos quando aplicado a 5% melhorando as atividades biológicas de respiração microbiana e atividade enzimática de desidrogenase.

REFERÊNCIAS

ABIVEN, S., A. HUND, V. MARTINSEN., G. CORNELISSEN. 2015. Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: A shovelomics study in zambia. **Plant and Soil** 395(1): 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2533-2>.

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 7-8, p. 943-951, 2001.

AMONETTE, J. E.; JOSEPH, S. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. In: LEHMANN, J. e JOSEPH, S. (Ed.). *Biochar for environmental managment: science and technology*. 1st. Washington, DC: Earthscan, 2009. cap. 3.

ANDRADE, Rafael de Paiva. **Adubação foliar com micronutrientes em cana-planta.2021**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônômico, Campinas, 2021.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient from CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 25, p. 393-395, 1993.

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W.G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66).

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. **Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils**. Chemosphere, Oxford, v. 52, p. 799-804, 2003.

ARAÚJO, A. S. F., MONTEIRO R. T. R. **Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo**. Biosci. J., Uberlândia; 2007. v. 23, n. 3, p. 66-75.

BARBOSA, JC., MALDONADO, JUNIOR, W. 2015. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396p.

BARNARD R.L., OSBORNE CA., FIRESTONE M.K. 2013. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. **Isme Journal** 7: 2229–2241. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.104>.

BIEDERMAN LA, HARPOLE WS. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **Global Change Biology Bioenergy** 5: 202–214.

BREMNER, J. M. Total Nitrogen. Methods of soil analysis Part 2- Chemical and Microbiological Properties, number 9 in the series Agronomy. **American Society of Agronomy**, Inc., Publisher USA, p.1149-1178, 1965.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOK, C. M. **Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 2, Apr. 2000.

BREWER, C. E.; UNGER, R.; SCHMIDT-ROHR, K.; BROWN, R. C. Criteria to Select Biochars for Field Studies based on Biochar Chemical Properties. **Bio Energy Research**, v. 4, p. 312–323, 2011.

BROCKETT B.F.T., PRESCOTT C.E., GRAYSTON S.J. 2012. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. **Soil Biology & Biochemistry** 44: 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.09.003>.

PINTO, Bruna Cristina; ALVES, Adriana Barboza; FERREIRA, Osania Emerenciano; COSTA, Gustavo Henrique Gravatim; OLIVEIRA, Magno André de; BEZERRA, Augusto Cesar da Silva; MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira. Biochar influences the cane fields' microbiota and the development of pre-sprouted sugarcane seedlings. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 75-88, 4 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42768-022-00129-9>.

BUSS, Wolfram; GRAHAM, Margaret C.; SHEPHERD, Jessica G.; MAŁEK, Ondřej. Suitability of marginal biomass-derived biochars for soil amendment. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 547, p. 314-322, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.148>.

CASIDA, L. E., JR., D. A. KLEIN, AND T. SANTORO. 1964. **Soil dehydrogenase activity**. Soil Sci. 98:371-376.

CASTELLINI, M., GIGLIO, L., NIEDDA, M., PALUMBO, A.D., VENTRELLA, D., 2015. **Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil.** Soil Tillage Res. 154, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.016>.

CARBONELL, G., PABLOS, M. V., GARCÍA, P., RAMOS, C., SÁNCHEZ, P., FERNÁNDEZ, C. AND TARAZONA, J. V. 2000. **Rapid and cost-effective multiparameter toxicity tests for soil microorganisms.** Sci. Total Environ. 247: 143–150.

CAVAGNARO T.R. 2016. Soil moisture legacy effects: impacts on soil nutrients, plants and mycorrhizal responsiveness. **Soil Biology & Biochemistry** 95: 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.016>.

CERNOHLÁVKOVÁ J1, JARKOVSKÝ J, NESPOROVÁ M, HOFMAN J. Variability of soil microbial properties: effects of sampling, **handling and storage.** *Ecotoxicol Environ Saf.* 2009. v;72(8):2102-8. doi: 10.1016/j.ecoenv.2009.04.023.

