USO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA MELHORIA DE ATRIBUTOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO DO BIOMA AMAZÔNICO.

ANDRÉ GRECCO CARVALHO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estado do Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2023

ANDRÉ GRECCO CARVALHO

USO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA MELHORIA DE ATRIBUTOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO DO BIOMA AMAZÔNICO.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estado do Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profª Drª Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Coorientadores: Prof. Dr. Antônio Carlos Saraiva Costa
Prof. Dr. Ivan Granneman de Souza Júnior

CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2023

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

CARVALHO, André Grecco.
C331u Uso de Biochar de Casca de Cupuaçu na Melhoria de Atributos de um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico do Bioma Amazônico. / André Grecco Carvalho – Cáceres, 2023.
102 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Tese/Doutorado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Doutorado) Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrárias e Biológicas, Câmpus de Cáceres, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2023.
Orientador: Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Coorientador: Antônio Carlos Saraiva Costa; Ivan Granneman de Souza Júnior

1. Fertilidade do Solo. 2. Biocarvão. 3. Resíduos Agroindustriais. 4. Agricultura de Base Ecológica. 5. Potássio. I. André Grecco Carvalho. II. Uso de Biochar de Casca de Cupuaçu na Melhoria de Atributos de um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico do Bioma Amazônico.: .
CDU 631.452

ANDRÉ GRECCO CARVALHO

USO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA MELHORIA DE ATRIBUTOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO DO BIOMA AMAZÔNICO.

Essa tese foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Cáceres, 14 de abril de 2023.

Banca examinadora

_____

Profa. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA
(Orientadora)

_____

Prof. Dr. Sandro Benedito Sguarezi
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA
(Examinador interno)

_____

Prof. Dr. Wilkinson Lopes Lázaro
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA
(Examinador interno)

_____

Prof. Dr. Juberto Babilônia de Souza
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
Programa de Pós Graduação em Geografia-PPGGEO
(Examinador externo)

_____

Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Universidade Federal do Rencôcavo da Bahia-UFRB
Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas
(Examinador externo)

_____

Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Universidade de Cuiabá-UNIC
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA
(Examinador externo)

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS 6
LISTA DE TABELA 8
RESUMO GERAL 9
ABSTRACT 10
INTRODUÇÃO GERAL 11
REFERÊNCIAS 12
CAPÍTULO 1 REFERENCIAL TEÓRICO 13
1 CUPUAÇU, CUPUAÇUAZEIRO E IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA 13
2 BIOCHAR 14
2.1 EFEITOS DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR NO SOLO 15
2.1.1 Matéria orgânica do solo 15
2.1.2 pH do solo 16
2.1.3 Capacidade de troca de cátions 17
2.1.4 Nutrientes 17
2.1.5 Microbiota do solo 19
3 ASSOCIAÇÃO DO BIOCHAR COM OUTROS CONDICIONADORES ORGÂNICOS DE SOLO 20
4 HIPÓTESE DA PESQUISA 22
5 OBJETIVOS 22
5.1 OBJETIVO GERAL 22
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 22
6 REFERÊNCIAS 23
CAPÍTULO 2 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CASCA DE CUPUAÇU NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UMA ANÁLISE A PARTIR DE TRABALHOS CIENTÍFICOS 30
RESUMO 30
ABSTRACT 30
1 INTRODUÇÃO 30
2 METODOLOGIA 32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
4 CONCLUSÕES 42
5 REFERÊNCIAS 42
CAPÍTULO 3 EFEITO DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DA ALFACE 46

RESUMO 46
ABSTRACT 46
1 INTRODUÇÃO 47
2 MATERIAL E MÉTODOS 48
2.1 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO BÁSICA DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU 48
2.2 SOLO COLETADO E PROPRIEDADES QUÍMICAS BÁSICAS 49
2.3 EXPERIMENTO EM VASOS 50
2.4 ABORDAGEM ESTATÍSTICA 50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU 51
3.2 EFEITOS DOS TRATAMENTOS COM BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO 52
3.3 EFEITOS DO TRATAMENTO COM BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU NO CRESCIMENTO DA ALFACE 57
4.4 CONCLUSÕES 59
4.5 REFERÊNCIAS 59
CAPÍTULO 4 CONSTRUÇÃO DE UM FORNO PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CSCA DE CUPUAÇU PARA AGRICULTORES DE BASE AGROECOLÓGICA: O CASO DO GRUPO BEM-VIVER EM CACOAL-RO 62
RESUMO 62
ABSTRACT 62
1 INTRODUÇÃO 63
2 MATERIAL E MÉTODOS 65
2.1 CONSTRUINDO O FORNO MULTIPROPÓSITO BASEADO NA TECNOLOGIA DE FORNOS FOGUETES 65
2.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA COMUNIDADE GRUPO BEM VIVER 69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 72
5.5 CONCLUSÕES 74
5.6 REFERÊNCIAS 75
CAPÍTULO 5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO COM APLICAÇÃO DE BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU ASSOCIADO A TÉCNICAS ORGÂNICAS UTILIZADAS PELO GRUPO BEM VIVER EM CACOAL-RO 77
RESUMO 77
ABSTRACT 77
1 INTRODUÇÃO 78

2 MATERIAL E MÉTODOS 79
2.1 PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU, BIOFERTILIZANTE E VERMICOMPOSTO 79
2.2 EXPERIMENTO EM CAMPO E APLICAÇÕES DO BIOCHAR, DO BIOFERTILIZANTE E VERMICOMPOSTO 81
2.3 PREPARO DOS CANTEIROS COM OS ADUBOS ORGÂNICOS, TRANSPLANTIO E PERÍODO DE CULTIVO DE HORTALIÇAS 82
2.4 ANÁLISE DE SOLOS 84
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
3.1 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DURANTE OS CULTIVOS. 85
3.2 O BCC NO CONTEXTO DE TÉCNICAS ORGÂNICAS UTILIZADAS PELO GRUPO BEM VIVER E PERSPECTIVAS 91
4 CONCLUSÃO 91
5 REFERÊNCIAS 92
CONSIDERAÇÕES FINAIS 95
APÊNDICE A 97
APÊNDICE B 100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Descarte irregular de resíduos da polpa de casca de cupuaçu em diferentes agroindústrias em Cacoal, Rondônia. 31

Figura 2.2 - Cinco passos da revisão da literatura no presente trabalho. 33

Figura 2.3 - Distribuição temporal de trabalhos que envolvem uma destinação a casca de cupuaçu a partir de consultas a base de dados WOS, SC e GS de acordo com os critérios estabelecidos, estando contabilizados artigos, dissertações e teses..... 35

Figura 2.4 - Distribuição de trabalhos por instituição do autor principal, são nominadas somente as quatro instituições com maior número de trabalhos. O grupo Outras Instituições representa Instituições que apresentam um único trabalho..... 35

Figura 2.5 - Distribuição de trabalhos por categorias de destinações**.** O azul mais claro (50%) representa a categoria substratos, o azul médio (3%) representa a categoria biosorventes, azul escuro (6%) a categoria de aditivos. Laranja claro (3%) representa a categoria farinhas, laranja escuro (3%) a categoria rações. Cinza claro (10%) representa categoria de biomassas, cinza escuro (3%) a categoria de compostos. 36

Figura 2.6 - Distribuição anual de trabalhos por categorias de destinações..... 37

Figura 3.1 - Gráfico biplot da análise de componentes principais, os pontos são as amostras analisadas, os números próximos aos pontos são a taxa de aplicação de BCC e o vetor azul mostra a pontuação dos atributos químicos do solo de acordo com cada componente. (a) PC2 vs PC1; (b) PC3 vs PC1; (c) PC3 vs PC2 55

Figura 3.2 - Vista lateral e superior aos 60 dias após o transplante da alface. O primeiro vaso é a testemunha (0,00%), o último vaso é o controle quimicamente adubado (CQA) e os vasos intermediários são taxas crescentes de aplicação de BCC (0,05 a 1,00%). 57

Figura 4.1 – Etapas da contrução da câmara de combustão do forno tipo foguete. (a) Base do forno com 5 tijolos de comprimento e 4 largura. (b) 2ª fileira de tijolos formado por tijolos L. (c) e (d) fechamento da 2º fileira com tijolos com 6 e 4 furos. (e) e (f) montagem da 3ª fileira de tijolos. (g) vista superior da câmara de combustão..... 66

Figura 4.2 - Forno seguindo o projeto original. (a) Pirólise de casca de cupuaçu e emissão de gases com alto poder energético. (b) biochar de casca de cupuaçu..... 67

Figura 4.3 – Etapas da construção da torre de combustão do forno tipo foguete. (a) 1ª fileira com tijolos deitados. (b) 2ª fileira com tijolos deitados. (c) 3ª fileira com tijolos em pé e posicionamento dos vergalhões grossos. (d) e (e) 4ª e 5º fileira de tijolos em pé. (f) reboco com a mesma massa usada para assentar os tijolos. 68

Figura 4.4 - Furos superiores da lata para servir de pontos de ancoragem..... 69

Figura 4.5 - Forno em funcionamento. (a) espessura do pau pereira sendo colocado nos quatro vãos entre lata e a torra. (b) intensidade da chama que deve ser mantida durante o processo..... 70

Figura 4.6 - Chama superior acionada por uma brasa em cima da lata, sendo um indicativo que o processo de pirólise está ocorrendo 71

Figura 4.7 - Finos de biochar obtidos após a trituração no equipamento Nogueira DPM 4. 71

Figura 4.8 - Temperatura máxima de 390ºC registrada durante o processo de pirólise 73

Figura 5.1 - Húmus de minhoca ou vermicomposto após 45 dias da adição de esterco bovino..... 80

Figura 5.2 - Preparo do condicionador orgânico biofertilizante mais vermicomposto (B+V) no 15º de fermentação..... 81

Figura 5.3 - Canteiros levantados e preparados com o biochar de casca de cupuaçu 82

Figura 5.4 - Linha do tempo dos eventos durante o experimento em campo. BCC - Biochar de casca de cupuaçu, B - Biofertilizante, B+V - Biofertilizante+Vermicompostos..... 83

Figura 5.5 - Gráfico de barras da precipitação diária durante a execução do experimento..... 84

Figura 5.6 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de pH H_2O versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005..... 85

Figura 5.7 - Gráfico de linhas de médias pH H_2O de cada tratamento durante os cultivos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Antes do 1º cultivo foram aplicados 14 L de B ou B+V e Antes do 2º cultivo foram aplicados 20 L B ou B+V nos respectivos tratamentos..... 86

Figura 5.8 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de K^+ versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005..... 87

Figura 5.9 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de H+Al versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005..... 88

Figura 5.10 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de Mg^{2+} versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005..... 89

Figura 5.11 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de MOS antes do 1º cultivo versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005..... 90

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 - Quantitativo de resultados iniciais gerados com as palavras chaves... 34

Tabela 3.1 - Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região de Cacoal-RO..... 49

Tabela 3.2 - Propriedades físicas e químicas do biochar da casca de cupuaçu de acordo com a instrução normativa SDA nº 17 e análises complementares..... 52

Tabela 3.3 - Efeito do biochar da casca de cupuaçu nas propriedades químicas do solo após 30 dias de incubação. 53

Tabela 3.4 - Regressões lineares das propriedades do solo correlacionadas com a taxa de aplicação de biochar de casca de cupuaçu..... 56

Tabela 3.5 - Efeito dos tratamentos com biochar de casca de cupuaçu e controle quimicamente adubado (CQA) nos parâmetros de crescimento da alface após 60 DAT 58

Tabela 4.1 - Custos e materiais envolvidos para o desenvolvimento do forno..... 72

Tabela 5.1 - Atributos físico-químicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região de Cacoal-RO..... 82

RESUMO GERAL

CARVALHO, André Grecco. USO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA MELHORIA DE ATRIBUTOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO DO BIOMA AMAZÔNICO. Cáceres: UNEMAT, 2023. 102 p. (Tese – Doutorado em Ciências Ambientais)[1]

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do biochar da casca de cupuaçu como condicionador de solo como solução para mitigação dos impactos ambientais ocasionado pelas agroindústrias de polpa em Cacoal-RO. Para isso avaliou-se o efeito da aplicação do biochar, em diferentes doses, nos atributos químicos do solo e no desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*), além de desenvolver e transferir uma tecnologia de forno de alvenaria de baixo custo para a produção de biochar. Em laboratório o biochar da casca de cupuaçu foi produzido pela pirólise a 500°C e, posteriormente, aplicado nas doses de 0,00, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,35, 0,50, 0,75 e 1,00% em um solo franco arenoso. Foram realizados testes em vaso com delineamento experimental inteiramente casualizado e análises do desenvolvimento da alface cv. Valentina. Os resultados mostraram que o biochar elevou o pH e os teores de potássio e fósforo no solo, o que favoreceu o desenvolvimento da alface, o qual na dose 1% de biochar foi igual proporiconado pela adubação química. A tecnologia do forno de alvenaria desenvolvida foi adequada para produção de biochar de casca de cupuaçu, com rendimento mássico de 33%, mostrando-se uma tecnologia útil para pequenos agricultores aproveitarem os benefícios do biochar de casca de cupuaçu. Testes de campo em Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região amazônica com o biochar produzido pelo forno de alvenaria associados a fertilizações orgânicas também mostraram a capacidade do biochar de casca de cupuaçu em elevar o pH e teores de potássio no curto prazo neste sistema de produção agrícola. Os resultados mostraram que a transformação da casca de cupuaçu em biochar e sua respectiva aplicação em solo é uma destinação adequada, sendo uma estratégia para reduzir dependências de fertilizantes potássicos, diminuir os impactos ambientais resultantes do descarte inadequado dos resíduos e promover uma agricultura mais sustentável. Por fim este trabalho está alinhado com os temas de economia circular e com as metas da agenda 2030 da ONU ODS 2, 12.5, 13 e 15, relacionadas a segurança alimentar, produção e consumo sustentáveis, ação climática e vida terrestre, respectivamente e contribui para a sociedade ao: 1-Alertar sobre a disposição inadequada da casca de cupuaçu pelas agroindústrias e suas consequências ambientais; 2-Apontar possíveis soluções existentes para o uso adequado de resíduos das agroindustrias 3- Mostrar o potencial do biochar da casca de cupuaçu como condicionador de solo, melhorarando a sua fertilidade e aumentar a produtividade agrícola; 4- Criar uma tecnologia de forno de alvenaria de baixo custo que pode ser utilizada por pequenos agricultores para produzir o biochar da casca de cupuaçu de forma acessível, promovendo o uso do biochar e incentivando a agricultura sustentável; 5-Apontar estratégias para redução da quantidade de resíduos gerados pelas agroindústrias de Cacoal-RO.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, biocarvão, resíduos agroindustriais, agricultura de base ecológica, potássio

[1] Comitê orientador: Orientador(a) Maria Aparecida Pereira Pierangeli – UNEMAT – Cáceres-MT; Coorientador Antônio Carlos Saraiva Costa – UEM – Maringá-PR; Coorientador Ivan Granneman de Souza Júnior – UEM – Maringá-PR.

ABSTRACT

CARVALHO, André Grecco. USE OF CUPUAÇU SHELL BIOCHAR TO IMPROVE PROPERTIES OF A TYPIC QUARTZIPSAMMENT SOIL OF THE AMAZON BIOME. Cáceres: UNEMAT, 2023. 102 p. (Thesis – Doctorate in Environmental Sciences)[2]

This study aimed to evaluate the potential of cupuaçu shell biochar as a soil conditioner as a solution to mitigate the environmental impacts caused by pulp agroindustries in Cacoal-RO. For this purpose, the effect of biochar application at different doses on soil chemical attributes and lettuce (*Lactuca sativa*) development was evaluated. Additionally, a low-cost stove technology for biochar production was developed and transferred. In the laboratory, cupuaçu shell biochar was produced through pyrolysis at 500°C and subsequently applied at doses of 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.35, 0.50, 0.75, and 1.00% in a sandy loam soil. Randomized complete block design pot tests were conducted, and the development of lettuce cv. Valentina was analyzed. The results showed that biochar increased soil pH, potassium and phosphorus contents, favoring lettuce development. At the 1% biochar dose, the lettuce development was equivalent to that provided by chemical fertilization. The developed stove technology was suitable for cupuaçu shell biochar production, with a mass yield of 33%, proving to be a useful technology for small farmers to take advantage of the benefits of cupuaçu shell biochar. Field tests on a typical Orthic Quartzarenic Neosol of the Amazon region using biochar produced by the stove, in combination with organic fertilization, also demonstrated the ability of cupuaçu shell biochar to raise pH and potassium content in the short term in this agricultural production system. The results showed that the transformation of cupuaçu shell into biochar and its application in soil is an appropriate disposal method, being a strategy to reduce dependency on potassium fertilizers, decrease environmental impacts resulting from inadequate waste disposal, and promote more sustainable agriculture. Finally, this study aligns with the topics of circular economy and the 2030 Agenda goals SDGs 2, 12.5, 13, and 15, related to food security, sustainable production and consumption, climate action, and terrestrial life, respectively, and contributes to society by: 1- Raising awareness about the improper disposal of cupuaçu shell by agroindustries and its environmental consequences; 2- Identifying possible solutions for the proper use of agroindustry waste; 3- Demonstrating the potential of cupuaçu peel biochar as a soil conditioner, improving its fertility and increasing agricultural productivity; 4- Creating a low-cost stove technology that can be used by small farmers to produce cupuaçu peel biochar affordably, promoting the use of biochar and encouraging sustainable agriculture; 5- Suggesting strategies to reduce the amount of waste generated by agroindustries in Cacoal-RO.

Keywords: Soil fertility, biochar, agroindustrial waste, ecological farming, potassium.

[2] Guidance Comitee: Major Maria Aparecida Pereira Pierangeli – UNEMAT – Cáceres-MT; Professor Antônio Carlos Saraiva Costa – UEM – Maringá-PR; Professor Ivan Granneman de Souza Júnior – UEM – Maringá-PR.

INTRODUÇÃO GERAL

Os incentivos do estado de Rondônia à agroindústria familiar por meio do Programa de Verticalização da Pequena Produção Agropecuária do Estado de Rondônia (PROVE-RO) (RONDÔNIA, 2019), promoveu a implantação de novas agroindústrias com objetivo de agregar valor a matéria prima do campo, aumentar a renda familiar, fixar a família na terra e gerar empregos no campo. Entre essas agroindústrias, estão as produtoras de polpas de frutas, especialmente o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), um dos produtos de maior demanda. Devido à grande espessura da casca do cupuaçu, a qual representa 45% do peso total do fruto, ao final do processamento são geradas quantidades expressivas de resíduos (SOUZA et al., 1999).

Por isso, surge um novo dilema com os possíveis impactos ambientais da casca de cupuaçu gerados por estas agroindústrias. A Lei nº 12.305 que institui a política nacional de resíduos sólidos (PNRS) determina uma destinação final ambientalmente adequada para os resíduos agroindustriais: reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, ou ainda outras destinações admitidas pelos órgãos competentes (BRASIL, 2010). Nesse sentido, há interesse na reutilização de resíduos orgânicos para a produção de biochar, principalmente para uso como condicionador de solos devido à melhoria de atributos do solo (LEHMANN; JOSEPH, 2015) e sua capacidade de sequestro de carbono (SANTÍN et al., 2017), contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. O biochar pode aumentar a produtividades nos cultivos e melhorar a capacidade de reter nutrientes no solo, reduzindo perdas por lixiviação (LAIRD et al., 2010), a qual pode levar ao aumento significativo da eficiência dos fertilizantes.

Até o momento não há estudos que envolvam o biochar de casca de cupuaçu para uso como condicionador de solos, tornando-se uma alternativa para minimizar ou mesmo anular os impactos ambientais dos resíduos gerados pelas agroindústrias de polpa. Nesse sentido, esta tese, tem como finalidades: 1) avaliar os efeitos da aplicação de biochar de casca de cupuaçu no solo nos seus atributos de fertilidade; 2) avaliar o efeito do biochar da casca de cupuaçu no desempenho produtivo de alface (*Lactuca sativa*), em vasos comparando este tratamento químico e uma testemunha e; 3) avaliar, em campo, os efeitos da aplicação de biochar de casca de cupuaçu associados com biofertilizantes orgânicos nos atributos de fertilidade de um Neossolo

Quartzarênico Órtico típico.

Esta tese foi redigida em 5 capítulos: 1) Revisão de literatura, contextualizando o tema, objetivos e hipóteses da pesquisa; 2) Utilização do resíduo casca de cupuaçu no desenvolvimento de produtos: uma análise a partir de trabalhos científicos; 3) Efeito da aplicação do biochar da casca de cupuaçu nos atributos do solo na cultura da alface; 4) A construção de um forno para produção de biochar de casca de cupuaçu para agricultores de base agroecológica: o caso do grupo bem-viver em Cacoal-RO; 5) Atributos químicos de um neossolo quartzarênico órtico típico com aplicação do biochar da casca de cupuaçu associado a técnicas orgânicas utilizadas no grupo bem viver em Cacoal-RO.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: n. 147, 03/08/2010.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 436-442, 2010.

LEHMANN, J.; S. JOSEPH “Biochar for environmental management: An introduction”. *In:* LEHMANN, J.; S. JOSEPH. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. Routledge, 2015.

RONDÔNIA. Lei ordinária nº 4.584, de 18 de setembro de 2019. Institui o novo programa de verticalização da pequena produção agrícola do estado de rondônia - prove. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**: n. 175, 19/09/2019.

SANTÍN, C.; DOERR, S. H.; MERINO, A.; BUCHELI, T. D.; BRYANT, R.; ASCOUGH, P.; GAO, X.; MASIELLO, C. A. Carbon sequestration potential and physicochemical properties differ between wildfire charcoals and slow-pyrolysis biochars. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 2017.

SOUZA, A. D. G. C. D.; SILVA, S. E. L. D.; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. D. R. L. **A cultura do cupuaçu (theobroma grandiflorum (willd. Ex spreng.) Schum.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1 CUPUAÇU, CUPUAÇUAZEIRO E IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA

O cupuaçu é o fruto do cupuaçuzeiro, com formatos variáveis e dimensões de diâmetro de até 15 cm, comprimento de até 40 cm e peso médio de 1500 g (SOUZA et al., 1999). A árvore atinge de 4 m a 10 m de altura média, podendo atingir altura maior em indivíduos silvestres. Originalmente, a espécie estava presente somente na Amazônia paraense e região pré-amazônica maranhense, entretanto a cultura foi disseminada por toda bacia amazônica pela domesticação indígena (CLEMENT et al., 2010; CLEMENT, 1989).

A árvore do cupuaçu ocorre naturalmente em terra firme ou várzea alta, não suportando o frio ou áreas inundáveis (SOUZA; ALVES; DE SOUZA, 2017). Dados da literatura mostram que as condições climáticas ótimas são de temperatura média anual entre 24,8 ºC a 27,0 ºC, umidade relativa do ar média anual entre 77% a 88% e precipitação média anual de 1.900 a 3.100 mm. Estudos comparando áreas de ocorrência natural e de cultivo, evidenciam que as condições climáticas de cultivo do cupuaçu coincidem com as de sua área de ocorrência natural (DINIZ et al., 1984 *apud* SOUZA; ALVES; DE SOUZA, 2017).

O solo é outra variável importante para o desenvolvimento do cupuaçuzeiro que prefere solos férteis, profundos, com textura argilosa ou argilo-arenosa. Solos muito arenosos não são adequados, pois geralmente apresentam baixa fertilidade e retêm pouca umidade. A cultura não tolera solos impermeáveis, adensados ou sujeitos a encharcamentos, que impeçam a penetração das raízes ou que criem condições de má aeração (GONDIM, 2010).

A dispersão cupuaçu ocorre principalmente por macacos da espécie *Cebus apella*, que quebram a casca para se alimentar e dispersam as sementes, além de outros animais que também se alimentam do fruto, como pacas e jabutis (GHILARDI JR; ALHO, 1990). A polinização é feita por abelhas durante o período da seca, sendo que a duração da floração é variada, conforme estudos de FALCÃO; LLERAS (1983).

A espécie é sensível a várias características climáticas, com alterações expressas no tamanho da árvore, produtividade e características do fruto. Uma característica importante para o cultivo do cupuaçuzeiro para seus dois primeiros anos

é o sombreamento para seu estabelecimento, com redução gradual de até 25% do total a partir do início da produção (RIBEIRO, 2000).

Outra característica importante para efeitos de produtividade de frutos sadios, é a precipitação, não podendo haver déficit hídrico maior que dez meses, sendo que frutos rachados são indicadores deste déficit (SOUZA et al., 1999). Deve-se levar em conta também a umidade do ar, que não pode ser muito baixa (VILLACHICA et al., 1996).

Os atributos físico-químicos dos solos são importantes para cupuçuazeiros em plantios comerciais, sendo preferida a implantação em solos com alta fertilidade e teor de argila (GONDIM et al., 2001). O manejo do solo é outro fator importante, pois sem o manejo correto podem sofrer um desbalanço de nutrientes e consequentemente a perda da capacidade do cupuaçuzeiro em manter seu fruto saudável e com produtividade economicamente viável (ALFAIA et al., 2004).

O cupuaçu é amplamente consumido e apresenta grande importância econômica na Amazônia devido à forte demanda pela polpa, que apresenta característica muito atraentes de sabor e aroma. É uma importante matéria-prima para as indústrias de alimentos e também importante fonte de renda para o agricultor familiar que pode comercializar o fruto tanto para a agroindústria quanto processando-o diretamente na indústria caseira na forma de polpas, doces, biscoitos, licores entre outros (SOUZA; ALVES; DE SOUZA, 2017). A produção brasileira de cupuaçu, de acordo com o censo agropecuário de 2017, foi estimada em 21 mil toneladas, com o estado de Rondônia (RO) produzindo 2 mil toneladas, sendo 108 toneladas na região de Cacoal-RO (IBGE, 2017).

2 BIOCHAR

O biochar é definido como o produto da decomposição térmica de matéria orgânica em uma atmosfera reduzida ou isenta de oxigênio ou ainda em uma atmosfera inerte, em temperaturas entre 200 a 900 ºC (SANCHEZ-REINOSO; ÁVILA-PEDRAZA; RESTREPO, 2020), para aplicações em solos ou remediações ambientais (LEHMANN; JOSEPH, 2015). Historicamente o biochar é encontrado em solos antropogênicos da Amazônia conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), os quais datam mais de 7000 anos, sendo altamente férteis, com elevado teor nutrientes, boa capacidade de retenção de nutrientes e maior quantidade de matéria orgânica que os solos inférteis circundantes (GLASER, 2007). A TPI tem como característica principal

o elevado teor de biochar, além de outros materiais que colaboraram com a gênese destes solos, com evidentes efeitos positivos na fertilidade do solo (WIEDNER; GLASER, 2015; GLASER, 2007).

Na última década, o biochar foi alvo de inúmeros estudos na recuperação de solos inférteis (EL-NAGGAR et al., 2018; RIZWAN et al., 2016; PARK et al., 2015), inclusive no Brasil. Aqui, a gama de usos do biochar alavancou o número de pesquisas. De acordo com a revisão de SOMBRA et al. (2020) no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), foram registrados 245 resultados contendo 'biochar' entre 2010 e 2018, sendo 71 Teses de Doutorado e 169 Dissertações de Mestrado. Entre as aplicações usando a denominação biochar estão: adsorvente, condicionador de solo, tratamento de águas residuárias, eletrodos de supercapacitores entre outros (ZHAO et al., 2021).

Durante a pirólise da matéria orgânica há geração de 3 produtos em fases diferentes: fase sólida conhecida como biochar, fase líquida denominada bioóleo e a fase gasosa. A fase sólida pode ainda receber denominações diferentes, como carvão ou carvão ativado, a qual dependem principalmente da finalidade de uso, processamento e matéria-prima. O uso da terminologia biochar está sendo padronizado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) (IUPAC, 2018), tendo um manuscrito em processo de revisão.

Existe uma série de metodologias de pirólise, como pirólise lenta, pirólise rápida, gaseificação e outras (CHA et al., 2016). Cada metodologia maximiza a produção de determinada fase, como por exemplo da gaseificação, que favorece a produção da fase gasosa em detrimento da fase líquida e sólida. As três fases podem ser utilizadas como fonte de energia, entretanto a aplicação da fase sólida (biochar) em solos é a que está em ascensão devido às suas características de melhoria dos atributos físico-químicos de solos e práticas ambientais sustentáveis, como o sequestro do carbono.

2.1 EFEITOS DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR NO SOLO

2.1.1 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce um papel fundamental em solos tropicais. Nestes solos predominam minerais de baixa atividade que tornam a MOS a principal matriz de cargas trocáveis, além de ser o principal reservatório de nutrientes

para plantas e servir de compartimento de estoque de carbono (SILVA; MACHADO, 2000). Neste caso, o biochar pode atuar como coadjuvante da MOS, estimulando diretamente o aporte de carbono orgânico em solos, por meio da promoção da produção vegetal e o consecutivo retorno dos resíduos vegetais, uma vez que atua contribuindo para a formação de biomassa subterrânea e de exsudados de raiz (WANG; XIONG; KUZYAKOV, 2016). Um outro efeito possível sobre a matéria orgânica é a estabilização desta, pois o biochar pode diminuir a mineralização devido a adsorção de substâncias húmicas (JIEN et al., 2015) ou formação de complexos estáveis (CUNHA et al., 2009).