CHOI D., MAKOTO K., QUORESHI A.M., QU L.Y. 2009. Seed germination and seedling physiology of *Larix kaempferi* and *Pinus densiflora* in seedbeds with charcoal and elevated CO₂. **Landsc Ecol Eng** 5:107–113. <https://doi.org/10.1007/s11355-009-0072-9>.

CLÉMENT, B., DELHAYE, H. & TRIFFAULT-BOUCHET, G., 2014. Comparison of laboratory batch and flow-through microcosm bioassays. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Volume 108, pp. 217-223.

CONAB, **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2015/16**; Relatório Técnico. Brasília, 2022.

CROFT, H.; CHEN, JM Conteúdo de pigmentos nas folhas. **Em Módulo de Referência em Sistemas Terrestres e Ciências Ambientais**; Elsevier Inc.: Oxford, Reino Unido, 2017; p.1–22.

DE ARAÚJO, A.S.F. Biodegradação de glifosato em dois solos brasileiros. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, 2003.

DE SOUZA, A. Respiração microbiana do solo sob doses de glyphosate e de imazapyr. *Planta Daninha*, v. 1, n. 3, p. 387-398, 1999.

DE TENDERE CA., DEBODE J., VANDECASTEELE B., D'HOSE T., CREMELIE P., HAEGEMAN A., RUTTINK T., DAWYNDT P., MAES M. 2016. Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. **Applied Soil Ecology** 107: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.001>.

DIAS, SHAON KUMAR., GHOSH, GOUTAM KUMAR., AVASTHE, RAVIKANT. 2020. Ecotoxicological responses of weed biochar on seed germination and seedling growth in acidic soil. **Environmental Technology & Innovation**, [S.L.], v. 20, p. 101074, nov. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2020.101074>.

DICK RP. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst BM,

Doube BM, Gupta VVSR, editors. **Biological indicators of soil health**. Wallingford: CAB International; 1997. v.6. p.121-56.

DINIZ, B. L. M. T. Agroecologia e Agricultura orgânica. **João Pessoa. UFPB**, 2011.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. Em: Methods for assessing soil quality. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, pp. 25-37.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 1v.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**/Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro; 1997. 212 p.: il. (EMBRAPA - CNPS. Documentos; 1).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 1v.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 1v.

EMBRAPA. MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar**: uma introdução ao procedimento prático / Anderson Carlos Marafon. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). Disponível em http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf.

ETICHA, D. et al. Nutrição de cálcio da laranja e seu impacto no crescimento, absorção de nutrientes e parede celular foliar. **Pesquisa e tecnologia de citros**, v.38, n.1, pp.62-70, 2017. Disponível em: Acesso: out. 01, 2022. doi:10.4322/crt. ICC 096.

EPELDE L, BURGESS A, MIJANGOS I, GARBISU C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**. 2014.v. 75, p.1-12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.10.003>.

FERNANDEZ M., LEDESMA B., ROMÁN S., BONELLI P.R., CUKIERMAN A.L. Development and characterization of activated hydrochars from orange peels as potential adsorbents for emerging organic contaminants. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 183, p. 221-228, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.035>

FERNANDO, A. F. B. Fe (III) como aceptor de elétrons na biodegradação de gasolina-etanol em solo tropical residual. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GARCÍA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 26, p. 1185-1191, 1994.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. Soil Sci.*, 74:367-375, 1994.

HANKE, D., NASCIMENTO, S.G.S., DICK, D.P., ÁVILA, M.R., PILLON, C.N., SANTOS, D.C. (2022). Produção e caracterização de biocarvão a partir de diferentes fontes de biomassa vegetal: **aproveitamento de resíduos arbóreos e agrícolas sem destinação apropriada**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.10, n.2, p.58-77.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I.; Biomass power generation: **Sugar cane bagasse and trash**, 1a. ed., Published by Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Centro de Tecnologia Canavieira: Piracicaba, Brazil, 2005 disponível em : Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash | GEF (thegef.org), acesso em: 04 de novembro de 202.

HOU, W. et al. Efeitos interativos de nitrogênio e potássio na fotossíntese e alocação fotossintética de nitrogênio em folhas de arroz. **BMC biologia vegetal**, v. 19, n.1, pp. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1894-8> Acesso: out. 01, 2022. doi: 10.1186/s12870-019-1894-8.

HUANG, M., L. YANG, H., QIN, L. JIANG and Y. Zou. 2013. Quantifying the effect of biochar amendment on soil quality and crop productivity in Chinese rice paddies. **Field Crops Research** 154: 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.010>.

IBGE. **Manual Técnico De Pedologia**. 3. ed.--. IBGE, 20152.

JAISWAL AK, FRENKEL O, ELAD Y, LEW B, GRABER ER. 2015. Non-monotonic influence of biochar dose on bean seedling growth and susceptibility to *Rhizoctonia solani*: the “**Shifted Rmax-Effect**”. *Plant and Soil* 395: 125–140.

JAISWAL A.K., ELAD Y., PAUDEL I., GRABER E.R., CYTRYN E., FRENKEL O. 2017. Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soilborne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. **Scientific Reports**, 7: 44382. <https://doi.org/10.1038/srep44382>.

JAISWAL, AMIT K., ELAD, YIGAL., CYTRYN, EDDIE., GRABER, ELLEN R., FRENKEL, OMER. 2018. Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning. **New Phytologist**, [S.L.], v. 219, n. 1, p. 363-377, 8 fev. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.15042>.

JEFFERY S, ABALOS D, SPOKAS KA, VERHEIJEN FG. 2015. Biochar effects on crop yield. In: Lehmann J, Joseph S, eds. *Biochar for environmental management: science and technology*. London, UK: Earthscan Books Ltd, 301–325.

JEFFERY S, ABALOS D, PRODANA M, BASTOS AC, VAN GROENIGEN JW, HUNGATE BA, VERHEIJEN F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. **Environmental Research Letters** 12: 053001.

JENKINSON, D.s.; POWLSON, D.s.. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. **Soil Biology And Biochemistry**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 209-213, jan. 1976. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5).

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. Use of the Coleman model 29 A analyser for total nitrogen analysis of soils. **Soil Science**, v.104 (5), p. 358-363, 1967.

KOLB, S. E.; FERMANICH, K. J.; DORNBUSH, M. E. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 4, p. 1173-1181, 2009.

LAIRD, D. A. 2008. The charcoal vision: a win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. **Agronomy Journal**, 100, 178–181. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0161>.

LEHMANN, J., RILLIG, M. C., THIES, J., MASIELLO, C. A., HOCKADAY, W. C., CROWLEY, D. 2011. Biochar effects on soil biota: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v. 43, n. 9, p. 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.

LIRA, J. F. B. et al. **Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da Chapada do Apodi-RN**. Natal, RN, 2015.

LOWERY, B., 1996. Soil water parameters and soil quality. Em: Methods for assessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, pp. 143-155.

LUO, X., WANG, Z., MEKI, K. et al. **Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth**. *J Soils Sediments* **19**, 3934–3944 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02365-9>.

MACHADO, Pedro L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 329-334, mar. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000200026>.

MALAVOLTA, E. ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev., e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.: il. Color. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087253/1/Pt1Cap2Umidadeatual.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2023.

MARSHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press inc., 1995.

MARQUES C. A., SILVA D. A. APRESENTAÇÃO, M. de J. F. de.; NAKASHIMA, G. T.; YAMAJI, F. M. Biochar production with sugarcane straw (*Saccharum* sp.). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e31211124675, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24675. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24675>. Acesso em: 30 apr. 2022.

MARTIN, J.P. 1950. Use of acid, rose bengal, and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. **Soil Science**, v.69, p.215-232.

MARTINS FILHO A.P., MEDEIROS E.V., LIMA J.R.S., COSTA D.P.D., DUDA G.P., SILVA J.S.A.D., OLIVEIRA J.B, ANTONINO A.C.D., MENEZES R.S.C., HAMMECKER C. 2021. Impact of coffee biochar on carbon, microbial biomass and enzyme activities of a sandy soil cultivated with bean. **An Acad Bras Cienc**. Sep 3;93(4): e20200096. doi:10.1590/00013765202120200096.