Em contrapartida, alguns estudos relatam que a matéria orgânica solúvel presente no biochar, pode induzir a decomposição da fração estável da MOS, uma vez que a matéria orgânica solúvel é um importante substrato para os micro-organismos, acelerando a atividade microbiológica e acarretando na decomposição de matéria orgânica estável (HAN et al., 2020; WENG et al., 2018; SINGH; COWIE, 2015)

2.1.2 pH do solo

O pH do solo faz referência a atual situação biológica, física e química do solo. Em alguns casos, o pH pode predizer as condições química dos solos, como é o caso de solos ácidos, tipicamente de ambientes tropicais úmidos com baixas concentrações de cálcio e magnésio, elevado teor de alumínio, alta fixação de fósforo nos colóides do solo, tendência de lixiviação de potássio e deficiência de diversos micronutrientes (RONQUIM, 2010).

O pH do solo pode ter alterações diversas após a aplicação do biochar (BRUUN et al., 2012), dependendo do pH e dose do material aplicado (LEHMANN et al., 2011; LEHMANN, 2007) e do solo alvo. O pH do biochar pode variar devido à sua matéria-prima, temperatura de pirólise (CHAN; XU, 2009; LEHMANN, 2007), método de pirólise (rápido ou lento) (BRUUN et al., 2012) e teor de cinzas (RAFIQ et al., 2016; ENDERS et al., 2012; GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002).

A revisão da literatura de RAFIQ et al. (2016) mostram que o biochar produzido em temperaturas mais altas possui um pH maior em comparação com o produzido em baixas temperaturas, sendo que esta tendência é acompanhada pelo teor cinzas, indicando uma correlação positiva entre o teor de cinzas e o pH do biochar. Apesar das possibilidades de valores de pH (4-12), os biochars geralmente têm pH alcalino,

o que contribui para melhoria da fertilidade em solos ácidos (LEHMANN et al., 2011).

2.1.3 Capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca de cátions (CTC) manifesta a quantidade de cargas negativas do solo mensurada pela quantidade de cátions específicos que o solo é capaz de reter sob determinadas condições (CHAPMAN, 1965). Magnésio, cálcio e potássio são elementos de uma lista exemplificativa de cátions que podem ficar adsorvidos neste complexo. A CTC, em conjunto com outros atributos, pode ser bom indicador da fertilidade dos solos, variando conforme a textura, pH, tipo de argila e MOS. (SUMNER; MILLER, 1996).

O biochar, quando aplicado ao solo, pode aumentar a CTC, pois este tem carga líquida negativa devido a presença de grupos funcionais, como o carboxílico e o fenólico, entre outros em sua superfície (SHAABAN et al., 2014). Entretanto, o estudo de Hailegnaw et al. (2019), com a aplicação biochar de lascas de madeira de coníferas em diferentes solos, relataram tanto aumentos quanto diminuições na CTC do solo. Segundo os mesmos autores, o teor de Ca^{2+} trocável do solo é o fator crucial para determinar quais foram a mudanças induzidas pelo biochar na CTC do solo.

A CTC do biochar depende principalmente da temperatura da pirólise, devido a área superficial específica, que aumenta com a temperatura pela formação de microporos (SOHI et al., 2010; BIRD et al., 2008) e da abundância de grupos funcionais nessas superfícies. Evidências de aumento de grupos carboxílicos ao longo do tempo, dentro ou fora do solo, induz a existência de processos bióticos e abióticos ocasionando a oxidação parcial da superfície do biochar (CHENG et al., 2006).

2.1.4 Nutrientes

O biochar tem efeito positivos sobre os nutrientes necessários às plantas, seja disponibilizando como uma fonte direta, indireta ou diminuindo as perdas por lixiviação (MANOLIKAKI; DIAMADOPOULOS, 2020), aumentando assim a probabilidade destes serem absorvidos pelas plantas (DELUCA et al., 2015). Há possibilidade de efeitos correlacionados à atividade microbiana na mineralização da MOS, ocasionando a liberação de nutrientes, como é o caso do aumento da aeração (BLANCO-CANQUI, 2017). Os autores explicam que, devido ao biochar ser menos denso que as partículas do solo, ocorre maior aeração do solo, assim acelerando a

decomposição da MOS. Entretanto, há contrapontos com relação à esta hipótese (BRUUN; EL-ZEHERY, 2012), onde os autores mostram que aplicação do biochar reduziu a mineralização em relação ao tratamento controle.

Trabalhos relatam efeitos na retenção de nitrogênio (N) após a aplicação de biochar no solo devido a adsorção do íon amônio ou amônia (CLOUGH et al., 2013) e a imobilização de nitrogênio. A adsorção é possível devido a carga negativa na superfície do biochar que é eficaz na adsorção de cátions, como o NH^{4+}. Já a imobilização do nitrogênio inorgânico pode ocorrer por meio dos microrganismos no curto prazo pois o biochar tem uma fração de matéria orgânica lábil com alta relação C:N (NELISSEN et al., 2012). Entretanto, isso tende a ocorrer em biochars produzidos a baixas temperaturas (DELUCA et al., 2015).

A aplicação de biochar pode atuar sobre o fósforo (P) disponível como fonte direta deste nutriente e indiretamente através da alteração do pH do solo e alteração da eficiência das enzimas como fosfatases (DELUCA et al., 2015). Em um primeiro momento, o solo tratado com biochar pode ter a elevação na quantidade de fósforo devido às formas de fosfatos inorgânicos presentes no biochar após a pirólise, além do aumento da solubilidade dos fosfatos devido a elevação do pH do solo (HONG; LU, 2018). Entretanto, ainda segundo esses autores, essas condições são dependentes das características físico-químicas do biochar. Outros estudos demonstram que o biochar pode aumentar a biomassa de bactérias do solo que solubilizam o fosfato, o que implicaria em um aumento da fertilidade do solo (YANG et al., 2019; ANDERSON et al., 2011).

Outro nutriente disponível no biochar é o potássio (ORAM et al., 2014), devido a alta mobilidade do elemento, o qual pode ser difundido facilmente e estar disponível as plantas. Observa-se que geralmente os biochars são ricos em potássio, com variação de concentração conforme a matéria de origem dos mesmos (ZORNOZA et al., 2016; GASKIN et al., 2008). Biochars com altos teores de potássio podem ser uma fonte desse nutriente, minimizando ou substituindo o uso fertilizantes potássicos (ABU ZIED AMIN, 2016).

Os efeitos da aplicação de biochar na disponibilidade de nutrientes dependem das propriedades do solo e das plantas em cultivo, sendo necessário estudos em campo para entender melhor esses efeitos nos diferentes tipos de solo e sistemas de cultivo. O biochar, além de fornecer e melhorar a disponibilidade de certos nutrientes, também atua na redução da lixiviação dos mesmos, devido a adsorção na sua

superfície ou em seus poros (BORCHARD et al., 2019; KHORRAM; SARMAH; YU, 2018; LAIRD et al., 2010).

2.1.5 Microbiota do solo

Os micro-organismos do solo estão envolvidos em inúmeros processos, como a ciclagem de nutrientes. Trabalhos relatam que o biochar atua na microbiota do solo, alterando sua biomassa e atividade, como já supracitado, ocasionando efeitos na mineralização da MOS e na disponibilização de nutrientes. Entre os efeitos principais do biochar no solo que podem favorecer a microbiota estão os aumentos da porosidade, superfície específica e pH. O primeiro e o segundo fatores estão intimamente relacionados com a aeração e o movimento da água e nutrientes, além de servir de habitat à microbiota (SHENG; ZHU, 2018; LEHMANN et al., 2011). O terceiro fator pH relaciona-se com uma possível maior atividade microbiana (PATHY; RAY; PARAMASIVAN, 2020).

A aplicação de biochar em solos nem sempre afeta de maneira positiva a biomassa microbiana. ELZOBAIR et al. (2016) demonstraram não haver efeito significativo na biomassa microbiana após um ano de aplicação de biochar, quando aplicados baixas doses de biochar. Existe a possibilidade também de efeitos negativos, uma vez que biochars, especialmente os produzidos em baixas temperaturas, podem conter compostos que inibem alguns tipos de micro-organismos. Há também a possibilidade que a dose utilizada seja excessiva, ocasionando os efeitos negativos na microbiota (PATHY; RAY; PARAMASIVAN, 2020).

Além dos efeitos nas comunidades microbianas, há a possibilidade de alteração da atividade de enzimas extracelulares (LEHMANN et al., 2011). Efeitos negativos podem ser explanados pela capacidade de adsorção de compostos pelo biochar. Em contraponto, adsorções de moléculas orgânicas também podem ter efeitos positivos, como a adsorção de compostos na solução do solo que promovem a inibição de micro-organismos.

Os efeitos enzimáticos devido a aplicação do biochar dependem de inúmeras variáveis, como o material de origem do biochar, a temperatura de pirólise, da própria enzima, bem como do tipo de solo (ZHU et al., 2017). YANG et al. (2016) avaliaram as ativações das enzimas catalase, urease e fosfatase em solo contaminado com metais pesados tratados com biochars de palha de arroz e bambu. De acordo com o estudo, houve mudanças significativas nas atividades enzimáticas conforme o tipo,

dosagem e tamanho da partícula do biochar. Ainda segundo esses autores, uma diminuição significativa da atividade enzimática da fosfatase foi observada quando aplicado 5% de biochar de bambu.

A utilização de biochar, que é considerado um condicionador orgânico de solo, pode ser uma boa alternativa devido a estabilidade do carbono e melhoria nos atributos físico-químicos dos solos, com destaque na redução da acidez do solo, diminuição da dependência do uso de fertilizantes e melhoria na retenção de nutrientes no solo (KHAN et al., 2021a; MORENO-RIASCOS; GHNEIM-HERRERA, 2020). No entanto, este pode ser limitado por seu custo (SORENSEN; LAMB, 2018) e variabilidade nas propriedades físico-químicas do biochar devido ao material de origem e processo de pirólise.

3 ASSOCIAÇÃO DO BIOCHAR COM OUTROS CONDICIONADORES ORGÂNICOS DE SOLO

Condicionadores de solos são definidos como produtos que promovem a melhoria das propriedades físicas, químicas ou biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente (BRASIL, 2006). O manejo adequado de condicionadores orgânicos de solos pode promover a melhoria da fertilidade de solos, entretanto formas incorretas de manejo de resíduos orgânicos podem acarretar uma decomposição rápida da matéria orgânica onde apenas uma pequena fração é estabilizada e grande parte é liberada para a atmosfera na forma de gás carbônico ou lixiviada (RAHMAN et al., 2020), desta forma impactando o ambiente.

Vários estudos usam o biochar em consórcio com outros condicionadores de solos, obtendo resultados que superam a aplicação individual desses, com melhorias na fertilidade do solo e na mitigação da emissão de gases de efeito estufa. AGEGNEHU et al. (2015) estudaram o biochar de resíduos de madeira do salgueiro e compostagens, aplicando isolados e combinados, em comparação a uma adubação convencional química no cultivo de amendoim em Latossolo. Nesse estudo, os autores verificaram que os resultados de emissão de gás carbônico foram menores quando utilizado a combinação entre biochar e composto orgânico, não havendo diferença significativa na produtividade comparada entre os condicionadores de solos. Entretanto, houve maior produtividade dos tratamentos combinados em relação a adubação convencional.

Para a produção orgânica, além do uso de compostos, há possibilidade do uso de biofertilizantes e vermicompostos. Biofertilizantes são um importante insumo para agricultores agroecológicos e são produzidos a partir da fermentação anaeróbica de uma gama de subprodutos agrícolas, como esterco, soro e restos vegetais, entre outros (PAULUS; MULLER; BARCELLOS, 2000). O vermicomposto, da mesma forma que o biofertilizante, utiliza de subprodutos animais e vegetais para sua produção, os quais são decompostos com a utilização de minhocas (*Eisenia foetida*), que promovem a transformação destes materiais em matéria orgânica estável (SOARES; SOUZA; CAVALHEIRO, 2004 *apud* TEODORO et al., 2016)

A associação entre biochar e biofertilizantes vem sendo abordada tanto no contexto ambiental quanto produtivo. SUN et al. (2021) avaliaram os efeitos da volatilização de amônia e da emissão de óxido nitroso em um solo inundado para plantação de arroz no curto prazo, aplicando biochar de palha de trigo, biofertilizante e combinações comparando-os ao tratamento controle. Nesse estudo, todos os tratamentos tiveram uma emissão mais alta de óxido nitroso que o controle. A explicação dos autores está na criação de um ambiente propício aos micro-organismos nitrificadores e ao maior desenvolvimento de raízes, que consequentemente aumentam a geração de exsudados de raiz, que são fontes de energia para estes micro-organismos. Também os autores observaram que a volatilização da amônia é significativamente menor quando usado a combinação biochar e biofertilizante, ocorrendo um aumento significativo quando se utiliza somente o biofertilizante.

KHAN et al. (2021b) avaliaram a produtividade de trigo em um solo franco-limoso do Paquistão com biochar de talos de algodão em seis tratamentos, que vão de doses completas ou parciais de nitrogênio, biofertilizante, biochar e combinações. Os resultados encontrados pelos autores desse estudo mostraram maior produtividade de grãos no tratamento combinado de biochar, biofertilizante e dose completa de nitrogênio.

Semelhantes aos biofertilizantes há trabalhos envolvendo biochar em combinação com vermicomposto. DOAN et al. (2015) avaliaram por três anos a produtividade do milho, fertilidade do solo, erosão do solo e dinâmica da água com esterco de búfalos, composto, vermicomposto, biochar e combinações. Verificaram os autores que os resultados de produtividade anual foram variáveis, entretanto, quando utilizado o biochar combinado com o vermicomposto, é relatado uma redução

significativa do impacto negativo da fertilização orgânica na qualidade da água, o que reduz o impacto negativo da agricultura no meio ambiente.

ÁLVAREZ et al. (2017) estudaram a combinação em várias proporções de turfa, biochar de pinus e vermicomposto como meio de crescimento de flores ornamentais. Os resultados demonstraram que doses combinadas, entre 4 a 12% de biochar e de 0 a 30% de vermicomposto, tenderam a ter maior produtividade de massa seca, além de efeitos positivos ambientais, uma vez que que a substituição de turfa por biochar ocasionaria a redução de 3,25 toneladas de emissão de dióxido de carbono por tonelada de turfa substituída.

Esses estudos demonstram que o biochar, tanto sozinho ou em associações com outros condicionadores orgânicos, pode ser uma opção vantajosa para manejo do solo em sistemas orgânicos ou agroecológicos de produção.

4 HIPÓTESE DA PESQUISA

A utilização de biochar de casca cupuaçu como condicionador de solo aprimora os atributos químicos de solo em diferentes sistemas de fertilização, portanto esta destinação tem potencial de reduzir impactos ambientais na cadeia produtiva da polpa de cupuaçu.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da destinação do resíduo casca de cupuaçu em biochar, aplicando-o como condicionador de solo, visando a minimização de impactos ambientais ocasionado por setores correlacionados na região de Cacoal–RO.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A Revisar estudos com aproveitamento da casca de cupuaçu que possam auxiliar na redução dos impactos ambientais ocasionado em Cacoal-RO.

B Produzir e caracterizar físico-quimicamente o biochar de casca de cupuaçu com relação as normativas vigentes para condicionadores de solo.

C Avaliar a influência do biochar de casca de cupuaçu no solo e desempenho da cultura da alface em comparação com tratamento

químico e testemunha em vasos.

D Avaliar no curto prazo os atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico com a aplicação de biochar de casca de cupuaçu em associação com biofertilizante e vermicomposto.

E Desenvolver um forno de alvenaria para que produtores rurais possam produzir biochar a partir da casca de cupuaçu descartada por agroindústrias de polpa de frutas.

6 REFERÊNCIAS

ABU ZIED AMIN, ABU EL-EYUOON. Impact of corn cob biochar on potassium status and wheat growth in a calcareous sandy soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 17, p. 2026-2033, 2016.

AFRIANTO, W. F. The potential distribution prediction of the invasive alien species acacia decurrens wild., in indonesia. **International Journal of Applied Biology**, v. n. p. 2021.

AGEGNEHU, G.; BASS, A. M.; NELSON, P. N.; MUIRHEAD, B.; WRIGHT, G.; BIRD, M. I. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical north queensland, australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, n. p. 72-85, 2015.

ALFAIA, S. S.; RIBEIRO, G. A.; NOBRE, A. D.; LUIZÃO, R. C.; LUIZÃO, F. J. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western amazonia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 102, n. 3, p. 409-414, 2004.

ÁLVAREZ, J. M.; PASIAN, C.; LAL, R.; LÓPEZ NÚÑEZ, R.; FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M. Vermicompost and biochar as substitutes of growing media in ornamental-plant production. **Journal of Applied Horticulture**, v. 19, n. 3, p. 205-214, 2017.

ANDERSON, C. R.; CONDRON, L. M.; CLOUGH, T. J.; FIERS, M.; STEWART, A.; HILL, R. A.; SHERLOCK, R. R. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. **Pedobiologia**, v. 54, n. 5-6, p. 309-320, 2011.

SOUZA, A. D. G. C. D.; SILVA, S. E. L. D.; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. D. R. L. **A cultura do cupuaçu (theobroma grandiflorum (willd. Ex spreng.) Schum.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

BIRD, M. I.; ASCOUGH, P. L.; YOUNG, I. M.; WOOD, C. V.; SCOTT, A. C. X-ray microtomographic imaging of charcoal. **Journal of Archaeological Science**, v. 35, n. 10, p. 2698-2706, 2008.

BLANCO-CANQUI, H. Biochar and soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 4, p. 687-711, 2017.

BORCHARD, N.; SCHIRRMANN, M.; CAYUELA, M. L.; KAMMANN, C.; WRAGE-MÖNNIG, N.; ESTAVILLO, J. M.; FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; SIGUA, G.; SPOKAS, K.; IPPOLITO, J. A.; NOVAK, J. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N_2O emissions: A meta-analysis. **Sci Total Environ**, v. 651, n. Pt 2, p. 2354-2364, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: n. 147, 03/08/2010.

BRASIL. Instrução normativa sda nº 35, de 4 de julho de 2006. Institui normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: n. 132, 12/07/2006.

BRUUN, E. W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil c and n turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, n. p. 73-79, 2012.

BRUUN, S.; EL-ZEHERY, T. Biochar effect on the mineralization of soil organic matter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. p. 665-671, 2012.

BUSBY, J. Bioclim-a bioclimate analysis and prediction system. **Plant protection quarterly**, v. 61, n. p. 8-9, 1991.

CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S.-C.; RYU, C.; JEON, J.-K.; SHIN, M.-C.; PARK, Y.-K. Production and utilization of biochar: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, n. p. 1-15, 2016.

CHAN, K. Y.; Z. H. XU Biochar: Nutrient properties and their enhancement.. *In:* JOHANNES, L.; J. STEPHEN. **Biochar for Environmental Management***.* United Kingdom: Earthscan, 2009.

CHAPMAN, H. D. Cation-exchange capacity. *In:* CHAPMAN, H. D. **Agronomy Monographs: Methods of Soil Analysis***.* Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1965.

CHENG, C.-H.; LEHMANN, J.; THIES, J. E.; BURTON, S. D.; ENGELHARD, M. H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v. 37, n. 11, p. 1477-1488, 2006.

CLEMENT, C.; DE CRISTO-ARAÚJO, M.; COPPENS D'EECKENBRUGGE, G.; ALVES PEREIRA, A.; PICANÇO-RODRIGUES, D. Origin and domestication of native amazonian crops. **Diversity**, v. 2, n. 1, p. 72-106, 2010.

CLEMENT, C. R. A center of crop genetic diversity in western amazonia. **BioScience**, v. 39, n. 9, p. 624-631, 1989.

CLOUGH, T.; CONDRON, L.; KAMMANN, C.; MÜLLER, C. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. **Agronomy**, v. 3, n. 2, p. 275-293, 2013.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. D. M.; SANTOS, G. D. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85-93, 2009.

DELUCA, T. H.; M. J. GUNDALE; M. D. MACKENZIE; D. L. JONES Biochar effects on soil nutrient transformations. *In:* LEHMANN, J.; S. JOSEPH. **Biochar for environmental management***.* Routledge, 2015.

DINIZ, T. D. D. A. S.; BASTOS, T. X.; RODRIGUES, I. A.; MULLER, C. H.; KATO, A. K.; SILVA, M. M. M. D. Condições climáticas em áreas de ocorrência natural e de cultivo de guaraná, cupuaçu, bacuri e castanha-do-brasil. **Belém: Embrapa-CPATU**, v. n. p. 1984.

DOAN, T. T.; HENRY-DES-TUREAUX, T.; RUMPEL, C.; JANEAU, J. L.; JOUQUET, P. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in northern vietnam: A three year mesocosm experiment. **Sci Total Environ**, v. 514, n. p. 147-154, 2015.

EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; AWAD, Y. M.; YANG, X.; RYU, C.; RIZWAN, M.; RINKLEBE, J.; TSANG, D. C. W.; OK, Y. S. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. **Geoderma**, v. 332, n. p. 100-108, 2018.

ELZOBAIR, K. A.; STROMBERGER, M. E.; IPPOLITO, J. A.; LENTZ, R. D. Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an aridisol. **Chemosphere**, v. 142, n. p. 145-152, 2016.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresour Technol**, v. 114, n. p. 644-653, 2012.

FALCÃO, M. D. A.; LLERAS, E. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade do cupuaçu-theobroma grandiflorum (willd. Ex spreng.) schum. **Acta Amazonica**, v. 13, n. 5-6, p. 725-735, 1983.

GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 6, p. 2061-2069, 2008.

GHILARDI JR, R.; ALHO, C. J. R. Produtividade sazonal da floresta e atividade de forrageamento animal em habitat de terra firme da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 20, n. p. 61-76, 1990.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central amazonia: A model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, v. 362, n. 1478, p. 187-196, 2007.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

GONDIM, A. **Catálogo brasileiro de hortaliças: saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país**. Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2010.

GONDIM, T. M. S.; THOMAZINI, M. J.; CAVALCANTE, M.; DE SOUZA, J. M. L. **Aspectos Da Produção De Cupuaçu.** Rio Branco: Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E), 2001.

HAILEGNAW, N. S.; MERCL, F.; PRAČKE, K.; SZÁKOVÁ, J.; TLUSTOŠ, P. Mutual relationships of biochar and soil ph, cec, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 5, p. 2405-2416, 2019.

HAN, L.; SUN, K.; YANG, Y.; XIA, X.; LI, F.; YANG, Z.; XING, B. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. **Geoderma**, v. 364, n. p. 114184, 2020.

HONG, C.; LU, S. Does biochar affect the availability and chemical fractionation of phosphate in soils. **Environ Sci Pollut Res Int**, v. 25, n. 9, p. 8725-8734, 2018.

IBGE. **Censo agropecuário de 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html>. Acesso em: 20/02/2022, 2017.

IUPAC. **Glossary of terms used in biochar research**. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ci-2018-0317>. Acesso em: 20/03/2022, 2018.

JIEN, S.-H.; WANG, C.-C.; LEE, C.-H.; LEE, T.-Y. Stabilization of organic matter by biochar application in compost-amended soils with contrasting ph values and textures. **Sustainability**, v. 7, n. 10, p. 13317-13333, 2015.

KHAN, N.; CHOWDHARY, P.; GNANSOUNOU, E.; CHATURVEDI, P. Biochar and environmental sustainability: Emerging trends and techno-economic perspectives. **Bioresource Technology**, v. 332, n. p. 125102, 2021a.

KHAN, Z.; RAHMAN, M. H. U.; HAIDER, G.; AMIR, R.; IKRAM, R. M.; AHMAD, S.; SCHOFIELD, H. K.; RIAZ, B.; IQBAL, R.; FAHAD, S.; DATTA, R.; BAAZEEM, A.; SABAGH, A. E. L.; DANISH, S. Chemical and biological enhancement effects of biochar on wheat growth and yield under arid field conditions. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 5890, 2021b.

KHORRAM, M. S.; SARMAH, A. K.; YU, Y. The effects of biochar properties on fomesafen adsorption-desorption capacity of biochar-amended soil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 3, p. 2018.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 436-442, 2010.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

LEHMANN, J.; S. JOSEPH “Biochar for environmental management: An introduction”. *In:* LEHMANN, J.; S. JOSEPH. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. Routledge, 2015.

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, 2011.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O’NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006.

MANOLIKAKI, I.; DIAMADOPOULOS, E. Agronomic potential of biochar prepared from brewery byproducts. **J Environ Manage**, v. 255, n. p. 109856, 2020.

MORENO-RIASCOS, S.; GHNEIM-HERRERA, T. Impact of biochar use on agricultural production and climate change. A review. **Agronomía Colombiana**, v. 38, n. 3, p. 367-381, 2020.

NELISSEN, V.; RÜTTING, T.; HUYGENS, D.; STAELENS, J.; RUYSSCHAERT, G.; BOECKX, P. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 55, n. p. 20-27, 2012.

ORAM, N. J.; VAN DE VOORDE, T. F. J.; OUWEHAND, G.-J.; BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; GROENIGEN, J. W. V. Soil amendment with biochar

increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 191, n. p. 92-98, 2014.

PARK, J. H.; OK, Y. S.; KIM, S. H.; KANG, S. W.; CHO, J. S.; HEO, J. S.; DELAUNE, R. D.; SEO, D. C. Characteristics of biochars derived from fruit tree pruning wastes and their effects on lead adsorption. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 58, n. 5, p. 751-760, 2015.

PATHY, A.; RAY, J.; PARAMASIVAN, B. Biochar amendments and its impact on soil biota for sustainable agriculture. **Biochar**, v. 2, n. 3, p. 287-305, 2020.

PAULUS, G.; MULLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: EMATER-RS, 2000.

RAFIQ, M. K.; BACHMANN, R. T.; RAFIQ, M. T.; SHANG, Z.; JOSEPH, S.; LONG, R. Influence of pyrolysis temperature on physico-chemical properties of corn stover (zea mays l.) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. **PLoS One**, v. 11, n. 6, p. e0156894, 2016.

RAHMAN, G. K. M. M.; M. M. RAHMAN; M. S. ALAM; M. Z. KAMAL; H. A. MASHUK; R. DATTA; R. S. MEENA "Biochar and organic amendments for sustainable soil carbon and soil health". *In:* DATTA, R.; R. S. MEENA; S. I. PATHAN; M. T. CECCHERINI. **Carbon and nitrogen cycling in soil**. Singapore: Springer Singapore, 2020.

RIBEIRO, G. D. **A cultura do cupuacuzeiro em Rondônia**. Embrapa Rondônia-Documentos (INFOTECA-E), 2000.

RIZWAN, M.; ALI, S.; QAYYUM, M. F.; IBRAHIM, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; ABBAS, T.; OK, Y. S. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: A critical review. **Environ Sci Pollut Res Int**, v. 23, n. 3, p. 2230-2248, 2016.

RONDÔNIA. Lei ordinária nº 4.584, de 18 de setembro de 2019. Institui o novo programa de verticalização da pequena produção agrícola do estado de rondônia - prove. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**: n. 175, 19/09/2019.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo a para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010.

SOHI, S. P.; E. K.; E. LOPEZ-CAPEL; R. BOL A review of biochar and its use and function in soil. *In:* SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy**. Elsevier, 2010.

SANCHEZ-REINOSO, A. D.; ÁVILA-PEDRAZA, E. A.; RESTREPO, H. Use of biochar in agriculture. **Acta Biológica Colombiana**, v. 25, n. 2, p. 327-338, 2020.

SANTÍN, C.; DOERR, S. H.; MERINO, A.; BUCHELI, T. D.; BRYANT, R.; ASCOUGH, P.; GAO, X.; MASIELLO, C. A. Carbon sequestration potential and physicochemical properties differ between wildfire charcoals and slow-pyrolysis biochars. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 2017.

SHAABAN, A.; SE, S.-M.; DIMIN, M. F.; JUOI, J. M.; MOHD HUSIN, M. H.; MITAN, N. M. M. Influence of heating temperature and holding time on biochars derived from rubber wood sawdust via slow pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 107, n. p. 31-39, 2014.

SHENG, Y.; ZHU, L. Biochar alters microbial community and carbon sequestration

potential across different soil ph. **Sci Total Environ**, v. 622-623, n. p. 1391-1399, 2018.

SILVA, C.; MACHADO, P. **Sequestro de emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p. 2015.

SOARES, J. D. P.; SOUZA, J. A. D.; CAVALHEIRO, É. T. G. Caracterização de amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influência do ph e do tempo na adsorção de co (ii), zn (ii) and cu (ii). **Química Nova**, v. 27, n. p. 5-9, 2004.

SOMBRA, K.; E. SILVA; T. SILVA; A. VASCONCELOS; E. FERREIRA; E. P. SANTOS; D. FREITAS; W. LAVÔR; A. ESPIRITO SANTO; M. CUNHA Biochar: Resgate de uma importante ferramenta no manejo de solos. *In:* OLIVEIRA, R. J. D. **Extensão rural em foco: apoio à agricultura familiar, empreendedorismo e inovação***.* Editora Científica Digital, 2020.

SORENSEN, R. B.; LAMB, M. C. Return on investment from biochar application. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2018.

SOUZA, A.; ALVES, R. M.; DE SOUZA, M. G. Theobroma grandiflorum cupuaçuzeiro. **Embrapa Amazônia Ocidental-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, v. n. p. 2017.

SUMNER, M. E.; W. P. MILLER Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In:* SPARKS, D. L.; A. L. PAGE; P. A. HELMKE; R. H. LOEPPERT. **Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods***.* Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996.

SUN, H.; ZHANG, Y.; YANG, Y.; CHEN, Y.; JEYAKUMAR, P.; SHAO, Q.; ZHOU, Y.; MA, M.; ZHU, R.; QIAN, Q.; FAN, Y.; XIANG, S.; ZHAI, N.; LI, Y.; ZHAO, Q.; WANG, H. Effect of biofertilizer and wheat straw biochar application on nitrous oxide emission and ammonia volatilization from paddy soil. **Environ Pollut**, v. 275, n. p. 116640, 2021.

TEODORO, M. S.; SEIXAS, F. J. S.; LACERDA, M. N.; ARAÚJO, L. M. S. Produção de alface (lactuca sativa l.) sob diferentes doses de vermicomposto. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 18, 2016.

VILLACHICA, H.; DE CARVALHO, J. E. U.; MERCADO, R. S.; IZQUIERDO, J.; EGG, A. B. **Frutales y hortalizas promisorios de la amazonia**. Tratado de Cooperación Amazonica, Secretaría Pro-Tempore, 1996.

WANG, J.; XIONG, Z.; KUZYAKOV, Y. Biochar stability in soil: Meta-analysis of decomposition and priming effects. **GCB Bioenergy**, v. 8, n. 3, p. 512-523, 2016.

WENG, Z. H.; VAN ZWIETEN, L.; SINGH, B. P.; TAVAKKOLI, E.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; MACDONALD, L. M.; COWIE, A. The accumulation of rhizodeposits in organo-mineral fractions promoted biochar-induced negative priming of native soil organic carbon in ferralsol. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 118, n. p. 91-96, 2018.

WIEDNER, K.; B. GLASER Traditional use of biochar. *In:* LEHMANN, J.; S. JOSEPH. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation***.* Routledge, 2015.

YANG, F.; ZHOU, Y.; LIU, W.; TANG, W.; MENG, J.; CHEN, W.; LI, X. Strain-specific effects of biochar and its water-soluble compounds on bacterial growth. **Applied Sciences**, v. 9, n. 16, p. 3209, 2019.

YANG, X.; LIU, J.; MCGROUTHER, K.; HUANG, H.; LU, K.; GUO, X.; HE, L.; LIN, X.; CHE, L.; YE, Z.; WANG, H. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (cd, cu, pb, and zn) and enzyme activity in soil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 974-984, 2016.

ZHAO, Q.; XU, T.; SONG, X.; NIE, S.; CHOI, S. E.; SI, C. Preparation and application in water treatment of magnetic biochar. **Front Bioeng Biotechnol**, v. 9, n. p. 769667, 2021.

ZHU, X.; CHEN, B.; ZHU, L.; XING, B. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: A review. **Environ Pollut**, v. 227, n. p. 98-115, 2017.

ZORNOZA, R.; MORENO-BARRIGA, F.; ACOSTA, J. A.; MUÑOZ, M. A.; FAZ, A. Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. **Chemosphere**, v. 144, n. p. 122-130, 2016.

CAPÍTULO 2

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CASCA DE CUPUAÇU NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UMA ANÁLISE A PARTIR DE TRABALHOS CIENTÍFICOS

RESUMO

A necessidade de preservação ambiental faz com que as indústrias procurem soluções para minimizar os impactos gerados por seus resíduos, passando a adquirir novos conceitos na busca de alternativas técnicas que vise à sustentabilidade de suas atividades. O objetivo deste trabalho foi identificar propostas de potenciais destinações para a casca de cupuaçu. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática de literatura analisando resultados encontrados em três bancos de dados: Scopus, Web of Science e Google Scholar. Foram selecionados trabalhos que apresentaram resultados positivos utilizando a casca de cupuaçu para destinação e finalidade proposta. Os resultados obtidos demonstram uma variedade de destinações, tendo uma maior quantidade de trabalhos aproveitando a casca como substrato para plantas e fungos. Todas as propostas de aproveitamento têm potencial de reduzir impactos ambientais provenientes do processamento do fruto, entretanto dependente da realidade regional.

Palavras-chave: Revisão de literatura, destinações potenciais, resíduos industriais

ABSTRACT

The need for environmental preservation makes industries look for solutions to minimize the impacts generated by their wastes, starting to acquire new concepts and seeking technical alternatives aimed at the sustainability of their activities. The aim of this work was to search for proposals for potential destinations for cupuaçu husk. For this, a systematic literature review was conducted analyzing results found in the databases Scopus, Web of Science and Google Scholar. We selected studies that obtained positive results using cupuaçu shell for destination and proposed purpose. Our results demonstrate a variety of destinations with a greater amount of work taking advantage of the shell as a substrate for plants and fungi. All utilization proposals have the potential to reduce environmental impacts from fruit processing, however dependent on regional reality.

Keywords: Literature review, potential destinations, industrial waste

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população humana desencadeia proporcionalmente a geração de resíduos de várias classes. Não diferente, as indústrias para atender as demandas da sociedade acabam por gerar mais resíduos e, no caso de desenvolvimento de novos produtos, há a possibilidade de geração de novos tipos de resíduos cuja destinação adequada pode não ser uma tarefa trivial. O Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo e entre os produtos derivados estão sucos, polpas, geleias e outros, com grandes quantidades de resíduos gerados nestes

processamentos (OKINO-DELGADO; PRADO; FLEURI, 2018).

Em especial, as indústrias de polpas de frutas geram toneladas de resíduos, sendo as cascas e sementes os mais significativos, que variam de proporção conforme o fruto, o que representa um alto custo para destinação correta objetivando reduzir os impactos ambientais. A polpa de cupuaçu é de origem do fruto do cupuaçuzeiro, que é constituído de 45,2% de casca, seguidos de 37,3% de polpa, 15% de sementes e 2,5% de placenta (SOUZA et al., 1999).

Tanto a fruta quanto a polpa do cupuaçu possuem uma boa aceitação no mercado consumidor (PEREIRA; ABREU; RODRIGUES, 2018) e com o sucesso regional do produto a produção cresceu em Rondônia entre 2016 e 2017, cerca de 21,6% em massa do fruto (RONDÔNIA, 2017). No entanto, algumas agroindústrias de polpas de cupuaçu em Rondônia não exploram de forma eficaz os resíduos, gerando ao final do processo toneladas de resíduos orgânicos sem destinação adequada (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Descarte irregular de resíduos da polpa de casca de cupuaçu em diferentes agroindústrias em Cacoal, Rondônia.

O descarte industrial dos subprodutos do cupuaçu implica em afronta à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), uma vez que há deposição de grandes quantidades em pequena área não qualificada para recepção de resíduos e como essa geração não é equiparada à geração doméstica, é de responsabilidade do proprietário o gerenciamento dos resíduos (BRASIL, 2010). Os resíduos poluentes gerados na produção industrial apresentam um forte impacto no meio ambiente caso não haja uma correta destinação. Levando em consideração que a geração de resíduos, mesmo que controlada, é inevitável, o foco deve ser no seu

reaproveitamento, visto o potencial para gerar outros subprodutos (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). Dessa forma, agregar valor aos resíduos, além de mitigar impactos ambientais, é uma oportunidade de negócio, tornando o resíduo-custo em produto-faturamento e com possibilidade de geração de novos empregos (KNIESS et al., 2019). No âmbito social, as ações sustentáveis podem ser cruciais para criar a consciência ecológica aos consumidores com 'princípios verdes' bem definidos (PEATTIE; CHARTER, 2003).

Um caso notório de aproveitamento de resíduo no Brasil, vem da indústria sucroalcooleira. O bagaço de cana de açúcar é um resíduo potencialmente poluente quando depositado de maneira irregular, entretanto processos foram desenvolvidos a fim realizar a hidrólise da celulose do bagaço em açúcares utilizados para a produção de álcool etílico, processo denominado álcool de segunda geração (DE SOUZA et al., 2013). Outro caso de sucesso deste setor é a utilização da vinhaça, a qual é um resíduo proveniente da destilaria, no plantio de cana de açúcar substituindo os fertilizantes potássicos.

Entre as possibilidades para aproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva do cupuaçu, para a casca está o aproveitamento energético tanto *in-natura* quanto a partir do carvão da casca. Para sementes há finalidades de utilização na indústria, desde cosméticos até alimentos (CALZAVARA; MÜLLER; KAHWAGE, 1984).

Para a casca a situação é mais complexa, pois são gerados aproximadamente 450 kg de casca por tonelada do fruto processada, ou seja, 3 vezes a mais que sementes, além de ocupar espaços significativos para deposição, elevando os custos das agroindústrias e em casos de deposição irregular sofrer sanções ambientais. Nesse sentido, é importante o rastreio de alternativas desenvolvidas para o aproveitamento de casca de cupuaçu que possam servir de base para essas indústrias ou a comunidade científica.

Este trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico em caráter exploratório de propostas para o aproveitamento da casca de cupuaçu, assim como, discutir e identificar estratégias que possam minimizar os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado.

2 METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura utilizando bases de

dados científicas para obtenção de artigos, dissertações e teses que tenham como tema o aproveitamento da casca de cupuaçu, por meio de um método sistemático, explícito e reproduzível (FINK, 2014). O trabalho de revisão é dividido em 5 processos (Figura 2.2) e teve como base os trabalhos desenvolvidos por SEREJO et al. (2021) e SYAHMANI et al. (2021).

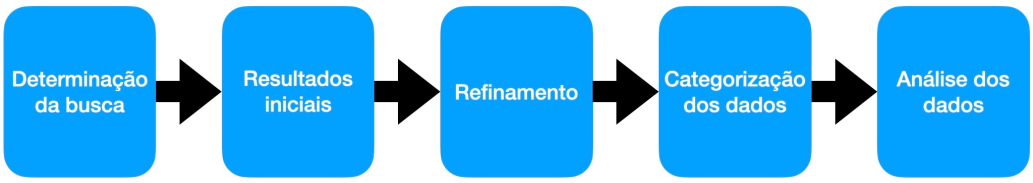


Figura 2.2 - Cinco passos da revisão da literatura no presente trabalho.

Para a determinação da busca as palavras chaves utilizadas foram cupuaçu, casca, aproveitamento e as respectivas traduções para inglês e espanhol. A busca na literatura foi realizada em fevereiro de 2022 utilizando as seguintes expressões nos respectivos idiomas: "cupuaçu AND casca AND aproveitamento"; “(rind OR shell OR husk OR peel OR bark) AND (cupuassu OR cupuacu) AND use"; "copoazú AND cáscara AND uso".

As bases Web of Science (WOS), Scopus (SC) e Google Scholar (GS) foram escolhidas como banco de dados, sendo a pesquisa em inglês realizada em todos, enquanto português e espanhol somente no GS. A inclusão do idioma português e espanhol deve-se a uma importância regional do assunto.

O software Publish or Perish (PP) (HARZING, 2016) foi utilizado para a pesquisa e filtro iniciais nos bancos de dados. A pesquisa foi realizada sem limitação de ano utilizando as expressões supracitadas no campo *keywords* do programa, limitando-se o número de resultados a 200 por busca.

Os refinamentos da busca foram realizados manualmente. Um arquivo de exportação no formato RIS (Research Information Systems) foi gerado unindo todos os idiomas e então importados ao software de bibliografias Zotero para realização do refinamento. As referências foram preenchidas no caso de dados faltantes ou corrigidos caso necessário. O refinamento consistiu em 4 etapas:

1 Exclusão de entradas duplicadas ou redundantes como no caso de tese ou dissertação com artigo publicado;

2 Exclusão de entradas que não se encaixam como artigos científicos[3], dissertações de mestrado ou tese de doutorado;

3 Verificação no resumo da possível destinação da casca de cupuaçu excluindo os que não possuem e;

4 Leitura completa do trabalho e exclusão de entrada a qual documento não está disponível, ou resultados no trabalho com a casca de cupuaçu não são relevantes, ou que não apresentam uma finalidade para destinação do resíduo.

Após o refinamento as referências foram exportadas para o software Excel para categorização em ano da publicação, destinação proposta, finalidade da destinação, tipo de trabalho e instituição do autor principal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca resultou em 624 trabalhos (Tabela 2.1), tendo após a realização dos refinamentos manuais, sido qualificados para categorização e análise 32 trabalhos: 22 artigos científicos, 4 teses de doutorado e 6 dissertações.

Tabela 2.1 - Quantitativo de resultados iniciais gerados com as palavras

Idioma	WOS	SC	GS
Inglés	10	14	200
Portugês	-	-	200
Espanhol	-	-	200

A distribuição temporal da publicação dos trabalhos se encontra na Figura 2.3. Observa-se nesta que há uma produção pequena, entretanto contínua, de trabalhos que envolvem a destinação da casca de cupuaçu.

[3] Trabalhos provenientes de encontros foram excluídos

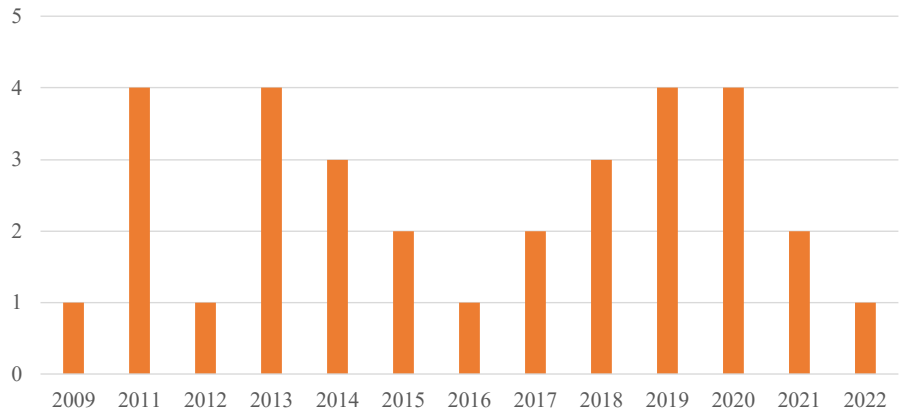


Figura 2.3 - Distribuição temporal de trabalhos que envolvem uma destinação a casca de cupuaçu a partir de consultas a base de dados WOS, SC e GS de acordo com os critérios estabelecidos, estando contabilizados artigos, dissertações e teses.

Os trabalhos com a destinação de casca de cupuaçu (Figura 2.4) concentram-se principalmente na Universidade Federal do Amazonas, a qual detém 35% dos estudos. No total foram identificadas 18 instituições de pesquisas, sendo que sete destas localizadas na região Norte do Brasil. Isso se deve ao fato do cupuaçu ser uma fruta endêmica do bioma amazônico, onde ocorrem as melhores condições edafoclimáticas para o cultivo do cupuaçuzeiro. Como as indústrias que processam o fruto não ficam distantes do local de cultivo, estudos de soluções para o descarte irregular de casca ficam concentrados onde ocorre o problema.

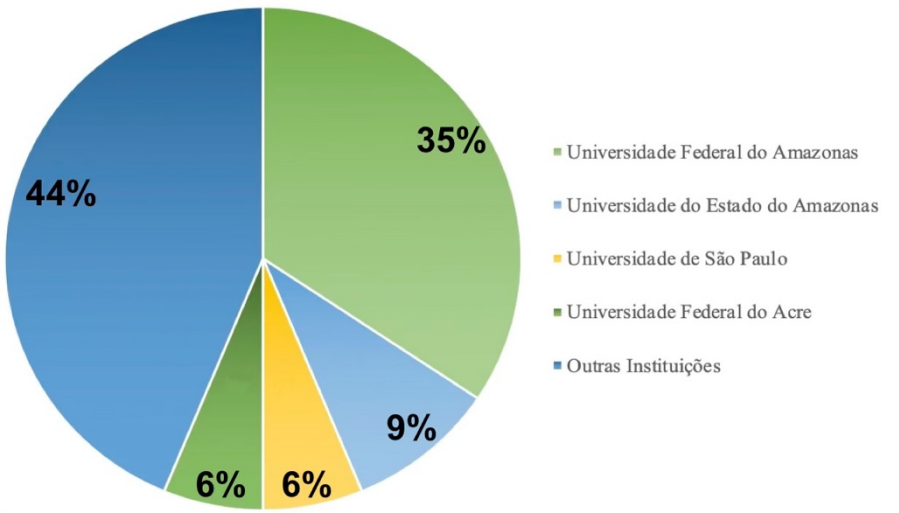


Figura 2.4 - Distribuição de trabalhos por instituição do autor principal, são nominadas somente as quatro instituições com maior número de trabalhos. O grupo Outras Instituições representa Instituições que apresentam um único trabalho.

Analisando as potenciais destinações para a casca de cupuaçu nesse levantamento bibliográfico estas foram segmentadas em nove categorias de destinações gerais (Figura 2.5): biosorventes, farinhas, biomassas, matéria-prima para biorefinarias, substratos, biochar, aditivos, rações e compostos.

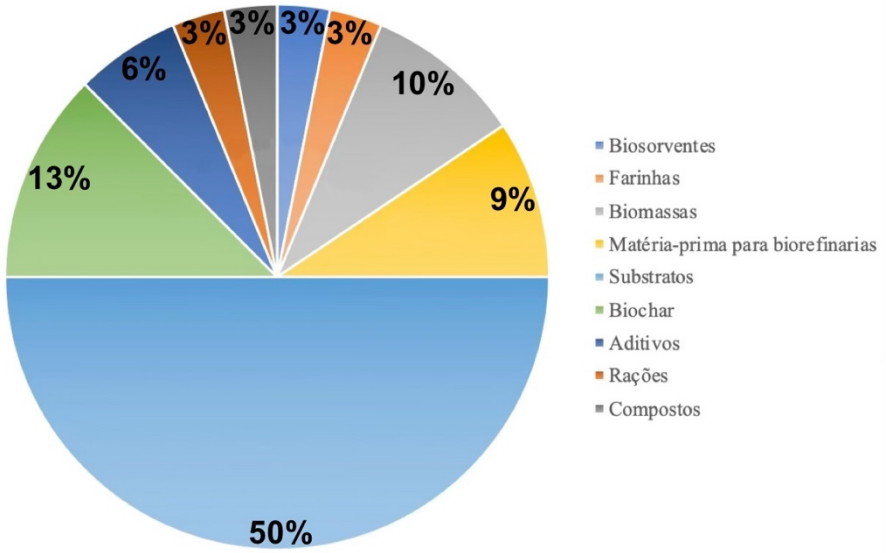


Figura 2.5 - Distribuição de trabalhos por categorias de destinações**.** O azul mais claro (50%) representa a categoria substratos, o azul médio (3%) representa a categoria biosorventes, azul escuro (6%) a categoria de aditivos. Laranja claro (3%) representa a categoria farinhas, laranja escuro (3%) a categoria rações. Cinza claro (10%) representa categoria de biomassas, cinza escuro (3%) a categoria de compostos.

Verifica-se que as principais proposições de uso de casca de cupuaçu envolvem a utilização desta como substrato, seguido de biochar e matéria-prima para biorefinarias.

A distribuição anual por categorias de destinações da casca de cupuaçu (Figura 2.6) mostra que os estudos que destinam a casca de cupuaçu como substratos é contínuo, o que explica a maior concentração de trabalhos nesta categoria. Já a utilização como biochar e matéria prima para biorefinarias são mais recentes.

Na categoria de destinação de compostos contém um trabalho elaborado por DIAS (2012). Esta categoria de destinação utiliza da casca de cupuaçu em conjunto com outros resíduos para a compostagem. O composto produzido por DIAS (2012) utiliza casca de cupuaçu como fonte de carbono e estercos, cama de aviário e ramos como fonte de nitrogênio, com a finalidade de produzir mudas de tucumãzeiro. Os resultados foram positivos, indiferentemente de quais combinações de materiais

foram aplicados, demonstrando que a produção de compostos a partir de casca de cupuaçu é uma solução simples e com grande potencial de diminuir os impactos gerados pelas agroindústrias processadoras do fruto cupuaçu.

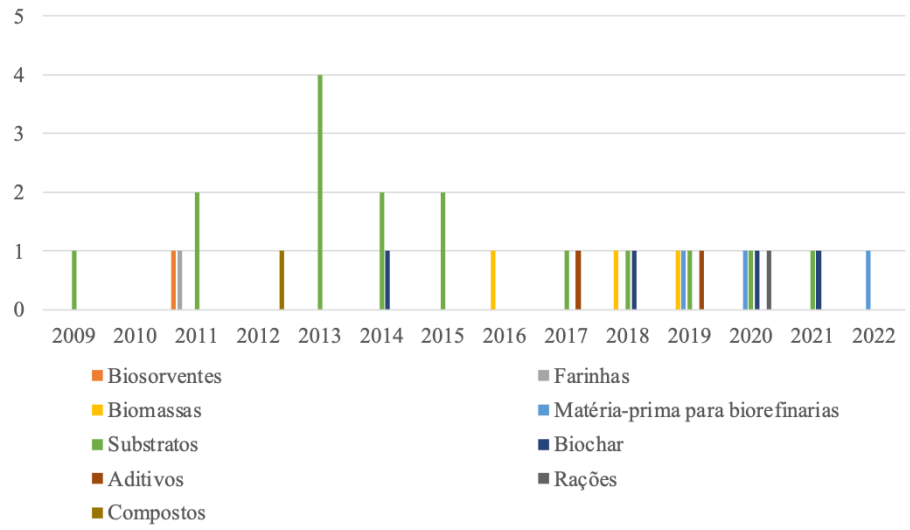


Figura 2.6 - Distribuição anual de trabalhos por categorias de destinações

Os compostos orgânicos produzidos com a casca de cupuaçu podem ser destinados não só para produção de mudas como também para diferentes cultivos. Esta tecnologia pode ser transmitida a grupos de agricultores que usam sistemas de produção orgânica e que estão próximos das agroindústrias que processam o cupuaçu, pois estes grupos têm a compostagem como uma das ferramentas de produção de fertilizantes orgânicos (PAULUS; MULLER; BARCELLOS, 2000). Neste sentido se obtém uma sinergia que geram benefícios a ambos, agroindústria e agricultores

A categoria de destinação biosorventes é composta por um trabalho desenvolvido por CARDOSO et al. (2011), um dos trabalhos pioneiros no reaproveitamento de casca de cupuaçu. Nesta destinação, utiliza-se da casca de cupuaçu *in-natura* triturado como adsorvente de compostos químicos que podem impactar o ambiente. O trabalho de CARDOSO et al. (2011) teve como finalidade a remoção de corantes utilizados em indústrias têxteis e apresentou resultados positivos com utilização da casca de cupuaçu.

Uso do biosorvente de casca de cupuaçu necessita de mais estudos com relação ao custo-benefício para indústria têxtil substituir o carvão ativado por este produto. Apesar do carvão ativado ter custo alto, adequações industriais e logística

para adoção deste biosorvente podem não ser vantajosos. Esta categoria de destinação tem campos abertos de estudos, como a adsorção de metais pesados pela utilização de biosorvente de casca de cupuaçu (VOLESKY; HOLAN, 1995).

A categoria de destinação farinhas contempla o processamento da casca de cupuaçu em um material fino para alimentação humana. Nesta categoria, foi encontrado um trabalho realizado por SALGADO et al. (2011), o qual utiliza a farinha de casca de cupuaçu com finalidade de fabricação de pães integrais, substituindo entre 1 a 6% a farinha de trigo. Segundo os autores, os pães apresentaram uma boa aceitação pelo consumidor.

A categoria de destinação rações processa a casca de cupuaçu em um material fino com objetivo de alimentação de animais. Nesta categoria contém um trabalho que utiliza a casca para alimentação do cateto (*Pecari tajacu*) (ANDRADE et al., 2020). A casca de cupuaçu é rica em materiais lignocelulósicos, e animais adaptados a digestão de materias fibrosos podem em tese ser alimentados com rações com base em casca de cupuaçu, como o caso do cateto.

ANDRADE et al. (2020) utilizaram a casca de cupuaçu substituindo parcialmente o milho, a ração tem como base casca de cupuaçu (1 a 30%), milho, farelo de soja, sal e um complexo vitamínico. Os resultados demonstraram que o peso dos animais com a substituição de até 10% do milho pela casca são equivalentes a ração controle. O resultado é interessante pelo potencial de reduzir custos de uma ração de cateto, assim como, a diminuição dos impactos ambientais da casca de cupuaçu. A utilização da casca de cupuaçu como ração tem limitações, pois a viabilidade econômica (custos logísticos) se restringe a regiões onde há criações de cateto e disponibilidade da casca próximas, no entanto, o trabalho abre oportunidades para estudos com outras espécies que digerem materiais lignocelulósicos, a exemplo ruminantes (SOUZA, 2001), com a possibilidade de ampliar as aplicações.

A categoria de destinação aditivos é composto por estudos que adicionam a casca de cupuaçu a determinados processos de fabricação com finalidades diversas. Nesta categoria foram encontrado dois trabalhos, o primeiro com finalidade de uso da casca como retardante da cura de poliéster (MENDONÇA, 2019) e o segundo de substituir parcialmente os agregados de um bloco de vedação de concreto (LIMA; CASTRO, 2017).

No trabalho de MENDONÇA (2019) foram utilizadas pequenas frações de casca em pó que são adicionadas à resina insaturada de poliéster para ocasionar o

retardo da cura. Os resultados foram positivos quanto ao efeito do retardo, entretanto o produto apresentou perdas na resistência a tração. LIMA; CASTRO (2017) utilizam quantidades maiores de casca de cupuaçu com substituições de 15 e 30% do material agregado pela a casca. Os resultados foram satisfatórios para resistência a compressão. Estudos devem ser conduzidos no sentido de otimizar o uso da casca de cupuaçu e o processo de produção para atender às normativas, viabilidade econômica e de qualidade, devido ao potencial de redução de impactos ambientais, tanto pela utilização de quantidades significativas de resíduo da casca, como também a diminuição de uso de agregados como o caso areia, cuja exploração provoca impactos ambientais.

A categoria de destinação biomassa é composto por trabalhos que estudam a casca de cupuaçu para a finalidade de geração de energia. Nesse grupo foram encontrados 3 trabalhos (REIS et al., 2019; COELHO; GARCILASSO, 2018; LISBOA, 2016) que atendem aos critérios estabelecidos pela presente pesquisa. Os trabalhos consistem, no geral, da utilização da biomassa de casca de cupuaçu para geração de energia por meio de sistemas de gaseificações (COELHO; GARCILASSO, 2018; LISBOA, 2016).

COELHO; GARCILASSO (2018) estudaram o uso desta aplicação em comunidades isoladas. De acordo com os autores, os investimentos iniciais do gaseificador e treinamento são as maiores barreiras para esta utilização. Em contrapartida, os benefícios ambientais ultrapassam a destinação adequada para casca de cupuaçu, já que em algumas comunidades a matriz elétrica é com base no óleo diesel, além de benefícios a essas comunidades.

A categoria de destinação matéria prima para biorefinarias abrange trabalhos que estudam o potencial da casca de cupuaçu na obtenção de substâncias químicas que são peças fundamentais na síntese de compostos com valor agregado. Biorefinarias é um termo amplo para indústrias que processam biomassa vegetal com finalidades diversas, que vão de geração de energia renovável a compostos ou até combinações de ambas (CHERUBINI et al., 2009). Foram encontrados 3 trabalhos (MARASCA et al., 2022; BORGES et al., 2020; SANTANDER OLIVEROS et al., 2019), os quais utilizaram a casca de cupuaçu para este objetivo.

O estudo de SANTANDER OLIVEROS et al. (2019) é baseado na gaseificação do carvão de casca de cupuaçu para obtenção do gás de síntese, sendo este composto principalmente de hidrogênio, monóxido de carbono e outros, os quais

podem ser utilizados na síntese de hidrocarbonetos (PALA et al., 2017). BORGES et al. (2020) estudou a obtenção do compostos furanos enquanto MARASCA et al. (2022), além de furanos, estudaram os compostos a partir do bio-óleo da pirólise da casca de cupuaçu com viés econômico, demonstrando o potencial desta utilização.