MATHESON, F., 2008. **Microcosm. Encyclopedia of Ecology**, pp. 2393-2397.

MANZONI S., SCHIMEL J.P., PORPORATO A. 2012. Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. **Ecology** 93: 930–938. <https://doi.org/10.1890/11-0026.1>.

MIRANDA, N. O. et al. **Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da chapada do Apodi-RN**. São Cristóvão, SE, 2015.

MIRSAL, I.A. Soill Polution: Origin, **Monitoring&Remediation**. Springer-Verlag BerlinHeidelberg, 2 ed. Dillenburg, German, 2008.

MONQUERO, P.A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: **situação e perspectivas**. Bragantia, v. 64, n. 4, 2005.

MOREIRA A. C. C. A.; ROSÁRIO F. MELO C. L.; BRESSAN L. W.; LANDULFO E.; 122 NAKAEMA. W. M.; OLIVA A.; KIANG C. H.; PEDROTTI E. L.; LAZZARIN H. S. C **Implantação do primeiro laboratório de campo no Brasil para condução de experimentos de liberação controlada de CO2 e avaliação de técnicas de MMV**. In: 2º Congresso Brasileiro de CO2 na Indústria de Petróleo, Gás e Biocombustíveis: 2013, Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP (Anais ...). Rio de Janeiro: abril, 2013, p. 1-10.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOSAIC, R. Macronutrientes secundários: **entenda o papel deles na lavoura- Nutrição de Safras**. 2019b. Disponível em: <<https://nutricaodesafras.com.br/macronutrientes-secundarios-no-solo-e-suas-disponibilidades>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

MUKHERJEE, A and ZIMMERMAN AR. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma** 193: 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>.

OGBOLOSINGHA, A., ESSIEN, E.; OHIRI, R. (2015). Variation of lipase, catalase and dehydrogenase activities during bioremediation of crude oil polluted soil. **J Environ Earth Sci** 5, 128-141.

OLSEN, R.A., BAKKEN, L.R. 1987. Viability of soil bacteria: optimization of plate counting technique and comparison between total counts and plate counts within different size groups. **Microbial Ecology**, v.13, p.59-74, <https://doi.org/10.1007/BF02014963>.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Diagnose foliar. In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.) **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p.125-152.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. (Eds.) **Soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1996. 340 p.

PENG, H.-H., Q. LIU, X.-M. RONG, Y.-P. ZHANG, C. TIAN, AND Y. Xie. 2015. Effects of biochar, organic fertilizer and chemical fertilizer combined application on nutrient utilization and yield of spring maize. *Journal of Southern Agriculture*, **Jiangsu Agricultural Sciences** 44(7): 132–135. ISSN: 2095-1191. Disponível em: <<http://www.nfnxyb.com/EN/Default.aspx>>. Acesso em 20 de jun. de 2022.

RAJKOVICH S, ENDERS A, HANLEY K, HYLAND C, ZIMMERMAN AR, LEHMANN J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils** 48: 271–284.

RAWAT J., SAXENA, J and SANWAL P. 2019. Biochar: A Sustainable Approach for Improving Plant Growth and Soil Properties. In **Biochar-An Imperative Amendment for Soil and the Environment**. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82151>.

REYES, O., CASAL M. 2006. Seed germination of *Quercus robur*, *Q. pyrenaea* and *Q. ilex* and the effects of smoke, heat, ash and charcoal. **Ann Forest Sci** 63:205–212. <https://doi.org/10.1051/forest:2005112>.

RAZAQ, M., SHEN, H., SHER, HL, SHER, H., ZHANG, P., 2017. Influência do biocarvão e nitrogênio na morfologia, fisiologia e química das raízes finas de acer mono. *Sci. Rep.* 7 (1), 5367.

ROGOVSKA N, LAIRD D, LEANDRO L, ALLER D. 2017. Biochar effect on severity of soybean root disease caused by *Fusarium virguliforme*. **Plant and Soil** 413: 111– 126.