A categoria de destinação biochar incluem trabalhos que utilizam a fase sólida da pirólise da casca de cupuaçu. A fase sólida da pirólise ao final do processo de produção pode receber denominações como biochar, carvão ativado e carvões, dependendo da finalidade de uso (HAGEMANN et al., 2018). Entretanto, por definição, neste grupo estão inclusos trabalhos com finalidade de adsorção, catalisadores ou condicionadores de solo. Foram encontrados apenas 4 trabalhos neste grupo, mas nenhum destinado a uso como condicionador de solo. BRITO et al. (2020) utilizaram o biochar de casca de cupuaçu para adsorção de corante têxtil, enquanto SERAFIN et al. (2021) para a adsorção de gás carbônico e CRUZ JUNIOR (2018) para a adsorção de gás carbônico e metano. SANTOS (2014) utilizou o biochar como suporte para o ácido 12-tungstofosfórico, obtendo catalisadores de reações de esterificações com possibilidade de reutilização do catalisador.

A categoria de destinação substrato é composto por trabalhos que utilizam a casca de cupuaçu como base para o desenvolvimento de espécies vegetais ou fungos. Esta destinação, como substrato, é a mais sugerida para casca de cupuaçu, com 16 trabalhos registrados.

Para o desenvolvimento de vegetais encontram-se 4 trabalhos, os quais envolvem o desenvolvimento de mudas de açaizeiro (ARAÚJO et al., 2020), mudas de maracujazeiro (MENDES et al., 2019) e orquídeas (OLIVEIRA; SOUZA , 2017). No trabalho de SOARES et al. (2014) verificou-se o potencial da casca de cupuaçu como substrato para o desenvolvimento de vegetais.

Os usos da casca de cupuaçu como substrato pode ser adaptado e estudado para outras espécies de plantas para atender às necessidades locais, entretanto o desenvolvimento de substratos comerciais a base de casca de cupuaçu para plantas ornamentais pode ser uma alternativa promissora devido à natural demanda.

Para o desenvolvimento de fungos, as finalidades são diversas, seja para produção de cogumelos para alimentação humana ou produção de enzimas de interesse comercial, sendo no total encontrados 12 trabalhos. Os fungos alvos destes estudos são lignolíticos que degradam a casca de cupuaçu para o seu desenvolvimento, como *Pleurotus ostreatoroseus*, conhecido como cogumelo ostra,

Lentinula edodes, conhecido como cogumelo shiitake, *Lentinus citrinus*, *Aspergillus brasiliensis, Ganoderma lucidum* e *Pycnoporus sanguineus*, entre outros.

As enzimas produzidas por fungos possuem uma gama de aplicações, as quais dependem da função da enzima estudada, a exemplo da lacase produzida por GOLVEIA et al. (2018) em substrato a base casca de cupuaçu. A lacase foi destinada à degradação do estrogênio sintético 17-A-ethinylestradiol, um micropoluidor agressivo. Esta enzima é uma das mais estudadas no mundo devido a capacidade de processar uma variedade de compostos fenólicos e não fenólicos (MAYOLO-DELOISA; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ; RITO-PALOMARES, 2020).

A produção de enzimas utilizando a casca de cupuaçu como base para substrato fúngico apresenta grande potencial, já que a otimização de produção industrial de enzimas depende do substrato utilizado para haver sucesso na operação (LIZARDI-JIMÉNEZ e HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, 2017). A produção de cogumelos comestíveis também apresenta potencial principalmente para enriquecimento de alimentos. Nesse sentido, o trabalho de CASTILLO (2009) gerou uma patente (PI 1102270-1) referente a produção de um substrato a base de casca de cupuaçu para o desenvolvimento do fungo *Lentinus citrinus*, o qual é uma fonte proteica com baixo teor de gorduras.

Conforme os resultados obtidos por esta pesquisa, é apresentada uma variedade interessante de propostas de aproveitamento para a casca de cupuaçu, que vão desde soluções simples até as altamente tecnológicas. No geral, são trabalhos pioneiros de pesquisa básica, necessitando de maior aprofundamento para o desenvolvimento do processo de produção, viabilidade sócio-econômica-ambiental e aceitação do produto para aplicações industriais, e consequentemente alavancar o desenvolvimento regional sustentável.

Além do foco no fortalecimento das atuais agroindústrias e comunidades rurais, o estudo sobre reaproveitamento da casca de cupuaçu deve considerar a realidade regional, a qual é bastante diversa, em específico na região Norte do Brasil. Portanto, é necessário a continuidade de estudos de alternativas de reaproveitamento que tenham estes pontos de vista como premissas.

Apesar dos esforços da comunidade científica em identificar oportunidades para a casca de cupuaçu, as agroindústrias são as responsáveis pelo gerenciamento de seus resíduos, devendo estas investir em seus parques fabris para adequações dos locais para a deposição da casca de cupuaçu, ou agregar valor a seus resíduos

e comercializar ou incentivar a reutilização por terceiros com as diversas possibilidades existentes.

Novas soluções de destinações para a casca de cupuaçu devem contabilizar a logística do resíduo de uma agroindústria até o local de seu aproveitamento, já que o custo de transporte pode tornar o reaproveitamento impeditivo. Neste sentido o biochar de casca de cupuaçu como condicionador de solos tem uma nítida vantagem, pois sua fabricação e utilização seria na mesma região da agroindústria.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, utilizamos uma revisão de literatura sistemática para mostrar oportunidades para o reaproveitamento da casca de cupuaçu, descrevendo o que já foi realizado e relatando áreas potenciais de maior exploração. Foram encontrados 32 trabalhos categorizados em 9 categorias de destinações, apontando soluções que variam de grau tecnológico de baixo a elevado. As aplicações encontradas na literatura apresentam grande potencial para o reaproveitamento da casca de cupuaçu, sendo relatado uma diversidade de destinações e finalidades de uso que podem ser rentáveis, ou ao menos reduzir os impactos da deposição irregular deste resíduo. Diante da diversidade regional, não está exaurida a exploração de oportunidades para a casca de cupuaçu que permitam reduções de impactos negativos ao ambiente, fortaleçam a agroindústria familiar, a fixação da família no campo e/ou aumentem a renda familiar.

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. C. M.; ALTINO, V. S.; TUMA, N. N.; MARTINS, K. P. M.; DA COSTA, E. S. Utilização de subprodutos regionais na alimentação de caitetus (pecari tajacu) em cativeiro na amazônia central. **Revista Agroecossistemas**, v. 12, n. 1, p. 112, 2020.

SOUZA, A. D. G. C. D.; SILVA, S. E. L. D.; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. D. R. L. **A Cultura Do Cupuaçu (Theobroma Grandiflorum (Willd. Ex Spreng.) Schum.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

ARAÚJO, C. S. D.; LUNZ, A. M. P.; SANTOS, V. B. D.; ANDRADE NETO, R. D. C.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, R. S. D. Use of agro-industry residues as substrate for the production of euterpe precatoria seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, n. p. 2020.

BORGES, M. S.; BARBOSA, R. S.; RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; SCAPIN, E. Evaluation of residual biomass produced in cerrado tocantinense as potential raw biomass for biorefinery. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. n. p. 2020.

BRITO, M. J. P.; BORGES, J. F.; DE OLIVEIRA, T. P.; SANTOS, M. P. F.; DE SOUZA JÚNIOR, E. C.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; VELOSO, C. M. Royal blue dianix cc dye adsorption onto biochars: Kinetics, diffusion modeling, equilibrium and thermodynamic adsorption data. **Desalination and water treatment**, v. 197, n. p. 424-437, 2020.

CALZAVARA, B. B. G.; MÜLLER, C. H.; KAHWAGE, O. D. N. **Fruticultura Tropical: O Cupuaçuzeiro: Cultivo, Beneficiamento E Utilização Do Fruto.** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1984.

CARDOSO, N. F.; LIMA, E. C.; PINTO, I. S.; AMAVISCA, C. V.; ROYER, B.; PINTO, R. B.; ALENCAR, W. S.; PEREIRA, S. F. P. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011.

CASTILLO, T. A. **Caracterização fisiológica, produção de biocompostos e biomassa em substrato agroflorestal amazônico de pleurotus e lentinus**. Universidade Federal do Amazonas. Tese, 2009.

CHERUBINI, F.; JUNGMEIER, G.; WELLISCH, M.; WILLKE, T.; SKIADAS, I.; VAN REE, R.; DE JONG, E. Toward a common classification approach for biorefinery systems. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 3, n. 5, p. 534-546, 2009.

COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P. Geração de eletricidade em comunidades isoladas a partir de resíduos de biomassa: Uma opção para a região amazônica. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, p. 2018.

CRUZ JUNIOR, O. F. **Carvões ativados a partir de resíduos de biomassa de espécies amazônicas utilizando diferentes processos de carbonização para armazenamento de gases**. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese, 2018.

DE SOUZA, A. P.; LEITE, D. C. C.; PATTATHIL, S.; HAHN, M. G.; BUCKERIDGE, M. S. Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: Implications for second-generation bioethanol production. **BioEnergy Research**, v. 6, n. 2, p. 564-579, 2013.

DIAS, L. C. **Produção de composto orgânico a base de casca do fruto de cupuaçuzeiro e sua utilização na formação de mudas de tucumãzeiro**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Dissertação, 2012.

FINK, A. **Conducting Research Literature Reviews**. SAGE Publications, 2014.

GOLVEIA, J. C. S.; SANTIAGO, M. F.; SALES, P. T. F.; SARTORATTO, A.; PONEZI, A. N.; THOMAZ, D. V.; GIL, E. S.; F BARA, M. T. Cupuaçu (theobroma grandiflorum) residue and its potential application in the bioremediation of 17-α-ethinylestradiol as a pycnoporus sanguineus laccase inducer. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v. 48, n. 6, p. 541-548, 2018.

HAGEMANN, N.; SPOKAS, K.; SCHMIDT, H.-P.; KÄGI, R.; BÖHLER, M.; BUCHELI, T. Activated carbon, biochar and charcoal: Linkages and synergies across pyrogenic carbon's abcs. **Water**, v. 10, n. 2, p. 182, 2018.

HARZING, A.-W. **Publish or perish**. Disponível em: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>. Acesso em: 01/02/2022, 2016.

KNIESS, C. T.; COSTA, P. R. D.; QUONIAM, L.; SANTOS, A. M. D. Utilização do resíduo resultante da combustão de carvão mineral em usinas termelétricas na produção de novos materiais: Uma análise a partir de artigos científicos e de patentes.

Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 13, n. 1, p. 76-93, 2019.

LIMA, M. C. R.; CASTRO, D. D. F. Estudo da viabilidade do adicionante de casca de cupuaçu em concreto sob o aspecto da resistência a compressibilidade. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 1, p. 2017.

LISBOA, F. C. *Carbonização E Gaseificação De Resíduos Da Macaúba, Tucumã E Cupuaçu Para Geração De Eletricidade*. Universidade de Brasília. Tese, 2016.

LIZARDI-JIMÉNEZ, M. A.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, R. Solid state fermentation (ssf): Diversity of applications to valorize waste and biomass. **3 Biotech**, v. 7, n. 1, p. 44, 2017.

MARASCA, N.; BRITO, M. R.; RAMBO, M. C. D.; PEDRAZZI, C.; SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D. Analysis of the potential of cupuaçu husks (theobroma grandiflorum) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy generation. **Food Science and Technology**, v. 42, n. p. 2022.

MAYOLO-DELOISA, K.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M.; RITO-PALOMARES, M. Laccases in food industry: Bioprocessing, potential industrial and biotechnological applications. **Front Bioeng Biotechnol**, v. 8, n. p. 2020.

MENDES, R. F.; DE ARAÚJO, J. C.; ANDRADE NETO, R. D. C.; DE ARAÚJO, J. M.; GUILHERME, J. P. M. Crescimento de mudas de maracujazeiro em substrato alternativo com fertilizante de liberação controlada. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 04, p. 34-40, 2019.

MENDONÇA, R. *Pericarpo De Cupuaçu (Theobroma Grandiflorum) Como Aditivo Retardante Da Cura De Poliéster*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tese, 2019.

NASCIMENTO FILHO, W. B. D.; FRANCO, C. R. Potential assessment of waste produced through the agro-industrial processing in brazil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

OKINO-DELGADO, C. H.; PRADO, D. Z.; FLEURI, L. F. Brazilian fruit processing, wastes as a source of lipase and other biotechnological products: A review. **An Acad Bras Cienc**, v. 90, n. 3, p. 2927-2943, 2018.

OLIVEIRA, J. M. F. D.; SOUZA, A. G.; Seedling production cattleya eldorado in substrates with nutritive solution under shading screens. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 4, p. 114-125, 2017.

PALA, L. P. R.; WANG, Q.; KOLB, G.; HESSEL, V. Steam gasification of biomass with subsequent syngas adjustment using shift reaction for syngas production: An aspen plus model. **Renewable Energy**, v. 101, n. p. 484-492, 2017.

PAULUS, G.; MULLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia Aplicada: Práticas E Métodos Para Uma Agricultura De Base Ecológica**. Porto Alegre: EMATER-RS, 2000.

PEATTIE, K.; M. CHARTER “Green marketing”. *In:* BAKER, M. **The marketing book**. Butterworth-Heinemann Jordan Hill, Oxford, UK, 2003.

PEREIRA, A. L. F.; V. K. G. ABREU; S. RODRIGUES “Cupuassu—theobroma grandiflorum”. *In:* RODRIGUES, S.; E. D. O. SILVA; E. S. D. BRITO. **Exotic Fruits**. 2018.

REIS, J. S.; ARAUJO, R. O.; LIMA, V. M. R.; QUEIROZ, L. S.; DA COSTA, C. E. F.;

PARDAUIL, J. J. R.; CHAAR, J. S.; ROCHA FILHO, G. N.; DE SOUZA, L. K. C. Combustion properties of potential amazon biomass waste for use as fuel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 138, n. 5, p. 3535-3539, 2019.

SALGADO, J. M.; RODRIGUES, B. S.; DONADO-PESTANA, C. M.; DOS SANTOS DIAS, C. T.; MORZELLE, M. C. Cupuassu (theobroma grandiflorum) peel as potential source of dietary fiber and phytochemicals in whole-bread preparations. **Plant Foods Hum Nutr**, v. 66, n. 4, p. 384-390, 2011.

SANTANDER OLIVEROS, A. L.; ORTIZ MUÑOZ, E.; PIÑERES ARIZA, I. E.; ARIZA BARRAZA, C. S.; ALBIS ARRIETA, A. R. Estudio tg-ms de la gasificación del carbonizado de la cáscara de copoazú (theobroma glandiflorum). **INGE CUC**, v. 15, n. 1, p. 25-35, 2019.

SANTOS, C. M. D. *Estudo Do Carvão Ativado Da Casca De Cupuaçu Como Suporte Na Catálise Heterogênea*. Universidade Federal do Amazonas. Dissertação, 2014.

SERAFIN, J.; OUZZINE, M.; CRUZ, O. F.; SREŃSCEK-NAZZAL, J.; CAMPELLO GÓMEZ, I.; AZAR, F. Z.; REY MAFULL, C. A.; HOTZA, D.; RAMBO, C. R. Conversion of fruit waste-derived biomass to highly microporous activated carbon for enhanced co_2 capture. **Waste Manag**, v. 136, n. p. 273-282, 2021.

SEREJO, A. P. M.; OLIVEIRA, A. C. D. S. D.; COSTA, I. C.; NOGUEIRA, A. D. J. L.; LACERDA, H. D. C. C.; DIAS, A. A. S.; COUTINHO, D. F. Reaproveitamento de resíduos gerados pelas espécies persea americana e theobroma grandiflorum: Uma alternativa para sustentabilidade ambiental. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. 2021.

SOARES, I. D.; PAIVA, A. V.; MIRANDA, R. O. V.; MARANHO, Á. S. Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 155-161, 2014.

SOUZA, O. **Alimentação de ruminantes com resíduos lignocelulósicos tratados com uréia.** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.

SYAHMANI, S.; HAFIZAH, E.; SAUQINA, S.; ADNAN, M. B.; IBRAHIM, M. H. Steam approach to improve environmental education innovation and literacy in waste management: Bibliometric research. **Indonesian Journal on Learning and Advanced Education (IJOLAE)**, v. 3, n. 2, p. 130-141, 2021.

VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R. Biosorption of heavy metals. **Biotechnol Prog**, v. 11, n. 3, p. 235-250, 1995.

CAPÍTULO 3

EFEITO DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DA ALFACE

RESUMO

As indústrias de polpa de cupuaçu geram uma grande quantidade de cascas, e sua destinação inadequada pode acarretar impactos ambientais negativos. Entre as alternativas para dar uma destinação adequada à esses resíduos orgânicos é a sua transformação em adubos orgânicos. Desse modo, esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do biochar da casca de cupuaçu (BCC) como condicionador de solo, e comparar os tratamentos com BCC à adubação química em relação aos parâmetros de crescimento da alface. O BCC foi obtido pela pirólise a 500°C da casca de cupuaçu e caracterizado físico-quimicamente e aplicado em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico coletado na região amazônica. Foram realizados ensaios em vasos com oito doses de BCC 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,35, 0,50, 0,75 e 1,00 % e uma testemunha, com dez repetições. Os resultados mostraram que a aplicação de doses de BCC aumentou os níveis de potássio e fósforo no solo e elevou o pH do solo, melhorando sua fertilidade. A produção de alface em tratamentos com BCC atingiu o maximo na dose de 1% de biochar, obtendo nesta dose parâmetros de crescimento igual ao tratamento com adubação química. Conclui-se que a transformação da casca de cupuaçu em biochar e sua aplicação no solo contribui para a produção de alface, com potencial para minimizar a necessidade de fertilizantes potássicos importados e reduzir os impactos ambientais resultantes do descarte inadequado dos resíduos da indústria de polpa de frutas.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, resíduos orgânicos, sustentabilidade.

ABSTRACT

The cupuaçu pulp industries generate a significant amount of shells, and their improper disposal can lead to negative environmental impacts. Among the alternatives for appropriate disposal of these organic waste materials is their transformation into organic fertilizers. Thus, this study aimed to evaluate the effects of cupuaçu shell biochar (CSB) as a soil conditioner and compare the CSB treatments to chemical fertilization in terms of lettuce growth parameters. CSB was obtained through pyrolysis of cupuaçu shells at 500°C and was physically and chemically characterized before being applied to a typical Orthic Quartzarenic Neosol collected in the Amazon region. Pot experiments were conducted with eight doses of CSB (0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.35, 0.50, 0.75, and 1.00%) and a control, each with ten replicates. The results showed that the application of CSB doses increased potassium and phosphorus levels in the soil and raised the soil pH, improving its fertility. Lettuce production in CSB treatments reached its maximum at the 1% biochar dose, achieving growth parameters equal to those in the chemical fertilization treatment. It can be concluded that the transformation of cupuaçu shells into biochar and its application in the soil contribute to lettuce production, with the potential to minimize the need for imported potassium fertilizers and reduce the environmental impacts resulting from improper disposal of fruit pulp industry waste.

Keywords: Soil fertility, waste, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A fruta do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) é consumida e tem grande importância econômica na região amazônica devido à demanda pela polpa. A fruta do cupuaçu é parente próximo do fruto do cacau, compartilhando o mesmo gênero *Theobroma* , sendo importante matéria-prima para a indústria alimentícia e importante fonte de renda para a agricultura familiar (PEREIRA; ABREU; RODRIGUES, 2018). A produção brasileira de cupuaçu, segundo o censo agropecuário de 2017, foi estimada em 21 mil toneladas. Apesar dos benefícios sociais, a agroindústria da polpa do cupuaçu gera grande quantidade de resíduos, principalmente as cascas que representam aproximadamente 45% da massa total do fruto.

Nesta atividade industrial, nem sempre é feito um gerenciamento adequado dos resíduos, podendo impactar negativamente o meio ambiente, entre as possibilidades de impacto estão: atmosféricos, devido à geração de gases de efeito estufa durante a decomposição do material orgânico ou queima das cascas; contaminação do solo e das águas subterrâneas devido aos lixiviados; e saúde humana, devido a casca do cupuaçu poder servir como reservatório de água em dias de chuva e favorecer a população de mosquitos vetores de doenças que possuem estágio larval aquático, como o *Aedes aegypti* transmissor da dengue, chikungunya, zika e febre amarela.

Biochar é definido como um produto rico em carbono, obtido pela pirólise de biomassa (LEHMANN; JOSEPH, 2015) e tem sido objetos de estudo porque podem ser usados para diferentes fins. Um dos usos mais difundidos do biochar é como condicionador do solo, promovendo melhorias nas propriedades físico-químicas. Estudos anteriores demonstram que o biochar tem potencial para aumentar a capacidade de troca catiônica (LIANG et al., 2006), diminuir a lixiviação de nutrientes (LAIRD et al., 2010), aumentar o pH (MAJOR et al., 2010), aumentar o conteúdo de nutrientes como fósforo (CH'NG; AHMED; MAJID, 2015) e potássio (ASAI et al., 2009), aumentar a capacidade de retenção de água (KUZYAKOV et al., 2009) e diminuir o alumínio trocável (VAN ZWIETEN et al., 2010). Essas melhorias são interessantes para solos tropicais (SPERATTI et al., 2018). A casca do cupuaçu pode ser utilizada como fonte de biomassa lignocelulósica, e estudos propondo usos da casca do cupuaçu têm sido realizados, porém nenhum explorando os efeitos do seu biochar no solo.

O uso biochar de casca de cupuaçu (BCC) como condicionador do solo pode

ser uma excelente opção de insumo agrícola para os agricultores, pois pode promover melhorias nas propriedades do solo, aumentar a produtividade das plantas e proteger o meio ambiente. A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma das mais importantes plantas produzidas no Brasil e no mundo (WANG et al., 2022). No entanto, a alface é altamente exigente (STAMFORD et al., 2019) e quando cultivada em solos pobres em nutrientes, não produz de forma satisfatória. Mas será que o BCC pode melhorar atributos de fertilidade do solo, contribuindo positivamente para o crescimento da alface?

Assim, o presente estudo foi realizado para investigar o uso do BCC como condicionador do solo, analisando seu efeito em atributos químicos em um solo franco-arenoso amazônico e no no crescimento da alface, em relação ao mesmo solo adubado com fertilizante mineral.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO BÁSICA DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU

O biochar da casca de cupuaçu (BCC) foi obtido em mufla de laboratório por pirólise lenta seguindo o seguinte ciclo de aquecimento: 115 °C por 30 min; 250°C por 1h; e 500°C por 1 hora. Após a pirólise, o biocarvão foi moído em britadeira (Botini modelo 1079) e peneirado para obtenção de partículas com distribuição granulométrica menor que 2 mm.

A caracterização do BCC foi realizada de acordo com a normativa brasileira para condicionadores de solo (BRASIL, 2007). Esta normativa solicita as análises de: pH e condutividade elétrica (CE) determinados em água (1:5 v v^{-1}); umidade; capacidade de retenção de água com 10 cm de coluna d'água (CRA_{10}); densidade aparente pelo método da proveta; capacidades de troca catiônica (CTC) determinada pelo método de deslocamento por solução de acetato de cálcio a pH 7 (0,5 mol L^{-1}) e posterior titulação por solução de NaOH (0,5 mol L^{-1}), após o BCC com carvão ativo passar por pré-tratamento com solução de HCl (0,5 mol L^{-1}) e sucessivas lavagens.

Adicionalmente a normativa brasileira, as seguintes caracterizações também foram avaliadas: teor de cinzas, medido por combustão seca na temperatura de 550 ℃; os teores de elementos totais de potássio por fotometria de chama, fósforo por colorimetria, e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por

espectrofotometria de absorção atômica (PETERS et al., 2003) e área de superfície específica (ASE) determinada pelo método N2-BET (Quantachorme Monosorb).

2.2 SOLO COLETADO E PROPRIEDADES QUÍMICAS BÁSICAS

Amostras de superfície de solo (20 cm) foram coletadas na região amazônica nas coordenadas geográficas 11º31'28"S 61º33' 52"W, este solo corresponde a classe de Neossolo Quartzarênico Órtico típico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). As amostras foram secas ao ar e posteriormente passadas em peneira de 2 mm para realização do experimento em vasos e caracterização da fertilidade do solo. A caracterização de atributos de fertilidade do solo (Tabela 3.1) foram feitas de acordo com metodologias de rotina (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 3.1 - Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região de Cacoal-RO

Atributos	Unidade	Média	DP	CV %
pH H_2O	-	5,79	0,164	2,83
CE	µS cm^{-1}	117	6,4	5,47
P	mg dm^{-3}	20,9	1,43	6,84
K^+	$cmol_c$ dm^{-3}	0,067	0,0058	8,66
Ca^{2+}	$cmol_c$ dm^{-3}	4,95	0,230	4,65
Mg^{2+}	$cmol_c$ dm^{-3}	0,873	0,0306	3,51
Al^{3+}	$cmol_c$ dm^{-3}	0,166	0,0577	34,76
H+Al	$cmol_c$ dm^{-3}	6,03	0,252	4,18
Zn	mg dm^{-3}	14,3	0,41	2,87
Cu	mg dm^{-3}	1,79	0,062	3,46
Fe	mg dm^{-3}	83,2	7,57	9,10
Mn	mg dm^{-3}	78,4	0,865	1,10
MOS	g dm^{-3}	45,1	2,46	5,45
CTC	$cmol_c$ dm^{-3}	11,9	0,5	4,20
V	%	49,4	0,164	0,33

Os atributos químicos do solo avaliados foram: pH H_2O (1:2,5 v v^{-1}); teores de fósforo (P), potássio trocável (K^+), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), extraídos pela solução de Mehlich I; cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) extraídos por solução de cloreto de potássio (1 mol L^{-1}); Acidez potencial (H+Al) extraída por solução de acetato de cálcio em pH 7 (0,5 mol L^{-1}); CTC; e MOS (MOS). O P foi determinado pelo método colorimétrico, o K^+ determinado por fotometria de emissão de chama (Micronal B462), o Al^{3+} determinado por titulação com

NaOH 0,025 mol L^{-1}, Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrofotometria de absorção atômica (espectrofotômetro GBC 932-AA). A MOS determinada pelo método Walkley-Black de oxidação úmida, a capacidade de troca catiônica (CTC) obtida pela soma de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e $H^{+}+Al^{3+}$. O valor da saturação de bases (V%) obtido através da razão percentual da soma de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+} pela CTC.

2.3 EXPERIMENTO EM VASOS

O solo coletado foi misturado em sacos com doses de BCC de 0,00 (Testemunha), 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,35, 0,50, 0,75 e 1,00 % em base mássica e incubados por 30 dias a 60% da capacidade de retenção de água do solo original. Após o tempo de incubação, amostras foram coletadas para análise das propriedades químicas do solo. Subsequentemente o solo contido em cada saco foi posto em vasos plásticos de 1 L, em um total de 10 repetições para cada tratamento. Para efeitos de comparação um tratamento extra sem biochar em cinco repetições foi estabelecido como controle quimicamente adubado (CQA). Neste tratamento o V% foi elevado para 70% com aplicação de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (4:1) e sucessivamente incubados nas mesmas condições dos tratamentos com biochar.

Os experimentos em vasos foram conduzidos em casa de vegetação da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá-PR, no período de junho a julho de 2021. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. As mudas de alface da variedade crespa, cv. Valentina, foram adquiridas de um viveiro e transplantadas para os vasos com 1 mês de idade. Todos os tratamentos receberam o equivalente a 33 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma de sulfato de amônio aos 20, 35 e 50 dias após o transplantio (DAT).

O tratamento CQA para atender os requisitos nutricionais da alface recebeu aos 20 DAT o equivalente a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O, na forma de fosfato monopotássico e; aos 35 e 50 DAT, recebeu novamente a dosagem equivalente a 60 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio.

Aos 60 DAT, foram avaliados os seguintes parâmetros de crescimento da alface: massa fresca da parte aérea (MFPA); massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR).

2.4 ABORDAGEM ESTATÍSTICA

Foram realizados testes de correlação de Pearson entre a doses de BCC e os atributos químicos do solo e entre as doses de BCC e os parâmetros de crescimento da alface. O teste da matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos do solo foi realizado para verificar o efeito multivariado.

Para entendimento das variâncias dos atributos do solo foi executado a análise PCA (Análise de Componentes Principais) sendo selecionados componentes que juntos expliquem no mínimo 80% das variâncias observadas. A regressão linear simples e a regressão linear múltipla foram modeladas para os atributos químicos do solo e o modelo com melhor ajuste foi selecionado baseado na raiz quadrada média dos erros (RMSE).

A análise de variância (ANOVA) foi executada para comparação dos efeitos nos parâmetros de crescimento da alface entre os tratamentos com biochar e CQA, sendo as médias comparadas usando o teste de Dunnett ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram executadas usando o software GraphPad Prism 9.4.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU

As propriedades físicas e químicas do BCC (Tabela 3.2) revelam que o BCC obtido possui teores predominantemente de potássio, pH alcalino e CE normal para uso agrícola (MELO; SILVA; DIAS, 2008). Neste estudo, o biochar da casca de cupuaçu (BCC) foi obtido a 500ºC por meio de pirólise lenta. A análise de cinzas e elementos totais do BCC revelou teores de 7,64% de cinzas e 27 g kg^{-1} de potássio, o que sustenta observações de pH elevado devido a transformações de cátions presentes na matéria-prima, como cálcio, magnésio e potássio, em espécies alcalinas durante o processo de pirólise.