SANTOS, R. D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 2013. 100 p.

SHARMA, R. K. *et al.* Characterization of chars from pyrolysis of lignin. *Fuel*, v. 83, p. 1469–1482, 2004.

SAXENA, J., RANA, G and PANDEY, M. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of French beans. **Scie Horticult**, 162: 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.002>.

SCHWARTZ, W.. T. R. G. Gray and J. R. Postgate (Editors), *The Survival of Vegetative Microbes* (26th Sympos. Soc. General Microbiol.). X, 432 S., 51 Abb., 18 Tab., 2 Tafeln.

Cambridge-London-New York-Melbourne 1976: cambridge university press. £ 12.00. **Zeitschrift Für Allgemeine Mikrobiologie**, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 414-414, 1977. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jobm.19770170517>.

SINGH B. & M.M, DOLK & SHEN, QINHUA & CAMPS ARBESTAIN, MARTA. (2017). Chapter 3. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential.

SPOKAS KA, CANTRELL KB, NOVAK JM, ARCHER DW, IPPOLITO JA, COLLINS HP, BOATENG AA, LIMA IM, LAMB MC, MCALOON AJ ET AL. 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of Environmental Quality** 41: 973–989.

SORHEIM, R., TORSVIK, V.L., GOKSOYR, J. 1989. Phenotypical divergences between populations of soil bacteria isolated on different media. **Microbial Ecology**, v.17, p.181-192, 1989. <https://doi.org/10.1007/BF02011852>.

SPOKAS, K. A. 2010. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. **Carbon Mang.**, 1(2), 289–303. <https://doi.org/10.4155/cmt.10.32>.

STEINBEISS, S., GLEIXNER, G., ANTONIETTI, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Elsevier**, 41: 1301-1310. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.016>

STEFFEN, G.P.K.; STEFFEN, R.B.; ANTONIOLLI, Z.I. **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos**. Tecno-lógica, v. 15, n. 1, p. 15-21, 2011.

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.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev., e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. il. color.

TIAN, Y.H., FENG Y.L., LIU, C. 2007. Addition of activated charcoal to soil after clearing Ageratina adenophora stimulates growth of forbs and grasses in China. **Tropical Grasslands** 41:285–291. ISSN: 0049-4763.

TORSVIK, R. S., GOKSOYR, J. 1989. Total bacterial diversity in soil and sediment communities—A review, **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Volume 17, Issue 3-4, 1 September, Pages 170–178, <https://doi.org/10.1007/BF01574690>.

VIGER M, HANCOCK RD, MIGLIETTA F, TAYLOR G. 2014. More plant growth but less plant defence? First global gene expression data for plants grown in soil amended with biochar. **GCB Bioenergy** 7: 658–672.

VISIOLI, G., CONTI, F.D., MENTA, C. *et al.* 2016. Assessing biochar ecotoxicology for soil amendment by root phytotoxicity bioassays. **Environ Monit Assess**, 188-166

<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5173-y>.

YASUHARA, T.; NOKIHARA, K. High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.49, p.4581-4583, 2001.

YU, K. & RINKLEBE, J., 2011. Advancement in soil microcosm apparatus for biogeochemical research. **Ecological Engineering**, Volume 37, pp. 2071-2075.

YANG, Liu; LIAO, Fen; HUANG, Min; YANG, Litao; LI, Yangrui. 2014. Biochar Improves Sugarcane Seedling Root and Soil Properties Under a Pot Experiment. **Sugar Tech**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 36-40, 14 out Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-014-0335-0>.

WANG, Y. Tillage, residue burning and crop rotation alter soil fungal community and waterstable aggregation in arable fields. *Soil and Tillage Research*, v. 107, n. 2, p. 71- 79, 2010.

WARNOCK, D. D.; MUMMEY, D. L.; MCBRIDGE, B.; MAJOR, J.; LEHMANN, J.; RILLING, M. R. Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth-chamber and field experiments. *Applied Soil Ecology*, Elsevier, Amsterdam, v. 46, n. 3, p. 450-456, 2010.