Tabela 3.2 - Propriedades físicas e químicas do biochar da casca de cupuaçu de acordo com a instrução normativa SDA nº 17 e análises complementares.

Propriedades	Unidade	Valor
pH	-	10,2
CE	µS cm^{-1} a 25ºC	643
Umidade	% m m^{-1}	7,16
ASE	m^2 g^{-1}	4,66
Densidade aparente	kg m^{-3}	302,0 ± 4,8
CRA_{10}	% m m^{-1}	221,0 ± 2,7
CTC	$cmol_c$ kg^{-1}	13,7 ± 0,9
Potássio[1]	mg kg^{-1}	27302 ± 1311
Fósforo[1]	mg kg^{-1}	1514 ± 34
Cálcio[1]	mg kg^{-1}	2311 ± 162
Magnésio[1]	mg kg^{-1}	1342 ± 12
Cobre[1]	mg kg^{-1}	16,1 ± 0,6
Zinco[1]	mg kg^{-1}	29,6 ± 1,6
Ferro[1]	mg kg^{-1}	142,0 ± 0,5
Manganês[1]	mg kg^{-1}	109,0 ± 2,8

[1] Teor total.

Os teores totais de potássio no BCC são interessantes, a casca do cupuaçu tem características de uma matéria-prima de base lenhosa (GONDIM et al., 2001), os teores de potássio de BCC são superiores aos normalmente encontrados neste tipo de matéria-prima e comparáveis a outros biochars derivados de resíduos, como casca de café, casca de amendoim e esterco suíno com teores de K total de 22 (DOMINGUES, et al., 2017), 19,3 e 25,7 g kg^{-1} (HUNT et al., 2013) respectivamente.

A exigência brasileira para certificação como condicionadores de solo é de uma CTC mínima de 20,0 $cmol_c$ kg^{-1}, superior ao obtido neste estudo, tornando o BCC não comercializável, mas estudos futuros podem explorar essa mudança nas condições do processo, misturando com outros aditivos orgânicos ou passando por processo de ativação.

3.2 EFEITOS DOS TRATAMENTOS COM BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Após 30 dias de incubação, observou-se uma tendência linear em alguns atributos químicos do solo (Tabela 3.3). O teste do coeficiente de correlação de Pearson (r) confirma as tendências lineares entre as doses de BCC aplicadas e os atributos químicos do solo: K^+ (r=0,990), pH H_2O (r=0,919), P (r=0,731), CE (r=0,702), H+Al (r=-0,763), Mg^{2+} (r=-0,763), Zn (r=-0,763) e Cu (r=-0,763). Por outro lado, não foi

encontrada correlação entre a taxa de aplicação de BCC com os atributos MOS, CTC, Ca^{2+}, Al^{3+}, Fe e Mn.

Tabela 3.3 - Efeito do biochar da casca de cupuaçu nas propriedades químicas do solo após 30 dias de incubação.

Atributos	Unidade		Taxa de aplicação de BCC (% m m^{-1})								
			0,00	**0,05**	**0,10**	**0,15**	**0,20**	**0,35**	**0,50**	**0,75**	**1,00**
pH H2O	-	Média	5,25	5,23	5,25	5,21	5,32	5,27	5,33	5,45	5,56
		DP	0,035	0,036	0,015	0,010	0,070	0,012	0,012	0,006	0,006
CE	µS cm^{-1}	Média	348	365	358	387	365	388	386	382	404
		DP	9,2	6,5	8,7	11,4	18,8	9,1	12,6	4,2	11,3
MOS	g dm^{-3}	Média	44,0	40,9	42,1	45,0	38,7	41,7	42,3	43,4	43,9
		DP	8,81	2,36	2,79	2,30	2,01	3,09	1,91	1,35	2,12
CTC	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	11,0	11,1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	10,9	11,3
		DP	0,47	0,07	0,40	0,13	0,30	0,22	0,30	0,08	0,81
P	mg dm^{-3}	Média	15,5	17,5	15,7	16,4	16,1	18,4	17,2	19,0	21,4
		DP	1,56	1,67	1,24	1,47	1,24	2,22	0,64	1,82	1,81
K^+	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,38	0,50	0,65	1,02
		DP	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,012	0,006	0,010	0,062
Ca^{2+}	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	4,72	4,59	4,53	4,66	4,62	4,52	4,52	4,41	4,64
		DP	0,164	0,120	0,121	0,101	0,186	0,113	0,083	0,040	0,427
Mg^{2+}	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	0,817	0,800	0,797	0,823	0,820	0,823	0,837	0,837	0,890
		DP	0,025	0,020	0,021	0,021	0,027	0,021	0,012	0,012	0,078
Al^{3+}	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
		DP	0,058	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H+Al	$cmol_c$ dm^{-3}	Média	5,37	5,57	5,70	5,50	5,50	5,50	5,33	5,03	4,77
		DP	0,289	0,115	0,400	0,100	0,100	0,100	0,208	0,058	0,252
Cu	mg dm^{-3}	Média	1,52	1,64	1,53	1,64	1,55	1,68	1,64	1,61	1,81
		DP	0,101	0,031	0,105	0,246	0,010	0,144	0,106	0,119	0,108
Zn	mg dm^{-3}	Média	13,5	13,8	12,7	13,3	12,6	13,2	12,8	12,2	12,3
		DP	0,402	0,326	0,650	0,366	0,624	0,588	0,180	0,461	0,469
Fe	mg dm^{-3}	Média	69,1	70,8	59,1	61,9	60,8	62,1	59,9	62,0	66,0
		DP	4,51	8,04	0,15	7,99	1,07	5,16	1,78	6,01	2,99
Mn	mg dm^{-3}	Média	76,1	77,9	71,8	74,4	72,2	75,4	74,9	73,0	73,2
		DP	2,36	2,87	2,73	2,16	1,81	3,38	2,29	2,87	2,14

Aumentos no pH do solo após a incorporação de BCC são coerentes com a maioria dos estudos devido à natureza alcalina do biochar. O pH do solo é uma importante propriedade do solo e o baixo pH tem efeito sobre a disponibilidade de nutrientes para as plantas e potenciais íons fitotóxicos, como Al^{3+} e Mn. O pH ideal do solo para a maioria das culturas está entre 5,5 a 6,5, portanto a adição de BCC pode ser útil em solos tropicais, que são normalmente classificados como ácidos e com baixo teor de K^+ (STEINER; LANA, 2018).

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o

Brasil está entre os maiores exportadores de alimentos, porém o país é altamente dependente das importações de potássio (SIPERT; COHIM; DO NASCIMENTO, 2020) e com os aumentos de preço do fertilizante cloreto de potássio nos últimos anos pode representar uma ameaça para segurança alimentar (KWASEK, 2013). Neste sentido o uso de biochars derivados de resíduos ricos em potássio podem ser uma alternativa para aliviar a pressão. A aplicação de BCC em baixas doses, como 0,35%, aumentou o K^+ para teores altos no solo franco-arenoso. Apesar da textura do solo poder afetar esse aumento, verifica-se que BCC é uma fonte potencial de potássio para uso agrícola.

O aumento nos teores de P no solo após a aplicação de biochar de BCC é um dos resultados esperados (GLASER; LEHR, 2019). Ao contrário do potássio total, o teor de fósforo total no BCC é menor do que os biochars de resíduos animais descritos na literatura (HUNT et al., 2013), que são reconhecidos como ricos em nutrientes, no entanto, verfica-se neste estudo que a aplicação do BCC afeta positivamente disponibilidade de P no solo franco-arenoso estudado. O tratamento com 1% de BCC teve um teor de P 38% maior do que a testemunha.

Neste trabalho verifica-se que o teor de magnésio no solo aumentou com a dose aplicada de BCC, sendo que entre a testemunha e a dose de 1% o aumento nos teores de Mg^{2+} foi 8,9%.

Atributos como K^+ e pH H_2O têm valores de r considerado muito alta, indicando que a dose de BCC aplicada é a principal causa das variações no solo destes atributos. Para os outros atributos isso não é tão marcante e a matriz de correlação de Pearson entre as propriedades químicas do solo (Apêndice A) mostra que o P, Zn e Mn também são fortemente correlacionados positivamente com Cu (r=0,80), Mn (r=0,85) e Fe (r=0,70) respectivamente.

A PCA (Apêndice A e Figura 3.1) foi executada para entender as variações dos atributos pH H_2O, K^+, P, CE, H+Al, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Zn, Cu e Mn nas amostras. Três componentes (PC1, PC2 e PC3) explicam 87% das variações observadas para essas propriedades.

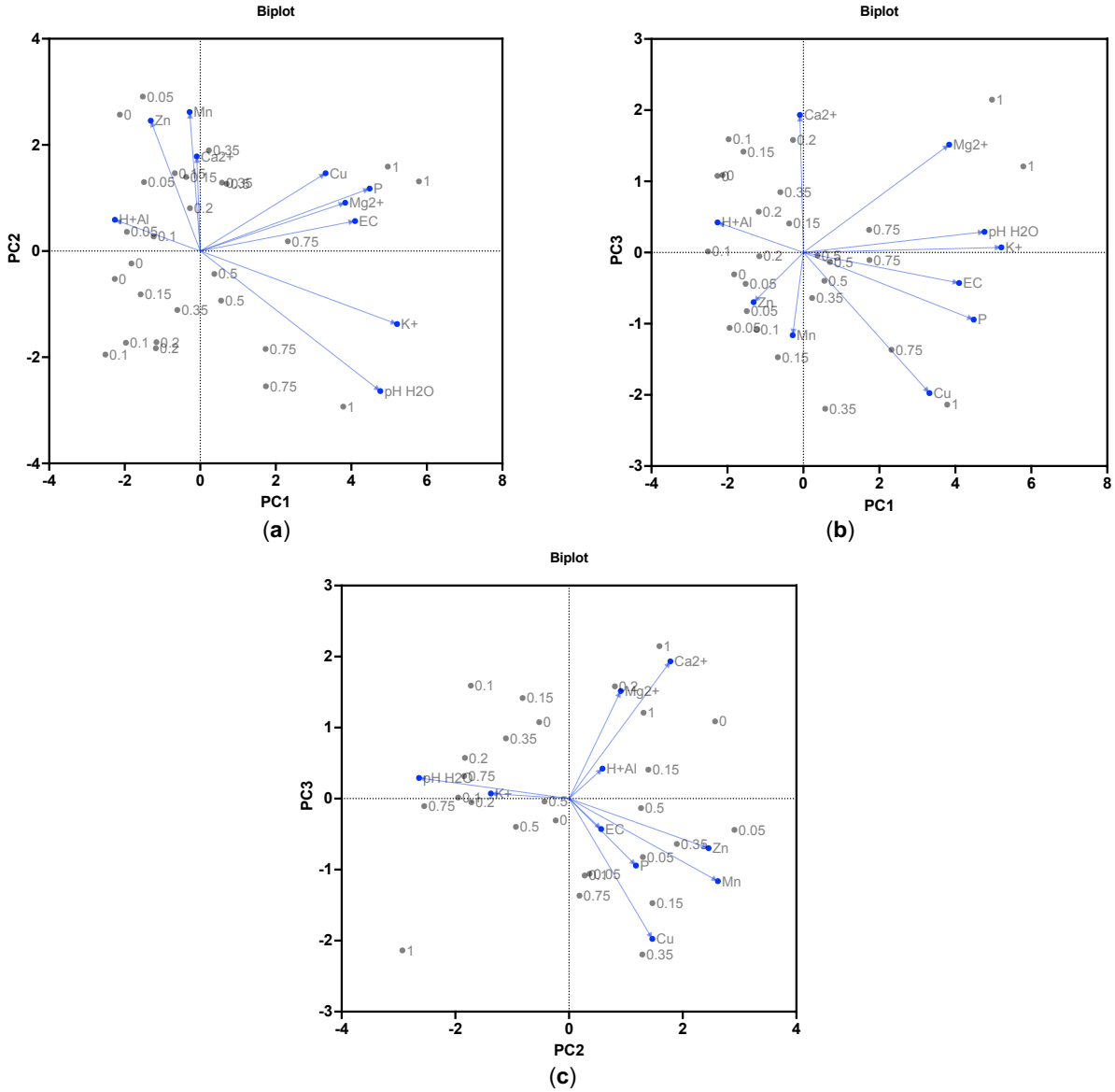


Figura 3.1 - Gráfico biplot da análise de componentes principais, os pontos são as amostras analisadas, os números próximos aos pontos são a taxa de aplicação de BCC e o vetor azul mostra a pontuação dos atributos químicos do solo de acordo com cada componente. (a) PC2 vs PC1; (b) PC3 vs PC1; (c) PC3 vs PC2

Conforme mostrado na Figura 3.1, a dose de BCC de 0,35% pode ser considerada uma referência em relação ao PC1, tratamentos abaixo da dose aplicada de 0,35% têm pontuação negativa relativo a PC1 e doses acima têm pontuação positiva. Os tratamentos de BCC relativos a PC2 e PC3 em geral mostraram pontuações positivas e negativas na mesma taxa de aplicação.

A Figura 3.1b mostra o comportamento das amostras com o aumento da dose de BCC. Amostras em que razão da concentração de Mn por Ca^{2+} é menor que 16,2 mg $cmol_c^{-1}$ tendem a elevar o teor de Mg^{2+}, caso contrário a aumentar mais Cu. Os vetores Mn e Ca^{2+} são praticamente coincidentes na Figura 3.1a (ângulo = 3º) e em

direção oposta na Figura 3.1b (ângulo = 156º), PC2 explica bem as variâncias de Mn, enquanto PC3 explica grande parte das variâncias de Ca^{2+} (Apêndice A) expondo a afinidade de certos elementos como Zn e Mg por Mn e Ca^{2+} respectivamente.

Três fatores conseguem explicar os dados observados: taxa de aplicação do BCC ([BCC]); $Mn \div Ca^{2+}$ ([A]); e $Mn \times Ca^{2+}$ ([B]). Sendo eles então selecionados para o modelo de regressões lineares (Tabela 3.4). A regressão linear simples tem como fator [BCC], já a regressão linear múltipla tem os três fatores. A regressão linear múltipla aumentou a precisão da predição para P, Mg2+, Zn e Cu em relação à regressão linear simples que apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,534, 0,393, 0,382 e 0,227 respectivamente.

Tabela 3.4 - Regressões lineares das propriedades do solo correlacionadas com a taxa de aplicação de biochar de casca de cupuaçu.

Atributos	Unidade	Modelo selecionado
pH H_2O	-	$5{,}209^{****} + 0{,}3176^{****} \times$[BCC] F (1, 25) = 135,0, P<0,0001, R^2 =0,8438
CE	µS cm^{-1}	$361{,}7^{****} + 41{,}34^{****} \times$[BCC] F (1, 25) = 24,29, P<0,0001, R^2 =0,4928
P	mg dm^{-3}	$-14{,}95^{*} + 5{,}881^{****} \times$[BCC] + $0{,}8339^{**} \times$[A] + $0{,}04947^{****} \times$[B] F (3, 23) = 32,00, P<0,0001, R^2 =0,8067
K^{+} [1]	$cmol_c\ dm^{-3}$	$0{,}08144^{****} + 0{,}8694^{****} \times$[BCC] F (1, 25) = 4273, P<0,0001, R^2 =0,9942
Mg^{2+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	$0{,}8088^{****} + 0{,}09022^{****} \times$[BCC] - $0{,}02385^{****} \times$[A] + $0{,}001100^{****} \times$[B] F (3, 23) = 295,6, P<0,0001, R^2 =0,9747
H+ Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	$5{,}626^{****} - 0{,}7626^{****} \times$[BCC] F (1, 25) = 34,85, P<0,0001, R^2 =0,5823
Cu	mg dm^{-3}	$-0{,}4928^{ns} + 0{,}2408^{***} \times$[BCC] + $0{,}07162^{*} \times$[A] + $0{,}002560^{*} \times$[B] F (3, 23) = 8,291, P=0,0006, R^2 =0,5196
Zn	mg dm^{-3}	$0{,}9938^{ns} - 0{,}8634^{****} \times$[BCC] + $0{,}3337^{****} \times$[A] + $0{,}02001^{****} \times$[B] F (3, 23) = 84,45, P<0,0001, R^2 =0,9168

[BCC] – taxa de aplicação do BCC; [A] – $Mn \div Ca^{2+}$; [B] – $Mn \times Ca^{2+}$; [1] – Método de ponderação (Y^{-3}); ns – não significativo; * – p<0,05; ** – p<0,005; *** – p<0,0005; **** – p<0,00005

No presente estudo verifica-se que as doses de BCC aplicadas não apresentaram correlação significativa com a CTC do solo, no entanto, detaca-se que os métodos envolvidos pelas mudanças induzidas pelo biocarvão na CTC do solo em curto espaço de tempo não são claros. Alguns autores mostraram que a CTC dos solos intemperizados pode ser prevista por regressão linear com base nas contribuições ponderadas da CTC do biochar e do solo original (DOMINGUES et al., 2020), outro estudo mostra que as mudanças induzidas por biochar na CTC do solo variam de acordo com as doses aplicadas de biochar e teores de Ca^{2+} inicial de solo

e no biochar (HAILEGNAW et al., 2019). Os resultados aqui obtidos são coerentes com os dois estudos citados, uma vez que BCC pouco contribui para a CTC do solo devido às baixas doses aplicadas e a CTC do biochar ser próximo da CTC original do solo.

3.3 EFEITOS DO TRATAMENTO COM BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU NO CRESCIMENTO DA ALFACE

A Figura 3.2 mostra as plantas de alface cultivadas em solo com a aplicação do BCC. Conforme mostrado na Tabela 3.5, também foram observados efeitos de tendência linear nos parâmetros de crescimento da alface. O teste do coeficiente de correlação de Pearson mostra uma correlação positiva significativa entre a taxa de aplicação de BCC e os parâmetros MFPA (r=0,911), MSPA (r=0,847) e MSR (r=0,787).

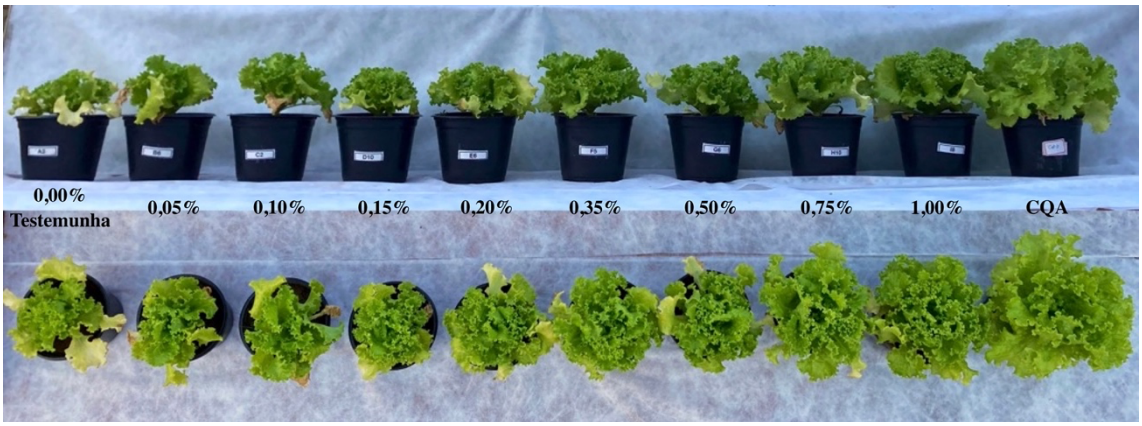


Figura 3.2 - Vista lateral e superior aos 60 dias após o transplante da alface. O primeiro vaso é a testemunha (0,00%), o último vaso é o controle quimicamente adubado (CQA) e os vasos intermediários são taxas crescentes de aplicação de BCC (0,05 a 1,00%).

Tabela 3.5 - Efeito dos tratamentos com biochar de casca de cupuaçu e controle quimicamente adubado (CQA) nos parâmetros de crescimento da alface após 60 DAT

Parâmetros	Unidade		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,35	0,50	0,75	1,00	CQA
MFPA	g/vaso	Média	11,5	17,3	17,3	16,8	19,1	27,3	26,3	34,8	41,5	44,5
		DP	3,11	3,60	3,92	5,06	4,20	2,99	4,85	3,16	3,19	3,82
MSPA	g/vaso	Média	1,88	2,72	2,65	2,54	2,90	4,18	3,87	5,46	5,83	5,71
		DP	0,534	0,549	0,697	1,010	0,776	0,650	0,923	0,831	0,634	0,436
MSR	g/vaso	Média	1,58	1,67	2,07	1,85	1,74	2,63	2,46	3,17	3,37	3,98
		DP	0,460	0,393	0,349	0,405	0,334	0,569	0,429	0,562	0,543	0,665

Um dos efeitos mais desejados após a aplicação do biochar no solo é o aumento no rendimento da cultura. Os resultados apresentados confirmam em experimentos de vasos que a aplicação de BCC mais adubação nitrogenada inorgânica tem efeitos positivos nos parâmetros de crescimento da alface em um solo franco-arenoso, especialmente no tratamento 1%.

Em geral, os tratamentos com BCC atingem parâmetros de crescimento mais baixos do que o tratamento com CQA. O teste ANOVA seguido pelo teste *post-hoc* de Dunnett para comparação entre tratamentos CQA e BCC acima da dose 0,35%, mostrou diferenças significativas entre tratamentos em MFPA ($F(4,40) = 40,64$, $p < 0,0001$), MSPA ($F(4,40) = 14,04$, $p < 0,0001$) e MSR ($F(4,39) = 8,961$, $p < 0,0001$). Os tratamentos BCC de 0,35% e 0,50% diferem significativamente do tratamento CQA para todos os parâmetros, enquanto o tratamento 0,75% é estatisticamente igual para o parâmetro MSPA. O tratamento com BCC 1,00% é estatisticamente igual ao tratamento CQA para todos os parâmetros analisados.

Portanto, os resultados do nosso estudo confirmam o potencial uso do biochar da casca de cupuaçu como condicionador de solo. Apesar do efeito do biochar no sistema planta-solo depender de múltiplos fatores, mostramos que o BCC melhora as propriedades químicas de solos franco-arenosos e afeta positivamente o crescimento de uma planta exigente em nutrientes.

Processar cascas de cupuaçu para biochar e utilizá-lo com o objetivo principal de aumentar o teor de K^+ no solo é uma alternativa interessante para mitigar os impactos ambientais e beneficiar tanto as agroindustrias de polpa de cupuaçu quanto os agricultores. Um hectare de solo tratado com 0,35% de BCC (7 Mg ha^{-1})[4] requer cerca de 20 Mg de cascas ou 44 Mg de frutos para produção de biochar, um número relevante para pequenos produtores de polpa de frutas. O biochar é conhecido pelo

[4] Considerando uma camada superficial de 20 cm e densidade do solo 1 Mg ha^{-1}

sequestro de carbono, impactando positivamente o meio ambiente em relação à geração de gases de efeito estufa, além disso, a reciclagem de potássio pelo BCC podem ser uma alternativa para alcançar uma produção mais sustentável. O BCC pode ser útil para a agricultura familiar localizada nas proximidades de indústrias de polpa de frutas, que podem obter as cascas com baixo ou nenhum custo e transformá-lo em biochar em sua própria propriedade, entretanto é necessário que se desenvolva ou se transfira uma tecnologia de produção biochar por meio de uma tecnologia social.

4.4 CONCLUSÕES

O biochar de casca de cupuaçu apresenta teores expressivos de potássio e quando aplicado no solo, aumentou os teores de potássio no solo, sendo um resultado relevante para o contexto brasileiro, a qual é um grande produtor de alimentos, mas fortemente dependente da importação de fertilizantes potássicos.

Além disso, a aplicação de biochar da casca de cupuaçu aumentou dos teores de fósforo e a elevação do pH, resultando em uma melhoria da fertilidade do Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Essas melhorias no solo foram refletidas no crescimento da alface, que apresentou um desenvolvimento semelhante ao observado em um tratamento com adubação química.

Conclui-se que a produção de biochar é uma destinação promissora para o resíduo casca de cupuaçu, podendo ser aplicado para melhorar atributos de solos ácidos e com baixos teores de potássio, sendo então uma boa estratégia para viabilizar uma agricultura mais sustentável e resiliente.

4.5 REFERÊNCIAS

ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. **Field Crops Research**, v. 111, n. 1-2, p. 81-84, 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa SDA nº 17, de 24 de maio de 2007: Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília-DF, n. 99, p. 8-9, 2007. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf. Acesso em: 05/01/2022.

CH'NG, H. Y.; AHMED, O. H.; MAJID, N. M. A. Improving Phosphorus Availability, Nutrient Uptake and Dry Matter Production of Zea Mays L. On a Tropical Acid Soil

Using Poultry Manure Biochar and Pineapple Leaves Compost. **Experimental Agriculture**, v. 52, n. 3, p. 447-465, 2015.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, I.; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. e0176884, 2017.

DOMINGUES, R. R.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; SPOKAS, K. A.; MELO, L. C. A.; TRUGILHO, P. F.; VALENCIANO, M. N.; SILVA, C. A. Enhancing Cation Exchange Capacity of Weathered Soils Using Biochar: Feedstock, Pyrolysis Conditions and Addition Rate. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 824, 2020.

GLASER, B.; LEHR, V. I. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. **Sci Rep**, v. 9, n. 1, p. 9338, 2019.

GONDIM, T. D. S.; THOMAZINI, M.; CAVALCANTE, M.; DE SOUZA, J. **Aspectos da produção de cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001, 43 p.

HAILEGNAW, N. S.; MERCL, F.; PRAČKE, K.; SZÁKOVÁ, J.; TLUSTOŠ, P. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 5, p. 2405-2416, 2019.

HUNT, P. G.; CANTRELL, K. B.; BAUER, P. J.; MILLER, J. O. Phosphorus Fertilization of Ryegrass with Ten Precisely Prepared Manure Biochars. **Transactions of the ASABE**, v., n., p. 1317-1324, 2013.

KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H.; BOGOMOLOVA, I.; XU, X. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14C labeling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 2, p. 210-219, 2009.

KWASEK, M. Threats to food security and common agricultural policy. **Economics of Agriculture**, v. 59, n. 4, p. 13, 2013.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 436-442, 2010.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: (Ed.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**: Routledge, 2015, p.1-13.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1-2, p. 117-128, 2010.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. D. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.

PEREIRA, A. L. F.; ABREU, V. K. G.; RODRIGUES, S. Cupuassu— Theobroma grandiflorum. In: Rodrigues, S., Silva, E. D. O.*, et al* (Ed.). **Exotic Fruits**: Elsevier, 2018, p.159-162.

PETERS, J.; COMBS, S.; HOSKINS, B.; JARMAN, J.; KOVAR, J.; WATSON, M.; WOLF, A.; WOLF, N. **Recommended methods of manure analysis**, 2003, 58 p.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P.; ANJOS, L.; OLIVEIRA, V.; LUMBRERAS, J.; COELHO, M.; ALMEIDA, J.; CUNHA, T.; OLIVEIRA, J. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2018, 356 p.

SIPERT, S.; COHIM, E.; DO NASCIMENTO, F. R. A. Identification and quantification of main anthropogenic stocks and flows of potassium in Brazil. **Environ Sci Pollut Res Int**, v. 27, n. 26, p. 32579-32593, 2020.

SPERATTI, A. B.; JOHNSON, M. S.; SOUSA, H. M.; DALMAGRO, H. J.; COUTO, E. G. Biochars from local agricultural waste residues contribute to soil quality and plant growth in a Cerrado region (Brazil) Arenosol. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 4, p. 272-286, 2018.

STAMFORD, N. P.; FELIX, F.; OLIVEIRA, W.; SILVA, E.; CAROLINA, S.; ARNAUD, T.; FREITAS, A. D. Interactive effectiveness of microbial fertilizer enriched in N on lettuce growth and on characteristics of an Ultisol of the rainforest region. **Scientia Horticulturae**, v. 247, n., p. 242-246, 2019.

STEINER, F.; LANA, M. D. C. Contribution of non-exchangeable K in soils from Southern Brazil under potassium fertilization and successive cropping. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 49, n. 4, p., 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**, 2017, 230 p.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, n., p. 235–246, 2010.

WANG, Z.; YANG, R.; LIANG, Y.; ZHANG, S.; ZHANG, Z.; SUN, C.; LI, J.; QI, Z.; YANG, Q. Comparing Efficacy of Different Biostimulants for Hydroponically Grown Lettuce (Lactuca sativa L.). **Agronomy**, v. 12, n. 4, p. 786, 2022.

CAPÍTULO 4

CONSTRUÇÃO DE UM FORNO PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CSCA DE CUPUAÇU PARA AGRICULTORES DE BASE AGROECOLÓGICA: O CASO DO GRUPO BEM-VIVER EM CACOAL-RO

RESUMO

Este trabalho descreve a experiência do desenvolvimento de um protótipo de forno para a produção de biochar de casca de cupuaçu e o seu método de produção no grupo agrocecológico Bem-Viver localizado em Cacoal-RO. A construção do forno foi feita utilizando-se materiais de baixo custo e não requer recursos financeiros elevados e pode ser facilmente adaptada para outras comunidades, tornando-se uma ferramenta útil com benefícios ambientais e sociais. A implementação colaborativa foi um exemplo da troca de saberes ou interdisciplinaridade entre membros do projeto, sendo que o envolvimento dos membros da comunidade Bem-Viver foi crucial na melhoria do forno e na sugestão de outros usos potenciais. Foi testado e aplicado o método de produção de biochar de casca de cupuaçu com rendimento mássico de 33% e intervalo de 43 min entre cada batelada de produção. O forno tem o potencial de ser adaptado para várias finalidades, como cozinhar, produção de castanhas de caju, defumar carnes e obter carvão a partir de outros resíduos materiais com potencial de melhorar a renda dos agricultores familiares. Esta tecnologia social desenvolvida para a produção de biochar a partir da casca de cupuaçu pode ser uma solução sustentável e acessível para a gestão de resíduos e melhorar a qualidade de vida e o bem-estar social nas comunidades.

Palavras-chave: Tecnologia social, sustentabilidade, gestão de resíduos orgânicos.

ABSTRACT

This work describes the experience of developing a prototype stove for the production of biochar from cupuaçu shell and its production method within the agroecological group Bem-Viver located in Cacoal-RO. The construction of the stove was done using low-cost materials and does not require high financial resources, making it easily adaptable to other communities, becoming a useful tool with environmental and social benefits. The collaborative implementation was an example of knowledge exchange or interdisciplinary collaboration among project members, and the involvement of Bem-Viver community members was crucial in improving the stove and suggesting other potential uses. The production method of biochar from cupuaçu biochar was tested and applied with a mass yield of 33% and a 43-minute interval between each production batch. The stove has the potential to be adapted for various purposes such as cooking, cashew nut production, meat smoking, and obtaining charcoal from other material residues with the potential to improve the income of family farmers. This social technology developed for biochar production from cupuaçu peel can be a sustainable and affordable solution for waste management, improving quality of life and social well-being in communities.

Keywords: Social technology, sustainability, organic waste management.

1 INTRODUÇÃO

A transformação de matéria orgânica em biochar tem sido preconizado na literatura como melhorador de atributos do solo. Nesse sentido, a produção artesanal de biochar pode ser uma tecnologia interessante para pequenos produtores rurais ou comunidades que desejam melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade de suas culturas. A produção de biochar artesanal assim como na industrial envolve a queima controlada de biomassa, como madeira, restos de culturas agrícolas, estercos e ossos, entre outros (GUO; HE; UCHIMIYA, 2016), em uma atmosfera com pouco ou isenta de oxigênio (LEHMANN; JOSEPH, 2015), com o fim de evitar a decomposição completa da matéria-prima.

A produção artesanal de biochar da casca de cupuaçu (BCC) pode ser uma forma de aproveitar os resíduos agropecuários que não possuem valor agregado e transformá-lo em um produto de interesse para a agricultura, contribuindo positivamente com o ambiente devido ao sequestro de carbono (WOOLF et al., 2010) além da possibilidade de alcançar uma produção mais sustentável pela promoção da reciclagem de nutrientes (MAROUŠEK; STRUNECKỲ; STEHEL, 2019). No entanto, o processo de produção de biochar requer a transferência de conhecimento técnico, para garantia da qualidade do produto, de segurança pessoal e de cuidados específicos para evitar riscos de incêndio.

O biochar pode ser produzido de forma rudimentar, como demonstrado por Carrazza et al. (2012), que transformaram cascas de babaçu em carvão em buracos no solo. Embora métodos mais avançados possam ser utilizados, a disponibilidade de materiais na região pode ser uma limitação. O método de produção por tambor é um dos mais disseminados, entretanto devido ao intenso processo de oxidação durante a produção de biochar, a durabilidade do tambor é limitada, e esta pode impedir a adoção efetiva da tecnologia de produção de biochar, devido ao custo de aquisição.

Para superar esse desafio, o desenvolvimento de fornos de alvenaria de baixo custo e manutenção pode ampliar as opções de produção de biochar. Além disso, o desenvolvimento de fornos eficientes é uma questão importante globalmente, especialmente porque muitas comunidades ainda dependem de métodos de cocção em campo aberto, que são ineficientes e prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Esses métodos também levam à coleta excessiva de lenha, um dos principais

impactos ambientais negativos (MATINGA; ROBINSON; ANNEGARN, 2011; SIMON et al., 2014; FURSZYFER DEL RIO et al., 2020).

Dessa forma o desenvolvimento do forno pode servir de protótipo para uso como tecnologia social que permitam que as comunidades tenham opções que se adequem a sua realidade e solucionem seus problemas. Sobre tecnologia social pode-se inferir que

> O sentido geral da expressão “tecnologia social” refere-se à criação e utilização de conhecimentos por populações duplamente desfavorecidas (por falta de acesso ao conhecimento científico moderno e por perda das condições mais favoráveis à reprodução de seu conhecimento tradicional), de modo a promover a sustentabilidade econômica e o fortalecimento cultural e político dessas comunidades (GARCIA, 2014, p. 251)

Assim, a tecnologia social é considerada um conjunto de soluções tecnológicas, inovadoras e sustentáveis que buscam melhorar a qualidade de vida e o bem-estar social das comunidades. A tecnologia social pode incluir várias ferramentas e recursos, entretanto essas soluções devem ser acessíveis, adaptáveis e sustentáveis a longo prazo (DA SILVA; MONTEBELLO, 2020). A tecnologia social é uma alternativa à tecnologia convencional, pois se concentra em resolver problemas específicos das comunidades e promover a participação destas no desenvolvimento das soluções.

Nesse sentido o desenvolvimento de um forno para produção de biochar de casca de cupuaçu e a respectiva transferência desta tecnologia, pode servir de base e incentivar que comunidades adaptem e melhorem esta tecnologia, utilizando materiais orgânicos locais para produzir o biochar com vistas a melhorias de atributos dos solos ou até para outros usos.

Além disso, o incentivo da produção do biochar de casca de cupuaçu e a respectiva utilização em comunidades rurais pode contribuir para alcançar diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, como a promoção da segurança alimentar ODS 2, a mitigação das mudanças climáticas ODS 13, a redução da geração de resíduos ODS 12.5 e a proteção e recuperação dos ecossistemas terrestres ODS 15 (KUMAR; BHATTACHARYA, 2020; GHOSH; MAITI, 2021; JAGABA et al., 2022; NEOGI et al., 2022) o que pode ter um impacto significativo na melhoria da qualidade de vida e no desenvolvimento sustentável das comunidades.

O objetivo deste trabalho foi descrever a construção e a implementação colaborativa do forno foguete multipropósito, bem como do método de produção de

biochar de casca de cupuaçu desenvolvido na comunidade de agricultores familiares do Grupo Bem-Viver situado na zona rural de Cacoal-RO.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CONSTRUINDO O FORNO MULTIPROPÓSITO BASEADO NA TECNOLOGIA DE FORNOS FOGUETES

O forno foi desenvolvido com tijolos de seis furos, e conta com isolamento para retenção de calor nas paredes internas da torre e na câmara de combustão, a fim de melhorar a eficiência energética. Isso teoricamente ocasiona a redução de material necessário para a queima, além de proteger os tijolos e usuários devido às altas temperaturas e à atmosfera oxidante durante o uso desses fornos.

O forno é constítuido por uma torre e uma câmara de combustão na direita e na esquerda. As câmaras de combustão possuem entrada de lenha e entrada de ar primário, sendo que a entrada de lenha foi projetada com uma abertura pequena para que a madeira coletada seja principalmente de origem de galhos caídos. Essa entrada também serve como entrada secundária de ar, podendo a entrada de ar ser parcialmente regulada com um tijolo de seis furos cortado em formato L. A torre é uma seção vertical onde originalmente deveriam ser dispostas as cascas de cupuaçu. A parte externa do forno não foi rebocada para evitar aumento de prováveis custos.

A câmara de combustão é a seção do forno onde a madeira queima, e o calor é conduzido até a torre. Como em todo o forno, ela foi construída com os tijolos de seis furos, entretanto, esses tijolos foram cortados para formar peças diferentes, como meio tijolo, tijolo em formato L, quatro furos e variações destes. A Figura 4.1 detalha a construção da base e da câmara de combustão. A massa utilizada ao final do projeto para assentamento dos tijolos e isolamento das paredes consiste de cimento argila na relação de 1:6, além de uma colher rasa de sopa de açúcar para cada carriola de massa.

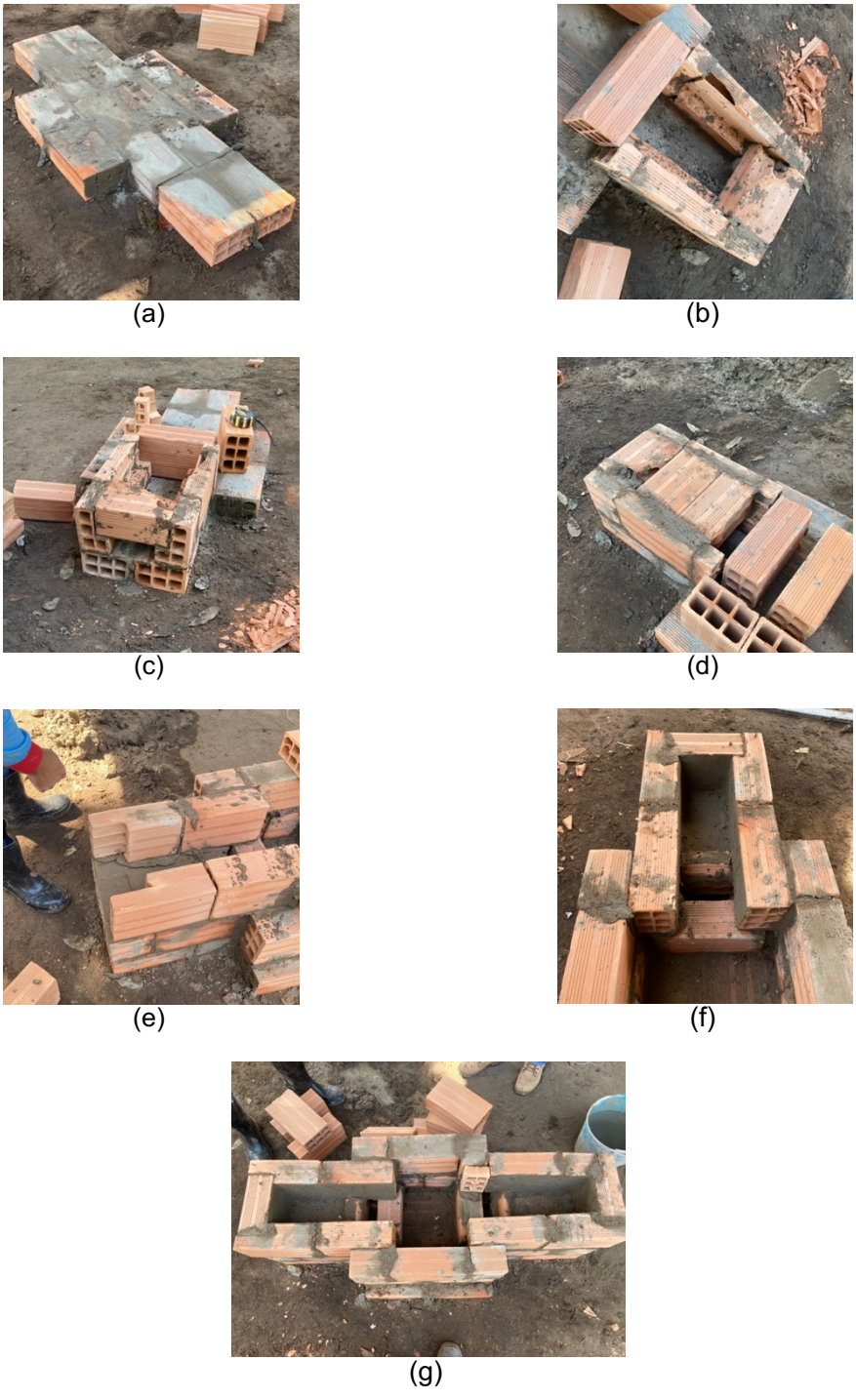


Figura 4.1 – Etapas da contrução da câmara de combustão do forno tipo foguete. (a) Base do forno com 5 tijolos de comprimento e 4 largura. (b) 2ª fileira de tijolos formado por tijolos L. (c) e (d) fechamento da 2º fileira com tijolos com 6 e 4 furos. (e) e (f) montagem da 3ª fileira de tijolos. (g) vista superior da câmara de combustão

A argila de indústria cerâmica e a areia foram originalmente utilizadas para o preparo da massa. Conforme as manutenções foram sendo realizadas pelos membros da comunidade, eles sugeriram e implantaram outras receitas baseadas no

conhecimento local de fornos de lenha para cozinhar. A primeira contribuição foi substituir a argila da indústria cerâmica por um solo rico em argila presente na propriedade. Em seguida, removeram a areia e, por fim, ajustaram a proporção entre argila e cimento. Essas contribuições da comunidade simplificaram o processo de construção e manutenção e reduziram os custos, pois diminuíram a quantidade de cimento utilizada, sem perder a função original.

A torre foi projetada originalmente para ser o próprio reator da pirólise, ou seja, o local onde ocorreria a transformação da casca de cupuaçu em biochar. O seu interior deveria ser preenchido pelas cascas, o que possibilitaria um volume de produção significativo. Entretanto, apesar do sucesso inicial (Figura 4.2b), a impossibilidade de isolar completamente as entradas de oxigênio e a dificuldade para remoção do biochar dentro da torre acarretam a transformação do material carbonizado em cinzas, caso não haja uso de água para o resfriamento brusco do biochar ao final do processo. Além disso, por esse método, há um baixo aproveitamento energético dos gases da pirólise (Figura 4.2a), ocasionando uma poluição ambiental desnecessária.



(a) (b)

Figura 4.2 - Forno seguindo o projeto original. (a) Pirólise de casca de cupuaçu e emissão de gases com alto poder energético. (b) biochar de casca de cupuaçu.

Para correção desse problema, o uso de latas de tintas de 16 e 18L descartadas foi sugerido e, desse modo, as cascas de cupuaçu foram colocadas e, em seguida, as latas foram inseridas dentro da torre, facilitando sua remoção posterior. No entanto, para isso, uma ligeira modificação na torre em relação ao projeto inicial foi necessária, como detalhado na Figura 4.3.

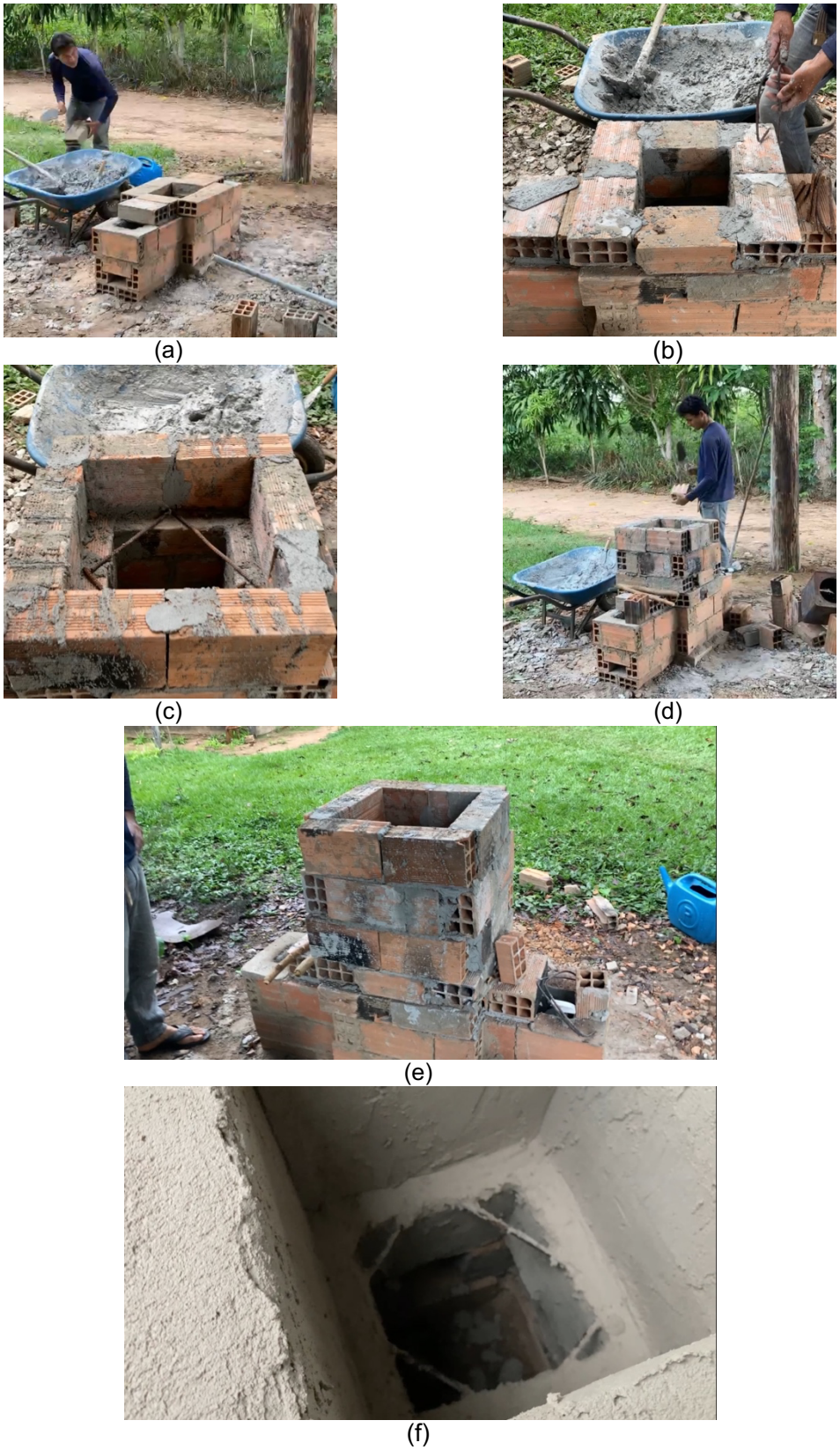


Figura 4.3 – Etapas da construção da torre de combustão do forno tipo foguete. (a) 1ª fileira com tijolos deitados. (b) 2ª fileira com tijolos deitados. (c) 3ª fileira com tijolos em pé e posicionamento dos vergalhões grossos. (d) e (e) 4ª e 5º fileira de tijolos em pé. (f) reboco com a mesma massa usada para assentar os tijolos.

2.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU NA COMUNIDADE GRUPO BEM VIVER

Para a produção do biochar de casca de cupuaçu são necessários 2 vergalhões finos de aproximadamente 50 cm, latas de tintas ou argamassas de 16 L ou 18 L, com as respectivas tampas metálicas. As latas foram previamente lavadas para remoção dos resíduos evitando contaminações do biochar.

Após a lavagem e secagem, foram feitos no fundo das latas 6 furos de 1 cm aproximadamente. No topo da lata mais dois furos nos cantos, com tamanho suficiente para que o vergalhão fino adentre dentro da lata e consiga levantá-la (Figura 4.4).

As cascas de cupuaçu coletadas foram expostas ao sol para secagem e então quebradas em pedaços menores de aproximadamente de 5 a 10 cm, com pedaços mais plano possível. A quebra da casca de cupuaçu foi realizada de duas formas: 1) com um martelo contra uma superfície firme, e; 2) com auxílio de um porrete pesado e um saco de milho por meio de golpes no saco fechado preenchido com a casca de cupuaçu, sendo este o método mais rápido desenvolvido pela comunidade.



Figura 4.4 - Furos superiores da lata para servir de pontos de ancoragem

As cascas de cupuaçu quebradas foram colocadas dentro das latas de tintas, 3,5 kg de casca. Foi utilizando pau-pereira (*Geissospermum vellosii*) como fonte para combustão no forno, sendo esta árvore muito comum na comunidade e já utilizada na comunidade como lenha para os cozimentos. Neste estudo, foram coletados de galhos com diâmetro de aproximadamente de 4 a 6 cm (Figura 13a), previamente secos.

Com o forno aceso e com intensidade de chama da Figura 4.5b o forno foi aquecido por 15 minutos. A intensidade da chama foi mantida durante o processo,

alimentando-se regularmente o forno com pau-pereira. A lata preenchida com cascas e bem vedada com a tampa, foi içada com auxílio dos vergalhões para dentro do forno, centralizando-a na torre, para em seguida a colocação de um galho de pau-pereira em cada vão entre a torre e a lata conforme a Figura 4.5a. O forno foi reabastecido com a lenha conforme houve o consumo pela queima. As latas foram pesadas antes de colocar as cascas, após a colocação e ao final do processo para se determinar o rendimento de produção.



Figura 4.5 - Forno em funcionamento. (a) espessura do pau pereira sendo colocado nos quatro vãos entre lata e a torra. (b) intensidade da chama que deve ser mantida durante o processo

Após alguns pré-testes verificou-se uma fumaça branca saindo pelos furos superiores da lata, se esta fumaça queimar com o auxílio de uma chama ou brasa (Figura 4.6), significa o início do processo de pirólise. Brasas foram mantidas próximas aos furos superiores durante todo o processo, para servir de indicador de início e fim de processo. De forma empírica sabe-se que o início da pirólise ocorre entre 6 a 10 minutos após a colocação da lata, sendo geralmente mais lento para primeira lata do dia, pois o forno ainda não atingiu a temperatura adequada.



Figura 4.6 - Chama superior acionada por uma brasa em cima da lata, sendo um indicativo que o processo de pirólise está ocorrendo

Outro indicador de início da pirólise é uma chama mais avermelhada entre os vãos entre a lata e a torre. O tempo total até o fim do processo é de aproximadamente 43 min (42,9 ± 7,0 min, CV%=16,2, n=18), sendo o indicador final do processo ser a chama superior perdendo bastante intensidade e falhando. Neste momento, a lata foi içada para fora da torre, e colocada no chão. Para evitar a entrada de ar dentro da lata as laterais da base da lata foram coberta com areia, e os buracos superiores fechados com argila, ficando 24h para resfriamento. Outra lata com casca pode ser colocada no forno e dar procedimento ao processo de transformação.

Após 24h de resfriamento, a lata foi aberta e o biochar foi armazenado em sacos. A lata foi verificada com relação a danos, em caso de buracos devido a oxidação foram descartadas deste processo. Após uma quantidade significativa de biochar produzido, o mesmo foi triturado por meio do equipamento triturador de marca Nogueira DPM 4 (Desintegrador, Picador e Moedor), equipamento este presente na comunidade, obtendo os finos da Figura 4.7.



Figura 4.7 - Finos de biochar obtidos após a trituração no equipamento Nogueira DPM 4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tecnologias sociais são uma abordagem inovadora e eficiente para solucionar questões locais, já que envolvem as próprias comunidades no processo de resolução dos problemas. Essa abordagem promove a participação ativa e engajamento dos membros da comunidade, além dee valorizar o conhecimento local e a cultura das comunidades.

No caso específico do Grupo Bem-Viver, a implementação colaborativa do forno multipropósito e do método de produção de biochar de casca de cupuaçu é um exemplo de como houve uma troca de saberes, havendo a todo momento sugestões baseadas no conhecimento e necessidades locais, sendo estas fundamentais para redução de custos e demonstrar a versatilidade do forno desenvolvido.

Com relação aos custos envolvidos do forno desenvolvido no grupo Bem Viver, este tem um custo total de aproximadamente 105 reais (Tabela 4.1) para sua implementação e de aproximadamente 5 a 10 reais para cada manutenção. Conforme mostrado a implementação do forno foguete não demanda investimentos significativos, em termos de recursos financeiros, sendo uma ferramenta útil que traz tanto benefícios ambientais quanto os benefícios sociais, sendo uma tecnologia versátil que facilmente pode ser adaptada a contextos de outras comunidades.

Tabela 4.1 - Custos e materiais envolvidos para o desenvolvimento do forno

Materiais	Quantidade	Custo	Observações
Tijolos de 6 furos	100 un	R$ 50	Adquirido de sobras de uma casa recém-construída
Cimento	15 kg	R$ 15	Cimento comprado avulso
Argila	100 kg	R$ 0	Peso aproximado o traço é em volume de argila:cimento (6:1). Adquirido na comunidade
Açúcar	12 g	R$ 0	Doado por uma das famílias da comunidade
Vergalhão ¼”	12 m	R$ 40	É necessário somente um metro. Adquirido em casa de construção
Vergalhões grossos	4 pedaços de 30 cm	R$ 0	Adquirido de sobras de construção

O envolvimento com membros da comunidade foi crucial para melhorias no forno, aperfeiçoando o método de preparo da massa e dando sugestões de outras finalidades para uso do forno, como assar carnes, preparos de extratos para horticultura, entre outros.

Este trabalho não utilizou material ou equipamento que não fosse de fácil

obtenção pela comunidade, a exceção do termômetro que teve o intuito científico de se determinar a temperatura máxima do processo e de estabelecimento de protocolos de produção. Após a definição do protocolo todo processo de produção foi baseado em indicadores baseados na intensidade da chama, ou seja, atualmente para a produção do biochar de casca de cupuaçu não há necessidade de uso do termômetro.

A temperatura máxima registrada na produção do biochar de casca de cupuaçu foi de aproximadamente 390 ºC (Figura 4.8). O processo de produção estabelecido por este trabalho apresentou um rendimento de 0,33 (DP=0,5, CV%=16,1, n=18), ou seja, para cada quilo de casca de cupuaçu se produz aproximadamente 333 g de biochar, sendo que este valor é próximo dos obtidos em pirólises de artigos científicos com outras matérias primas (VAN ZWIETEN et al., 2010; GRECO et al., 2020; VIEIRA et al., 2020).



Figura 4.8 - Temperatura máxima de 390ºC registrada durante o processo de pirólise

Conforme o protocolo de produção estabelecido cada lata deve ser preenchida com 3,5 kg de casca, isto implica que se produzirá, em média, 1,155 kg de biochar de casca de cupuaçu em cada batelada. Como cada batelada leva em torno de 43 min para ser finaalizada é possível produzir aproximadamente 4,5 kg de biochar por dia em uma jornada de 6 horas, sendo duas horas destinadas a coleta e preparo da madeira para queima.

Durante o processo de fabricação do biochar de casca de cupuaçu, alguns membros da comunidade participaram de seu funcionamento, e sugeriram outras finalidades para o forno além de realizar o biochar de casca de cupuaçu. Entre as sugestões foram testadas a produção de castanha de caju assada, defumação de carnes e assamento de carnes.

Além destas funcionalidades existem outras possibilidades como cozimento de alimentos, preparo dos extratos de interesse para agricultura como o extrato de nim (*Azadirachta indica*), assar pães e obtenção de carvões de outros resíduos. Todas essas possibilidades mostram a multifuncionalidade do forno, caracterizando-o como um forno multipropósito, a qual possibilita que os agricultores familiares possam diversificar seus produtos, consequentemente, melhorando sua renda.

Nesse sentido, o forno multipropósito, além de ser uma tecnologia social para produção de biochar de casca de cupuaçu pode ser adaptado para o desenvolvimento de tecnologias sociais voltadas para métodos de cocção em comunidades, de forma a promover o uso de soluções tecnológicas sustentáveis e acessíveis para melhorar a qualidade de vida e o bem-estar social.

Destaca-se que a tecnologia social desenvolvida para produção de biochar de casca de cupuaçu pode ser uma alternativa interessante para a gestão de resíduos, reduzindo assim os impactos ambientais de seu descarte inadequado e contribuindo para a economia circular (JINDO et al., 2020). Essa prática pode estimular a criação de um ciclo produtivo mais sustentável, com a reutilização de materiais que antes eram descartados como resíduos, atendendo assim ODS 12.5 contidos na Agenda 2030

No entanto, é importante ressaltar que a implementação desta tecnologia do forno, principalmente para produção do biochar de casca de cupuaçu exige um processo de adaptação e aprendizado por parte da comunidade, sendo necessário a transferência de informações e capacitação para que eles possam utilizar a tecnologia de forma eficiente e sustentável. Além disto é necessário incentivo de sua utilização por meio de políticas públicas e de iniciativas de organizações sociais para a fim de promover uma sustentabilidade ambiental.