WINTER, Julien P.; ZHANG, Zhiyuan; TENUTA, Mario; VORONEY, R. Paul. Measurement of Microbial Biomass by Fumigation-Extraction in Soil Stored Frozen. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 58, n. 6, p. 1645, 1994. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800060010x>.

WOLÍŃSKA, A.; STEPNIEWSKA, Z. Dehydrogenase activity in the soil environment. In: CANUTO R.A. Dehydrogenases. 1. ed. Intech: Rijeka, 2012. cap. 8, p. 183- 210.

XU, N., TAN, G., WANG, H and GAI, X. 2016. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass, and bacterial community structure. **Europ J Soil Biol** 74: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.02.004>.

YANG, Liu; LIAO, Fen; HUANG, Min; YANG, Litao; LI, Yangrui. 2014. Biochar Improves Sugarcane Seedling Root and Soil Properties Under a Pot Experiment. **Sugar Tech**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 36-40, 14 out Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-014-0335-0>.

ZHANG, K., WANG, Y., MAO, J., CHEN, B., 2019. **Efeitos de nanopartículas de biocarvão na germinação de sementes e crescimento de mudas**. Ambiente. Poluir. 113409. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113409>.

ZHANG, Ning; HE, Xing-Dong; GAO, Yu-Bao; LI, Yong-Hong; WANG, Hai-Tao; MA, Di; ZHANG, Rui; YANG, S.. Pedogenic Carbonate and Soil Dehydrogenase Activity in Response to Soil Organic Matter in *Artemisia ordosica* Community. **Pedosphere**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 229-235, abr. 2010. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(10\)60010-0](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(10)60010-0).

ZHANG, Q.Z., DIJKSTRA, F.A., LIU, X.R., WANG, Y.D., HUANG, J and LU, N. 2014. Effects of biochar on soil microbial biomass after four years of consecutive application in the north China plain. **Plos One**, July 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102062>.

ZHU, Q.H., PENG, X.-H., HUANG, T.-Q., XIE, Z.-B., and HOLDEN, N.M. 2014. Effect of biochar addition on maize growth and nitrogen use efficiency in acidic red soils. **Pedosphere** 24(6): 699–708. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60057-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60057-6).

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo produzir um condicionante (biocarvão), utilizando palha de cana, caracterizar o material obtido, características físicas, químicas, microbiológicas, microscópicas, fitotoxicidade, e sistema de microcosmo, influência na microbiota do solo *in vitro* e condições de vaso.

A palha de cana como matéria prima para produção de biocarvão possibilitou a obtenção de rendimentos da ordem de 40%, estando este superior ao aceitável, boa área superficial relacionada com a absorção de nutrientes, presença de microporos e mesoporos que podem fornecer habitat para os microrganismos. O biocarvão apresentou um pH de 9,10 sendo este alcalino, podendo ser utilizado para correções de solos ácidos, quanto as análises de toxicidade, não houve fitotoxicidade perante soja e milho nas proporções de 1, 3 e 5%, já para algodão mostrou-se sensível, sendo necessários ajustes nas dosagens para esta cultura.

O biocarvão quando aplicado no solo mostrou melhorar a capacidade de retenção de água nas três dosagens avaliadas (1%, 3% e 5%). Este teve efeito favorável para as características microbiológicas, isto se deve à estrutura porosa tornando um habitat propício para proliferação de microrganismos, mostrando ser benéfico. Nas condições experimentais biocarvão-solo-planta mostra que o biocarvão produzido através da palha de cana-de-açúcar obteve resultados promissores obteve resultados promissores para o desenvolvimento de raiz em mudas da cana-de-açúcar. O biocarvão estimulou o desenvolvimento da comunidade microbiana em solos argilosos, melhorando as atividades biológicas de respiração microbiana e atividade enzimática de desidrogenase.

Os experimentos iniciais foram promissores, seria importante a avaliação em campo para ter um panorama mais claro sobre o potencial do biocarvão produzido a partir da palha de cana-de-açúcar, servindo esse estudo como uma avaliação preliminar para trabalhos posterior