5.5 CONCLUSÕES

A construção colaborativa do forno para produção de biochar de casca de cupuaçu, descrita neste artigo, foi bem-sucedida. Durante o processo de construção

a comunidade Grupo Bem Viver mostrou-se capaz de adaptar e aprimorar a tecnologia do forno, pois a partir de um projeto inicial baseado na tecnologia de forno foguete ajustaram e adaptaram a construção do forno de acordo com o conhecimento local resultando em uma tecnologia mais barata e que se adequa melhor às necessidades e recursos disponíveis na comunidade. O sucesso dessa experiência demonstra que, ao unir esforços e conhecimentos, é possível construir um futuro mais consciente e equilibrado. Essa experiência demonstra a importância da valorização dos conhecimentos locais na busca por soluções sustentáveis e adequadas às realidades e recursos disponíveis em cada localidade. A tecnologia social apresentada nesse artigo pode servir de inspiração e modelo para outras comunidades interessadas em produzir biochar de forma sustentável e colaborativa ou para outras finalidades.

5.6 REFERÊNCIAS

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. D. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Babaçu**. Brasília: ISPN, 2012, 68 p.

DA SILVA, D. R.; MONTEBELLO, A. E. S. A tecnologia social PAIS (Produção Agroecológica Integrada e Sustentável) e a sua efetividade no desenvolvimento rural no semiárido: o caso da APAOrgânico. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, n., p., 2020.

FURSZYFER DEL RIO, D. D.; LAMBE, F.; ROE, J.; MATIN, N.; MAKUCH, K. E.; OSBORNE, M. Do we need better behaved cooks? Reviewing behavioural change strategies for improving the sustainability and effectiveness of cookstove programs. **Energy Research & Social Science**, v. 70, n., p. 101788, 2020.

GARCIA, S. G. A tecnologia social como alternativa para a reorientação da economia. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 251-275, 2014.

GHOSH, D.; MAITI, S. K. Biochar-assisted eco-restoration of coal mine degraded land to meet United Nation Sustainable Development Goals. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 16, p. 4494-4508, 2021.

GUO, M.; HE, Z.; UCHIMIYA, S. M. Introduction to biochar as an agricultural and environmental amendment. **Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers**, v. 63, n., p. 1–14, 2016.

JAGABA, A. H.; KUTTY, S. R. M.; ABUBAKAR, S.; BIRNIWA, A. H.; LAWAL, I. M.; UMARU, I.; USMAN, A. K.; YARO, N. S. A.; AL-ZAQRI, N.; AL-MASWARI, B. M.; IBRAHIM, M. N. M.; HUSSAIN, F. Synthesis, Characterization, and Performance Evaluation of Hybrid Waste Sludge Biochar for COD and Color Removal from Agro-Industrial Effluent. **Separations**, v. 9, n. 9, p. 258, 2022.

JINDO, K.; AUDETTE, Y.; HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; AKASHI, K.; MASTROLONARDO, G.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; MONDINI, C. Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the

biochar roles in soil N, P and K cycles. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 15, 2020.

KUMAR, A.; BHATTACHARYA, T. Biochar: a sustainable solution. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 5, p. 6642-6680, 2020.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: (Ed.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**: Routledge, 2015, p.1-13.

MAROUŠEK, J.; STRUNECKÝ, O.; STEHEL, V. Biochar farming: Defining economically perspective applications. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n., p. 1389–1395, 2019.

MATINGA, M. N.; ROBINSON, J. W.; ANNEGARN, H. J. The Global Alliance for Clean Cookstoves: Implications for South Africa. **19 DUE, Cape Peninsula University of Technology, Cape Town, 12-13 April 2011**, v., n., p. 55–59, 2011.

NEOGI, S.; SHARMA, V.; KHAN, N.; CHAURASIA, D.; AHMAD, A.; CHAUHAN, S.; SINGH, A.; YOU, S.; PANDEY, A.; BHARGAVA, P. C. Sustainable biochar: A facile strategy for soil and environmental restoration, energy generation, mitigation of global climate change and circular bioeconomy. **Chemosphere**, v. 293, n., p. 133474, 2022.

SIMON, G. L.; BAILIS, R.; BAUMGARTNER, J.; HYMAN, J.; LAURENT, A. Current debates and future research needs in the clean cookstove sector. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, n., p. 49–57, 2014.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nat Commun**, v. 1, n. 1, p. 56, 2010.

CAPÍTULO 5

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO COM APLICAÇÃO DE BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU ASSOCIADO A TÉCNICAS ORGÂNICAS UTILIZADAS PELO GRUPO BEM VIVER EM CACOAL-RO

RESUMO

O uso de biochar é uma estratégia que pode melhorar a qualidade do ambiente tanto na melhoria de atributos químicos dos solos como sequestro carbono, e que se encaixa nos princípios agroecológicos. Trabalhos associando o biochar com adubos orgânicos existem, entretanto, devido a diferenças que podem existir entre biochars e os adubos orgânicos produzidos localmente, tornam os estudos únicos. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar, em campo, os efeitos em atributos químicos do solo, no curto prazo, da aplicação de biochar da casca de cupuaçu (BCC) em associação com biofertilizante e vermicomposto produzidos no Grupo Bem-Viver em Cacoal-RO. O biochar foi obtido pela pirólise por um método artesanal e aplicado em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico na dosagem de 1%. Os tratamentos consistiram em biofertilizante e biofertilizante mais vermicomposto, com ou sem BCC, totalizando 4 tratamentos com cinco repetições. O período do experimento foi de agosto a dezembro de 2022 e foram feitas análises de atributos de fertilidade do solo, antes e pós cultivo de hortaliças. Resultados mostraram que antes do primeiro cultivo a aplicação da dose de 1% de BCC nos solos melhoram o pH H_2O e elevaram os teores de K^+ e após o primeiro cultivo, estes atributos permaneceram em valores adequados para suportar um segundo cultivo. Os resultados mostram o potencial do BCC como uma técnica que complementa a adubação orgãnica já praticadas no Grupo Bem-Viver, sendo uma tecnologia compatível com os princípios agroecológicos, e que pode melhorar o ambiente através da melhoria de atributos químicos do solo.

Palavras-chave: Fertilizantes orgânicos, sustentabilidade, solos, região amazônica.

ABSTRACT

The use of biochar is a strategy that can improve environmental quality by enhancing soil chemical attributes and carbon sequestration, aligning with agroecological principles. While studies combining biochar with organic fertilizers exist, the unique characteristics of locally produced biochars and organic fertilizers introduce differences. Therefore, the objective of this study was to evaluate, in the field, the short-term effects on soil chemical attributes of applying cupuaçu shell biochar (CSB) in combination with biofertilizer and vermicompost produced by the Bem-Viver Group in Cacoal-RO. The biochar was obtained through artisanal pyrolysis and applied to a typical Orthic Quartzarenic Neosol at a rate of 1%. The treatments consisted of biofertilizer alone, biofertilizer combined with vermicompost, with or without CSB, totaling 4 treatments with five replicates. The experiment period was from August to December 2022, and soil fertility attribute analyses were conducted before and after vegetable cultivation. Results showed that prior to the first cultivation, the application

of a 1% CSB dose improved soil pH H_2O and increased K^+ levels. After the first cultivation, these attributes remained at adequate values to support a second cultivation. The findings demonstrate the potential of CSB as a technique that complements organic fertilization practices in the Bem-Viver Group, serving as a technology compatible with agroecological principles and capable of improving the environment through enhancing soil chemical attributes.
Keywords: Organic fertilizers, sustainability, soils, Amazon region.

1 INTRODUÇÃO

O biochar pode ser técnica agrícola útil em campos agrícolas a fim de melhorar a qualidade do solo e consequentemente aumentar a produtividade de cultivos (SOMBRA et al., 2020). Além destes benefícios o sequestro de carbono pode reduzir a emissão de gases de efeitos estufa (PETTER; MADARI, 2012). Entretanto, o efeito do biochar no solo pode atuar de forma variada devido a características intrínsecas da matéria-prima e de métodos de produção de biochar (SOHI et al., 2010; LEHMANN et al., 2011; CLOUGH et al., 2013; CHA et al., 2016; HIGASHIKAWA et al., 2016; BORCHARD et al., 2019; EL-NAGGAR et al., 2019; GLASER; LEHR, 2019).

Nesse sentido, por existir métodos de produção agrícola baseados na não utilização da adubação química convencional, a exemplo da agroecologia, que incorpora princípios de ecologia e sociologia entre outros para implementação de toda cadeia de sistemas agrícolas e alimentares sustentáveis (BEZNER KERR et al., 2021; GLIESSMAN, 2020; SHAH; TASAWWAR; OTTERPOHL, 2021) o uso de biochar nesses sistemas de produção pode ser relevante.

Sistemas agroflorestais, produção orgânica e permacultura são exemplos que se encaixam na abordagem agroecológica (BEZNER KERR et al., 2021). A abordagem agroecológica tem como um dos princípios a multidisciplinaridade, valorizando as culturas, saberes locais e aliando a ciência ao conhecimento tradicional, capacitando as comunidades como agentes da mudança (GLIESSMAN, 2020).

Fazem parte da agroecologia a otimização da disponibilidade de nutrientes e a garantia das condições aos solos que permitam o desenvolvimento de plantas (AGUILERA et al., 2020; PARIONA-PALOMINO; MATOS-ORMEÑO; HUILLCA-HUANACO, 2020). Neste sentido, a produção de biochar de casca de cupuaçu e, posterior aplicação ao solo, pode ser uma estratégia interessante para comunidades que seguem os princípios agroecológicos na região amazônica já que ele pode suprir algumas necessidades nutricionais e melhorar o pH do solo para condições favoráveis

as plantas, conforme é relatado em estudos com vários biochars produzidos de diversos materiais. (GASKIN et al., 2008; ZORNOZA et al., 2016; DOMINGUES et al., 2017; MANOLIKAKI; DIAMADOPOULOS, 2020)

O Grupo Bem-Viver em Cacoal-RO é uma comunidade de agricultores familiares que adotam princípios agroecológicos utilizando-se de técnicas de agricultura orgânica para seus cultivos (DA SILVA PEREIRA, 2021). Neste grupo há várias técnicas orgânicas para fertilização dos solos que variam de família para família, devido as adaptações para as realidades locais. Entre as técnicas utilizadas estão o uso de biofertilizante, compostagem e vermicompostagem, cada um seguindo uma receita própria e variável segundo os materiais disponíveis.

Trabalhos científicos vem sendo desenvolvidos com as interações de biochars com produtos orgânicos (DOAN et al., 2015; ALVAREZ et al., 2017; KHAN et al., 2021; SUN et al., 2021; VICTORIA et al., 2023), como biofertilizantes e vermicompostos mostrando resultados sinérgicos que acarretam uma maior produtividade. Entretanto, o grupo Bem-Viver produzi seus próprios biofertilizantes e vermicompostos com materiais disponíveis na região. Porém, independentemente dos materiais usados na fabricação de biofertilizantes e vermicompostos nessas comunidades, se questiona o potencial do BCC de contribuir para a qualidade do solo nesse sistema de cultivo.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos em atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região Amazônica da aplicação do o biochar de casca de cupuaçu em associação com biofertilizante e vermicomposto produzidos no grupo Bem Viver.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PRODUÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CUPUAÇU, BIOFERTILIZANTE E VERMICOMPOSTO

As cascas do cupuaçu foram coletadas entre os anos de 2021 e 2022 nas propriedades do Grupo Bem Viver e na agroindústria ITI polpas localizada no município de Cacoal – RO. Após a coleta das cascas, estas foram quebradas e colocadas ao sol para secagem natural por 1 dia para perda de umidade e então armazenadas em uma caixa plástica fechada de 500 L obtendo-se aproximadamente 80 kg de cascas. Para obtenção do biochar, na comunidade Bem Viver, foi seguido o procedimento estabelecido no capítulo 04 utilizando-se um forno tipo foguete

construido localmente. Resumidamente, as cascas de cupuaçu foram quebradas em pedaços de 5 a 6 cm, aproximadamente e colocadas em lats de tinda de 18 L, previamente higienizadas. As latas foram preenchidas com aproximadamente 3,5 kg de cascas, e colocadas no forno para a a pirólise do material. Após o processo, foram obtidos aproximadamente 24 kg de biochar de casca de cupuaçu (BCC) O BCC foi moído em um moedor Nogueira DPM 4 e homogeneizado.

O preparo do biofertilizante e do vermicomposto seguiu as técnicas utilizadas na comunidade para a produção destes adubos orgânicos. Para o preparo do vermicomposto, 80 kg de esterco de bovino foram adicionados a uma caixa contendo as minhocas e deixadas por um periodo de e 45 dias (Figura 5.1).



Figura 5.1 - Húmus de minhoca ou vermicomposto após 45 dias da adição de esterco bovino

No grupo Bem Viver existem receitas diferentes para preparo de biofertilizantes, sendo utilizada a receita das famílias do sítio do Sr. Jesus, local do experimento. Nesta o biofertilizante foi preparado com 160 kg de esterco bovino fresco, 20 kg de talo de bananeira e 1,5 kg de cinzas de pau-pereira. Nesta propriedade, os gados alimentam-se exclusivamente de pasto, a qual tem influência direta na qualidade do biofertilizante (PINHO DE OLIVEIRA et al., 2022).

Os materiais coletados para a fabricação do biofertilizante foram desmanchados ou picados em pedaços menores para favorecer a fermentação biológica, e então adicionados ao biodigestor de 500 L. Em seguida, o volume do biodigestor foi completado com água, deixando-o fermentar por 15 dias. O material do biodigestor era misturado a cada 2 dias.

No 15º dia de fermentação uma parte de biofertilizante foi separado do

biodigestor principal, para uma caixa secundária objetivando-seo preparo do tratamento do biofertilizante mais vermicomposto (B+V). Neste biodigestor secundário foram adicionados aproximadamente 7 kg de vermicomposto para cada 100 L de biofertilizante sendo a mistura homogeneizada (Figura 5.2). Os biodigestores foram fechados e fermentaram por mais 5 dias, totalizando 20 dias de fermentação.



Figura 5.2 - Preparo do condicionador orgânico biofertilizante mais vermicomposto (B+V) no 15º de fermentação.

2.2 EXPERIMENTO EM CAMPO E APLICAÇÕES DO BIOCHAR, DO BIOFERTILIZANTE E VERMICOMPOSTO

A execução do experimento em campo foi realizada no sítio do Jesus localizado 11º31’28" S 61º33’52” W, em área de Neossolo Quartzarênico Órtico típico sendo seus atributos físico-químicos apresentados na Tabela 5.1. Foram analisados os efeitos em atributos químicos do solo da aplicação de biofertilizantes, associados ou não com a aplicação do biochar de casca de Cupuaçu (BCC). Assim, os tratamentos foram: 1) biofertilizante (B); 2) biofertilizante mais vermicomposto (B + V); 3) biofertilizante mais biochar da casca de cupuaçu (B + BCC); 4) biofertilizante mais vermicomposto mais biochar da casca de cupuaçu ((B + V + BCC); Todos os tratamentos foram em cinco repetições, sendo cada parcela estabelecida em delineamento experimental do tipo blocos casualizados contituida de canteiros de 1,4 x 1,0 x 0,15 m (Figura 5.3). Após a aplicação dos tratmentos os canteiros foram cultivados com alface, rúcula e coentro.

Tabela 5.1 - Atributos físico-químicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico da região de Cacoal-RO

Atributos	Unidade	Média	DP	CV %
pH H_2O	-	5,79	0,164	2,83
P	mg dm^{-3}	20,9	1,43	6,84
K^+	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,067	0,0058	8,66
Ca^{2+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	4,95	0,230	4,65
Mg^{2+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,873	0,0306	3,51
Al^{3+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,166	0,0577	34,76
H+Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	6,03	0,252	4,18
MOS	g dm^{-3}	45,1	2,46	5,45
CTC	$cmol_c\ dm^{-3}$	11,9	0,5	4,20
V	%	49,4	0,164	0,33
Areia	g kg-1	755	-	-
Silte	g kg-1	95	-	-
Argila	g kg-1	150	-	-

Os canteiros com tratamento baseado em BCC receberam a aplicação da dose mássica de 1% de BCC, cuja dose foi calculada levando-se em consideração 15 cm de camada de solo e densidade de solo de 1,0 Mg m^{-3}. Após aplicação os canteiros foram homogeneizados com o auxílio de uma enxada.



Figura 5.3 - Canteiros levantados e preparados com o biochar de casca de cupuaçu

2.3 PREPARO DOS CANTEIROS COM OS ADUBOS ORGÂNICOS,

TRANSPLANTIO E PERÍODO DE CULTIVO DE HORTALIÇAS

No dia anterior aos transplantios das hortaliças, os adubos orgânicos prontos foram diluídos na proporção de 1 parte de água para 3 do adubo orgânico e então aplicados superficialmente aos canteiros, com o auxilio de um regador Mudas de coentro, cv. Verdão, alface lisa de uma variedade criola da comunidade e rúcula, cv. Folha larga, foram transplantadas com 10, 30 e 20 dias após a semeadura respectivamente para os canteiros em um arranjo 1:1:1 (coentro:alface:rúcula), com espaçamento de 20 cm entre linhas e espaçamento de 5; 20; e 10 cm de espaçamento entre plantas na linha para coentro, alface e rúcula respectivamente. Após os respectivos transplantios o canteiro foi coberto com folhas entre as fileiras.

Foram realizados 2 cultivos: o primeiro entre 20/08/2022 a 27/09/2022 o segundo entre 28/10/2022 a 15/12/2022. Entre os cultivos os solos foram cobertos com folhas de bananeiras, para se evitar a exposição do solo as intempéries, segundo os procedimentos rotineiros adotados pela comunidade agroecológica Bem Viver. No primeiro cultivo foram aplicados 14 L (10 L m^{-2}) do respectivo adubo orgânico por canteiro e no segundo cultivo 20 L (14,3 L m^{-2}), de acordo com cada tratamento..

A linha de tempo mostrando os eventos deste experimento é mostrada na Figura 5.4. Os dados de precipitação (Figura 5.5) foram coletados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (http://www.agritempo.gov.br) da estação TRMM.4530, localizada em 11º30’ S 61º30’ W.

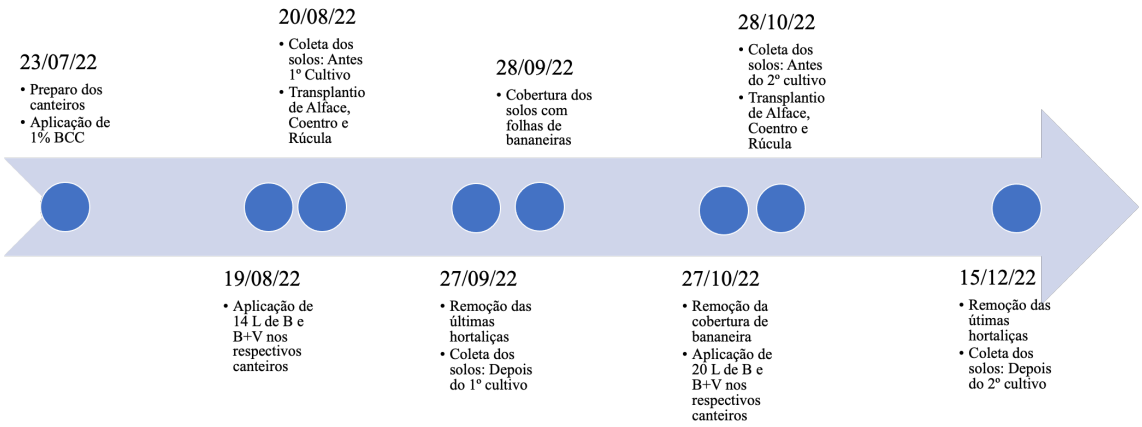


Figura 5.4 - Linha do tempo dos eventos durante o experimento em campo. BCC - Biochar de casca de cupuaçu, B - Biofertilizante, B+V - Biofertilizante+Vermicompostos

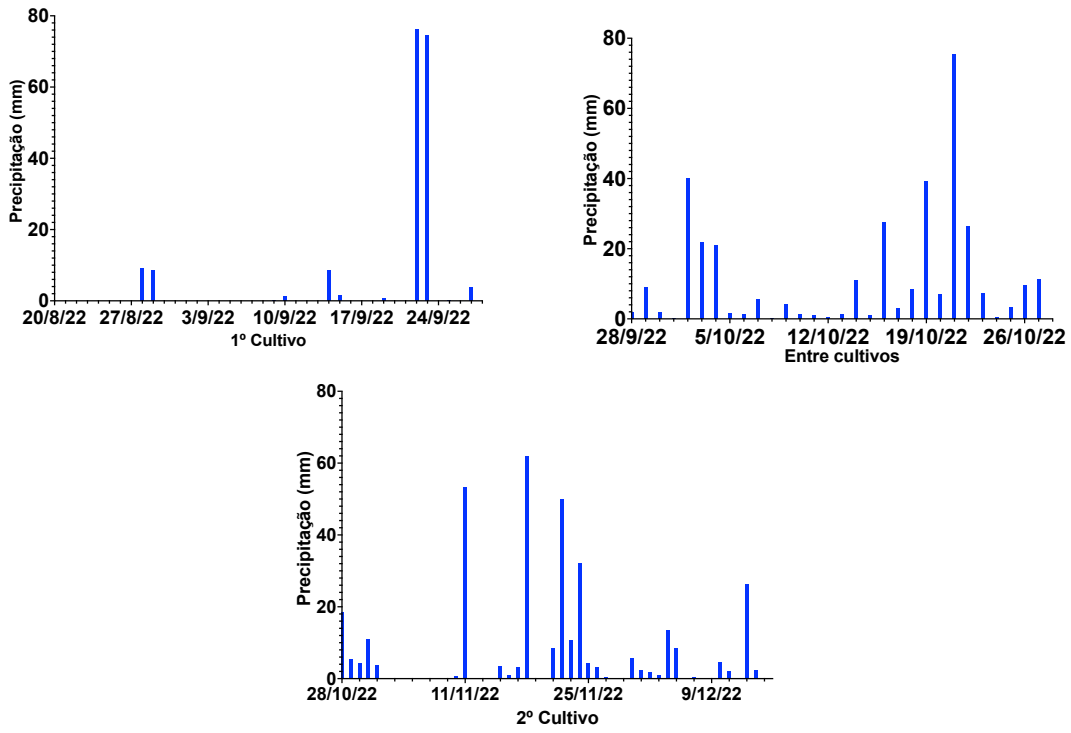


Figura 5.5 - Gráfico de barras da precipitação diária durante a execução do experimento.

2.4 ANÁLISE DE SOLOS

Amostras do solo de cada canteiro foram coletadas após um dia da aplicação dos condicionadores e após a remoção de todas as hortaliças do canteiro, após cadaa ciclo de cultivo, para análise de rotina para avaliação da fertilidade do solo, gerando quatro grupos de análises: Antes do 1º cultivo, Pós 1º cultivo, Antes do 2º cultivo e Pós 2º cultivo. As análises de solo foram realizadas de acordo com Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017) sendo determinados os atributos químicos: pH em água; P , Na trocável (Na^{+}) e K trocável (K^{+}) extraído por solução de Mehlich-1; Ca trocável (Ca^{2+}), Al trocável (Al^{3+}), Mg trocável (Mg^{2+}) extraídos por solução de KCl 1 mol L^{-1}; acidez potencial (H+Al) por solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}; matéria orgânica (MOS) pelo método via seca por incineração em mufla.

A análise de variância (ANOVA) foi executada para identificar diferenças dos atributos químicos dos solos em função dos tratamentos aplicados. Quando detectadas, as médias de cada atributo de fertilidade do solo foram comparadas pelo teste *post-hoc* de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram executadas usando o software GraphPad Prism 9.4.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DURANTE OS CULTIVOS.

Os resultados dos atributos químicos analisados são mostrados no Apêndice B. Os testes de médias entre tratamentos antes do 1º cultivo mostram diferenças estatisticamente significativas antes do 1º cultivo nos atributos químicos: pH H2O ($F(3,16) = 10,50$, $p=0,00046$); K^+ ($F(3,16)= 49,11$, $p<0,000001$) e H+Al ($F(3,16)=5,029$, $p=0,012$). Esses dados mostram que o BCC proporciona a elevação pH do solo, que consequentemente reduz a H+Al e elevação do teor de K^+. A Figura 5.6 mostra os efeitos do BCC quando associado ao biofertilizante e vermicomposto no pH H_2O do solo, sinalizando quais tratamentos possuem diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey.

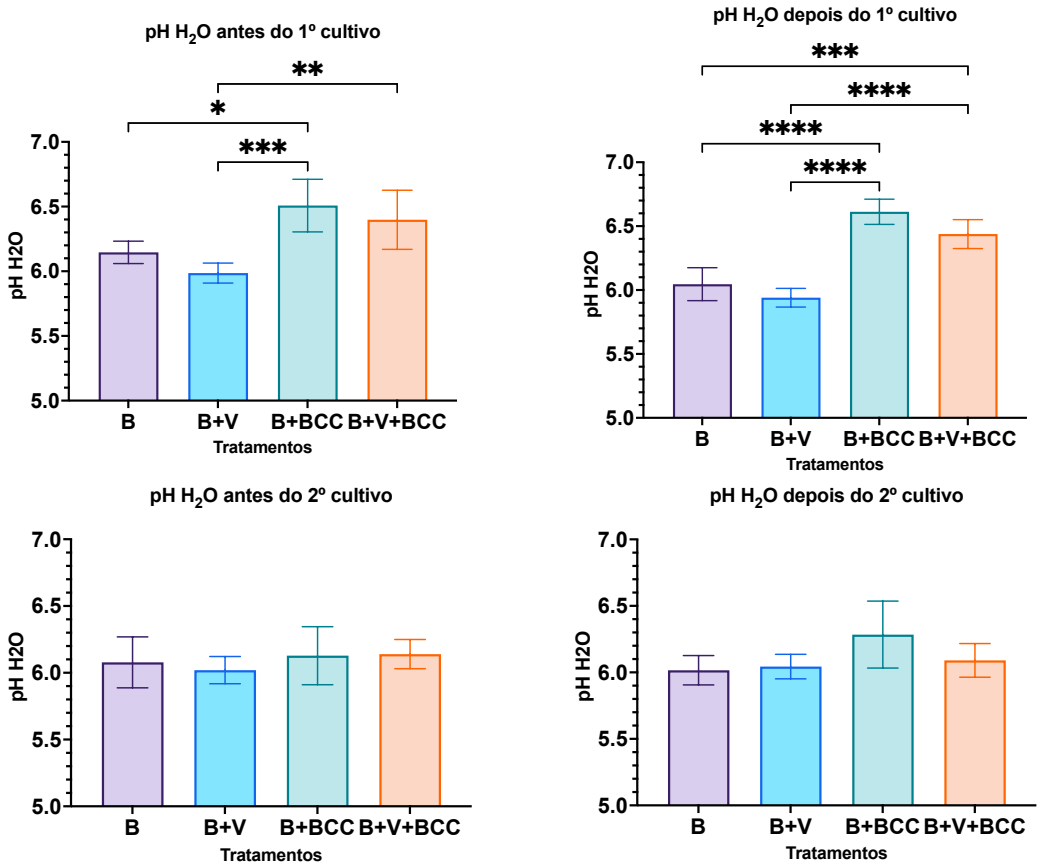


Figura 5.6 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de pH H_2O versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - $p<0,05$, ** - $p<0,005$, *** - $p<0,0005$.

Conforme mostrado na Figura 5.6, o BCC na dose aplicada de 1% promove um aumento inicial no pH do solo em relação a tratamentos sem o biochar e mesmo depois do 1º cultivo, mantém os valores de pH maiores que os tratamentos sem o BCC. Este resultado é coerente com outros trabalhos na literatura devido a natureza alcalina do biochar.

Os vermicompostos quando aplicados aos solos são reconhecidos na literatura científica por elevar o pH de solos ácidos (SOARES et al., 2014), entretanto na Figura 5.6 verifica-se que tratamentos com vermicomposto são estatisticamente iguais aos tratamentos equivalentes sem vermicomposto, mostrando pouca influência neste atributo neste trabalho.

Os tratamentos com BCC apresentaram um pH maior que os tratamentos sem o BCC, durantes as análises do antes e depois do 1º cultivo. Ao final do 1º cultivo e início do 2º cultivo os valores do pH dos tratamentos com biochar reduziram, não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos com ou sem BCC durante o restante do experimento (Figura 5.7 e Figura 5.6). A não diferença estatística no pH do solo também foi observada por VICTORIA et al. (2023) em um experimento de 3 anos com associações biochar de bambu, biofertilizante e vermicomposto comerciais com cultivo de café em solos diferentes.

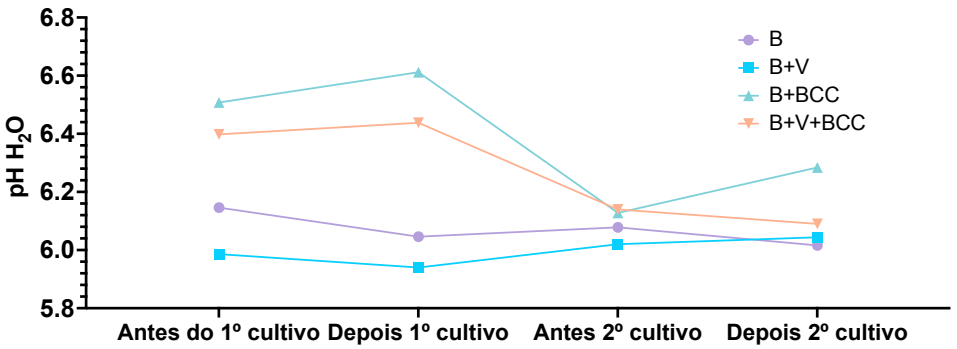


Figura 5.7 - Gráfico de linhas de médias pH H_2O de cada tratamento durante os cultivos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Antes do 1º cultivo foram aplicados 14 L de B ou B+V e Antes do 2º cultivo foram aplicados 20 L B ou B+V nos respectivos tratamentos.

Esta redução do pH em tratamentos com BCC entre os cultivos, não foi observada durante a execução dos 1º e 2º cultivos. Este efeito pode ter sido

ocasionado por um conjunto de fatores como o material orgânico distinto utilizado para cobertura do solo, como também pela elevação do índice de chuvas.

A Figura 5.8 mostra os efeitos dos tratamentos sobre o teor de K^+ no solo sinalizando os tratamentos que apresentam diferenças estatisticamente significativas. Os tratamentos com BCC elevaram os teores de K^+ no solo. Apesar do BCC contribuir inicialmente para elevar os teores de K^+ do solo, os teores de potássio nos tratamentos sem biochar (B e B+V) antes do 1º cultivo estão em níveis altos. Depois do 1º cultivo os teores de K^+ caem sendo a menor queda registrada no tratamento B+V+BCC com queda de 0,08 $cmol_c\ dm^{-3}$ seguidos dos tratamentos B+BCC e B+V que reduziram 0,16 $cmol_c\ dm^{-3}$. Um dos benefícios claros da aplicação da dose 1% de BCC é que ao final do 1º cultivo os tratamentos com BCC mostram níveis de K^+ alto para um segundo cultivo seguido.

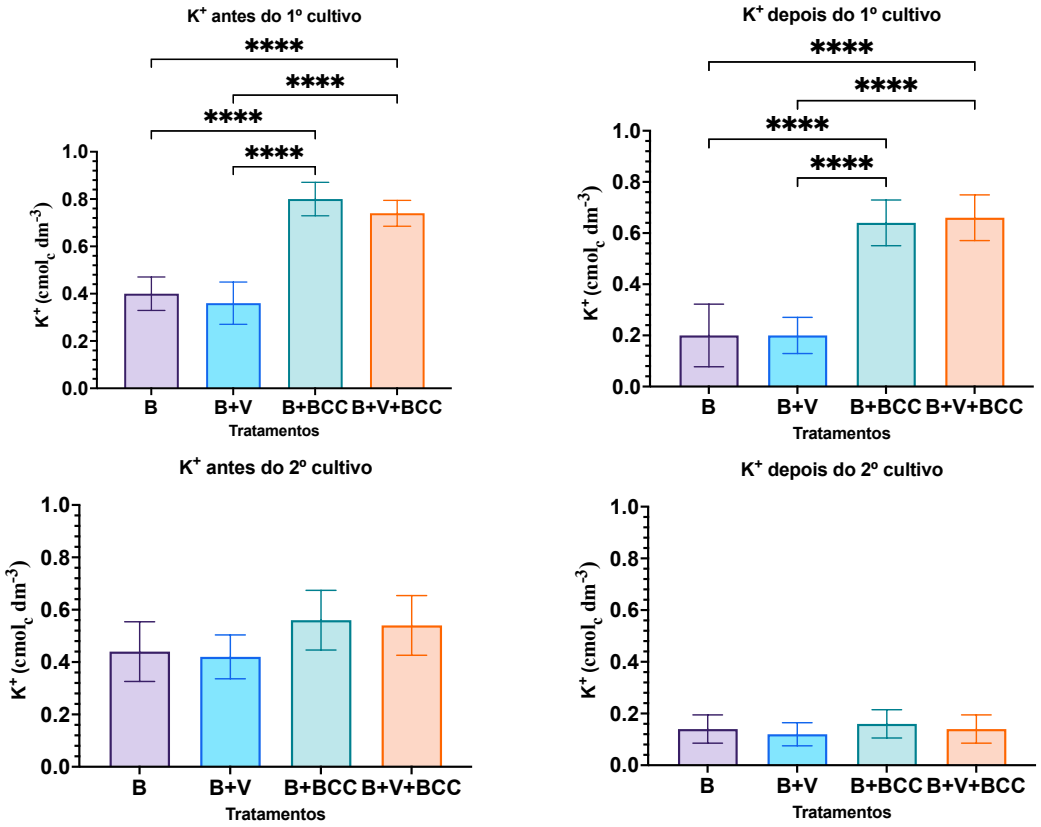


Figura 5.8 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de K^+ versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005.

De maneira similar ao observado com o pH H_2O do solo entre o fim do 1º cultivo

e início do 2º cultivo, os teores de K^+ no solo de tratamentos com biochar reduziram, não havendo mais diferenças significativas entre os quatros tratamentos antes do 2º cultivo. Os resultados K^+ depois do 2º cultivo mostram que novas aplicações de condicionadores devem ser refeitas antes dos próximos cultivos.

Os resultados obtidos por este trabalho mostram que a dose utilizada de vermicomposto não alterou os teores de K^+ significativamente em comparação aos respectivos tratamentos sem vermicomposto. Alves Tito et al. (2019) estudaram efeitos quantitativos de doses aplicadas da associação vermicomposto e pó de rocha (0-25 t ha^{-1}), em experimento de 60 dias de incubação, mostram uma diminuição K^+ do solo em doses aplicadas até 10 t ha^{-1} do vermicomposto.

A análise de H+Al (Figura 5.9) corrobora com as informações de maior redução do pH do solo ocorrendo em tratamentos com BCC entre os períodos entre cultivos, pois ao final do 1º cultivo tratamentos com BCC tem uma acidez potencial significativamente menor que tratamentos sem biochar, sendo que esta diferença não é mais significativa antes do 2º cultivo.

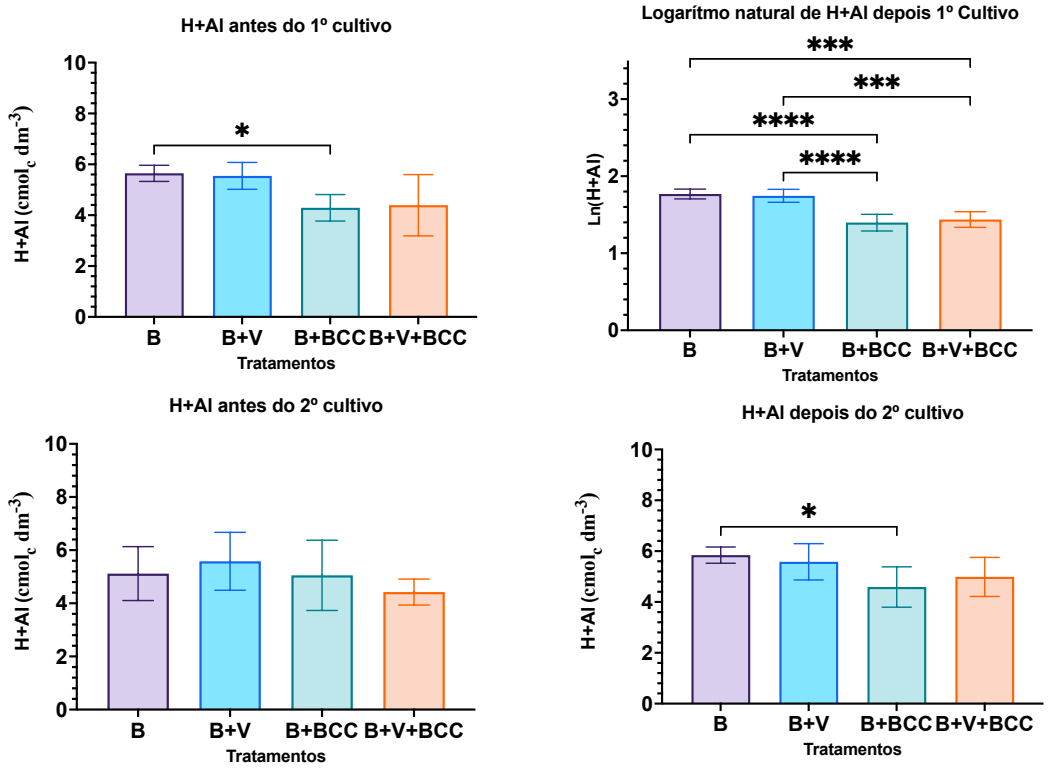


Figura 5.9 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de H+Al versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005.

A menor acidez potencial antes do 1º cultivo em tratamentos com BCC ocorre devido a neutralização por compostos alcalinizantes presentes no biochar como óxidos. A análise de acidez potencial apresenta um efeito interessante já que o tratamento B+BCC tem uma acidez potencial menor e estatisticamente significativa em relação ao tratamento B ao final dos dois cultivos. Antes do 2º cultivo a acidez potencial é idêntica em todos os tratamentos, entretanto após o 2º cultivo há diferenças, implicando que o solo tratado com B+BCC tem uma maior de quantidade de seus sítios de cargas negativa ocupados por cátions trocáveis.

O Mg^{2+} é outro nutriente que o BCC pode aumentar no solo, entretanto o aumento é relativamente pequeno e pode ser facilmente ocultado pelas próprias variações deste atributo no solo. A Figura 5.10 mostra a não detecção de diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos com ou sem BCC no início do cultivo.

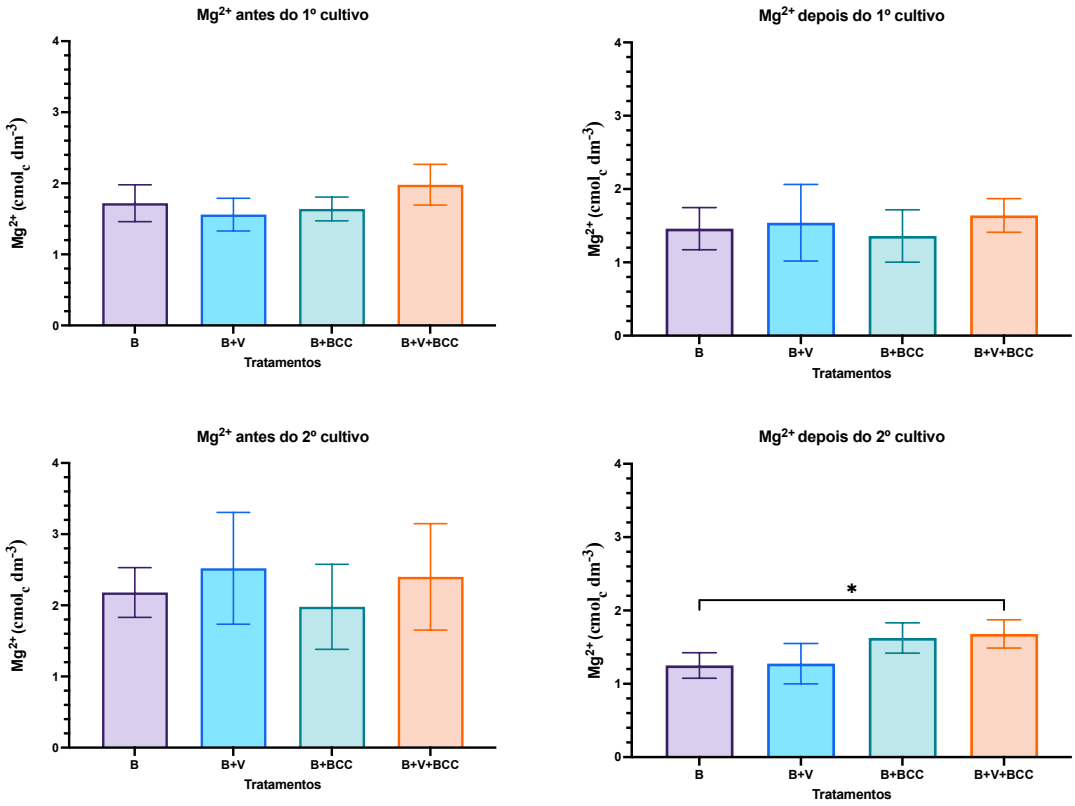


Figura 5.10 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de Mg^{2+} versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005.

Depois 2º do cultivo há uma diferença nos teores de Mg^{2+} entre os tratamentos B e B+V+BCC. Os trabalhos de SÖNMEZ; ÇIĞ (2019) e ALVES TITO et al. (2019)

mostram uma elevação dos teores de Mg^{2+} do solo com a aplicação de vermicomposto, entretanto o vermicomposto produzido neste trabalho e na dose aplicada não acarretaram em diferenças estatísticas antes do 1º e 2º cultivos entre tratamentos com e sem vermicomposto.

Além do aumento pH do solo e de teores de K^+, um dos resultados esperados era elevação dos teores de P iniciais no solo com aplicação do BCC. Entretanto neste estudo não foram detectadas diferenças entre tratamentos (Apêndice B).

Os teores de Na^+ (Apêndice B) são estatisticamente iguais tanto antes do 1º cultivo como antes do 2º cultivo. Provavelmente esse Na^+ tem origem no biofertilizante, já que este condicionador foi aplicado em todos os tratamentos. Apesar do biochar ser conhecido por reter cátions os resultados deste estudo mostram que os tratamentos com BCC não aparentam reter quantidades que poderiam levar a uma salinização do solo, já que em todos os tratamentos os teores de Na^+ não ultrapassaram 1% da CTC pH 7.

Em relação a MOS os tratamentos que apresentam diferenças significativas entre si são B+V e B+BCC na análise antes do 1º cultivo (Figura 5.11), entretanto ao final do 1º cultivo diferenças não há diferenças.

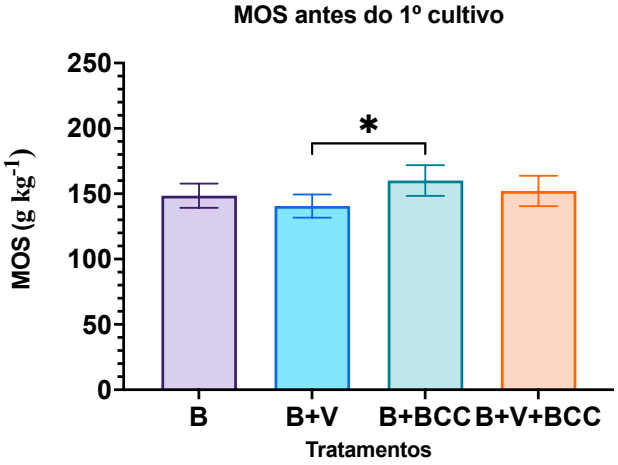


Figura 5.11 - Gráfico de barras com desvio padrão da média de MOS antes do 1º cultivo versus Tratamentos. B – Biofertilizante. B+V – Biofertilizante mais Vermicomposto. B+BCC – Biofertilizante mais Biochar. B+V+BCC – Biofertilizante mais Vermicomposto mais Biochar. Diferenças entre tratamentos detectadas pelo teste *post-hoc* de Tukey, * - p<0,05, ** - p<0,005, *** - p<0,0005.

3.2 O BCC NO CONTEXTO DE TÉCNICAS ORGÂNICAS UTILIZADAS PELO GRUPO BEM VIVER E PERSPECTIVAS.

O BCC em associação com biofertilizante e vermicomposto tem potencial de ser utilizado como uma estratégia útil para a comunidade do Grupo Bem Viver. Entre os benefícios ao solo, no curto prazo, estão a elevação do pH, a elevação dos teores K^+ e redução da acidez potencial do solo, neste último caso implicando em liberação de sítios de cargas negativas para ocupação por cátions trocáveis.

Além de melhoria em atributos químicos do solo, resultados deste trabalho indicam que a utilização do BCC pode auxiliar a comunidade na redução de aplicação continuada de fertilizantes, pois os tratamentos com 1% de BCC tem atributos como potássio e pH ao final do 1º cultivo que suportariam um segundo cultivo, sem necessidade de corrigir estes atributos específicos.

A utilização do biochar de casca de cupuaçu é uma oportunidade para o manejo sustentável do solo sendo uma fonte valiosa que podem ser reaproveitados para a horticultura orgânica, contribuindo para ciclagem de nutrientes e uso eficiente do agroecossistema, e no caso de uso das cascas da agroindústria contribuir com a redução de impactos ambientais e colaborando com a economia circular.

Estas oportunidades são um gatilho para que haja a continuidade deste estudo, como efeitos de longo prazo tais como estudos voltados para o melhoramento do biochar da casca de cupuaçu e sua associação como outras fertilizantes e corretivos de base agroecológica métodos de manejo, efeitos na produção de horticulturas e/ou que foquem no bem-estar da comunidade.

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a aplicação de biochar de casca de cupuaçu (BCC) na dose de 1% promoveu um aumento no pH do solo e do potássio trocável e redução da acidez potencial do solo em relação aos tratamentos sem o biochar. Nesse sentido conclui-se que a utilização do biochar de casca de cupuaçu pode ser uma técnica útil a fim de otimizar estes atributos químicos em campo no curto prazo em associação com com biofertilizante e vermicomposto

5 REFERÊNCIAS

AGUILERA, E.; DÍAZ-GAONA, C.; GARCÍA-LAUREANO, R.; REYES-PALOMO, C.; GUZMÁN, G. I.; ORTOLANI, L.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, M.; RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ, V. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. **Agricultural Systems**, v. 181, n., p. 102809, 2020.

ALVAREZ, J. M.; PASIAN, C.; LAL, R.; LAPEZ, R.; FERNA¡NDEZ, M. Vermicompost and biochar as substitutes of growing media in ornamental-plant production. **Journal of Applied Horticulture**, v. 19, n. 03, p. 205-214, 2017.

ALVES TITO, G.; GARÓFALO CHAVES, L. H.; GUEDES DE SOUZA, F.; RAMOS CAVALCANTE, A.; DANTAS FERNANDES, J.; VASCONCELOS, A. C. F. Efeito do vermicomposto enriquecido com pó de rochas na química do solo e cultura de rabanete. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 4, p. 506-511, 2019.

BORCHARD, N.; SCHIRRMANN, M.; CAYUELA, M. L.; KAMMANN, C.; WRAGE-MONNIG, N.; ESTAVILLO, J. M.; FUERTES-MENDIZABAL, T.; SIGUA, G.; SPOKAS, K.; IPPOLITO, J. A.; NOVAK, J. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N(2)O emissions: A meta-analysis. **Sci Total Environ**, v. 651, n. Pt 2, p. 2354-2364, 2019.

CARVALHO, A. G.; JÚNIOR, I. G. D. S.; COSTA, A. C. S.; PIERANGELI, M. A. P. EFEITO DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR DA CASCA DE CUPUAÇU (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA CULTURA DO ALFACE (LACTUCA SATIVA, L.).**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p., 2023, (Artigo selecionado).

CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S.-C.; RYU, C.; JEON, J.-K.; SHIN, M.-C.; PARK, Y.-K. Production and utilization of biochar: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, n., p. 1-15, 2016.

CLOUGH, T.; CONDRON, L.; KAMMANN, C.; MÜLLER, C. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. **Agronomy**, v. 3, n. 2, p. 275-293, 2013.

DA SILVA PEREIRA, F. Relato de experiência sobre a percepção da influência da agroecologia no bem-estar de horticultores rurais através de projeto sistematizador. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e2710212067–e2710212067, 2021.

DOAN, T. T.; HENRY-DES-TUREAUX, T.; RUMPEL, C.; JANEAU, J. L.; JOUQUET, P. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. **Sci Total Environ**, v. 514, n., p. 147-154, 2015.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, I.; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. e0176884, 2017.

EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K.; ZIMMERMAN, A. R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S. M.; OK, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, v. 337, n., p. 536-554, 2019.

GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of Low-Temperature Pyrolysis Conditions on Biochar for Agricultural Use. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 6, p. 2061-2069, 2008.

GLASER, B.; LEHR, V. I. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. **Sci Rep**, v. 9, n. 1, p. 9338, 2019.

HIGASHIKAWA, F. S.; CONZ, R. F.; COLZATO, M.; CERRI, C. E. P.; ALLEONI, L. R. F. Effects of feedstock type and slow pyrolysis temperature in the production of biochars on the removal of cadmium and nickel from water. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, n., p. 965–972, 2016.

KHAN, Z.; RAHMAN, M. H. U.; HAIDER, G.; AMIR, R.; IKRAM, R. M.; AHMAD, S.; SCHOFIELD, H. K.; RIAZ, B.; IQBAL, R.; FAHAD, S.; DATTA, R.; BAAZEEM, A.; SABAGH, A. E. L.; DANISH, S. Chemical and Biological Enhancement Effects of Biochar on Wheat Growth and Yield under Arid Field Conditions. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 5890, 2021.

KOLAHCHI, Z.; JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. **Journal of Arid Environments**, v. 68, n. 4, p. 624-639, 2007.

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, 2011.

MANOLIKAKI, I.; DIAMADOPOULOS, E. Agronomic potential of biochar prepared from brewery byproducts. **J Environ Manage**, v. 255, n., p. 109856, 2020.

PARIONA-PALOMINO, J.; MATOS-ORMEÑO, W.; HUILLCA-HUANACO, E. Biochar como tecnología de emisión negativa frente al cambio climático. **South Sustainability**, v. 1, n. 2, p. e014–e014, 2020.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.761–768, 2012.

PINHO DE OLIVEIRA, A.; FERREIRA DE OLIVEIRA, E.; JOAQUIM DE PINHO OLIVEIRA, A.; LUCAS FERREIRA GOMES LEMOS, J.; EMANUELE MACHADO CAMARGOS, C.; CARVALHO LOPES, M. Produção de biofertilizante em biodigestor e análise química de nitrogênio e fósforo no produto. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 4, n. 2, p. 10-26, 2022.

SOARES, I. D.; PAIVA, A. V.; MIRANDA, R. O. V.; MARANHO, Á. S. Propriedades Físico-Químicas de Resíduos Agroflorestais Amazônicos para Uso como Substrato. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 155-161, 2014.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. In: (Ed.). **Advances in Agronomy**: Elsevier, 2010. v.105, p.47-82.

SÖNMEZ, F.; ÇIĞ, F. Artan Dozdaki Biyokömür ve Solucan Gübresi Uygulamalarının Buğdayda ve Toprakta Besin Elementi İçeriği Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi**, v., n., p., 2019.

SOUZA, Z. M. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 161-168, 2006.

SUN, H.; ZHANG, Y.; YANG, Y.; CHEN, Y.; JEYAKUMAR, P.; SHAO, Q.; ZHOU, Y.; MA, M.; ZHU, R.; QIAN, Q.; FAN, Y.; XIANG, S.; ZHAI, N.; LI, Y.; ZHAO, Q.; WANG, H. Effect of biofertilizer and wheat straw biochar application on nitrous oxide emission and ammonia volatilization from paddy soil. **Environ Pollut**, v. 275, n., p. 116640, 2021.

VICTORIA, K. S.; GONZALES, K.; GESTIADA, E. C.; AGGANGAN, N. S. Influence of Biochar and Biofertilizer Mixture on Coffea spp. Planted in an Agroforestry Ecosystem. 2023 **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** IOP Publishing, 2023, p. 012008.

ZORNOZA, R.; MORENO-BARRIGA, F.; ACOSTA, J. A.; MUNOZ, M. A.; FAZ, A. Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. **Chemosphere**, v. 144, n., p. 122-130, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho gera como resultados a sociedade o alerta sobre a disposição inadequada da casca de cupuaçu pelas agroindústrias e suas consequências ambientais, ao mesmo tempo que apresenta possíveis soluções já desenvolvidas que variam desde soluções simples até complexas, com vantagens e desvantagens devido a contextos regionais.

Além disso como um dos principais resultados do trabalho apresenta o potencial que é a transformação da casca de cupuaçu em biochar e sua aplicação como condicionador de solos na região de Cacoal-RO. O que se posto em prática além de promover uma agricultura mais sustentável pode reduzir significativamente a quantidade de resíduos gerados pelas agroindústrias de Cacoal.

A exemplo em um suposto rendimento industrial de 40%, para cada tonelada de biochar de casca de cupuaçu produzida seriam necessários aproximadamente 6 Mg de fruto ou 2,5 Mg de cascas. Sendo um valor relevante principalmente para Cacoal onde produção do fruto em 2017 foi de 108 Mg.

Para fortalecimento que esta estratégia seja colocada em prática, este trabalho apresenta mais um resultado a sociedade que é a tecnologia social do forno multipropósito de baixo custo e o método de produção de biochar de casca de cupuaçu para que pequenos agricultores possam usufruir dos benefícios do biochar de casca de cupuaçu, fazendo com que estes não dependam de sua industrialização e promovendo-os como agentes da mudança além de permitir o acesso a tecnologias mais sustentáveis.

A economia circular é outro tema incentivado dentro deste trabalho, pois a transformação da casca de cupuaçu em biochar por meio da tecnologia social cria um ciclo fechado de produção, reduzindo desperdícios e contribuindo para a preservação ambiental. A transformação em biochar traz vantagens ambientais, como a redução de gases de efeito estufa, melhoria da saúde do solo e reciclagem de nutrientes.

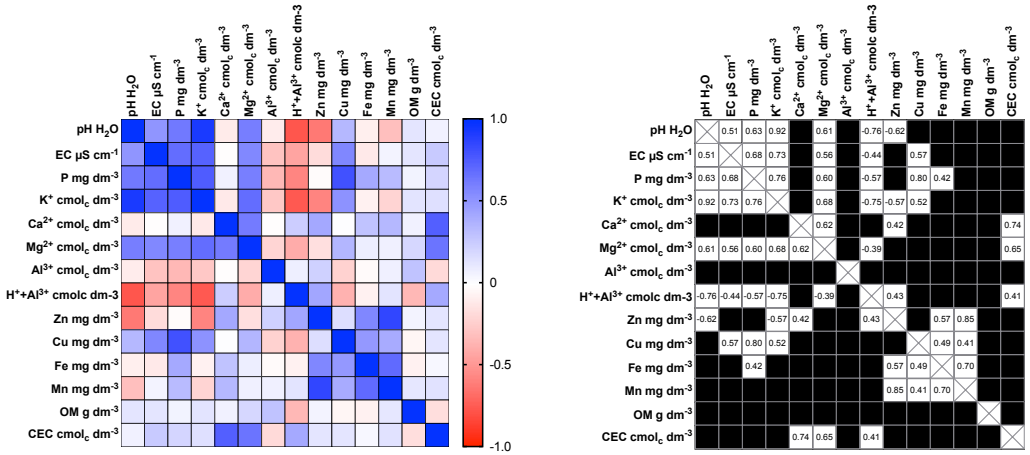
Além destes temas este trabalho está em sintonia com as metas da ODS 2, 12.5, 13 e 15. A ODS 2, fome zero e agricultura sustentável, é atendida com a promoção de uma agricultura mais sustentável por meio da utilização do biochar como condicionador de solos. A ODS 12.5, redução do desperdício de alimentos, é atendida ao propor uma solução para o aproveitamento dos resíduos gerados pelas agroindústrias. A ODS 13, ação climática, é atendida pela redução de gases de efeito

estufa. A ODS 15, vida terrestre, é atendida pela melhoria da saúde do solo e pela reciclagem de nutrientes.

APÊNDICE A

Tabela de teste de correlação do coeficiente de Pearson entre as propriedades do solo e a taxa de aplicação de CSB.

Atributos químicos	r	Valor-p
pH H2O	0.919	< 0,01
CE	0.702	< 0.01
MOS	0.133	0.509
CTC pH 7	0.076	0.707
P	0.731	< 0.01
K^{+}	0.990	< 0.01
Ca^{2+}	-0.201	0.315
Mg^{2+}	0.627	< 0.01
Al^{3+}	-0.279	0.158
H+Al	-0.763	< 0.01
Cu	0.476	0.012
Zn	-0.618	< 0.01
Fe	-0.111	0.580
Mn	-0.241	0.225



(**a**) (**b**)

Figuras mostrando: (a) Heatmap da matriz de correlação de Pearson entre as propriedades químicas do solo; (b) Valores da matriz de correlação de Pearson entre as propriedades do solo, células pretas indicam que não são estatisticamente significativas.

Table Analyzed	Copy of RAW									
PC summary	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Eigenvalue	4.787	2.605	1.309	0.5626	0.3348	0.1991	0.08478	0.08351	0.02414	0.009722
Proportion of variance	47.87%	26.05%	13.09%	5.63%	3.35%	1.99%	0.85%	0.84%	0.24%	0.10%
Cumulative proportion of variance	47.87%	73.92%	87.01%	92.64%	95.99%	97.98%	98.83%	99.66%	99.90%	100.00%
Component selection	Selected	Selected	Selected							
Data summary										
Total number of variables	10									
Total number of components	10									
Component selection method	PCs that together e									
Number of selected components	3									
Rows in table	27									
Rows skipped (missing data)	0									
Rows analyzed (# cases)	27									

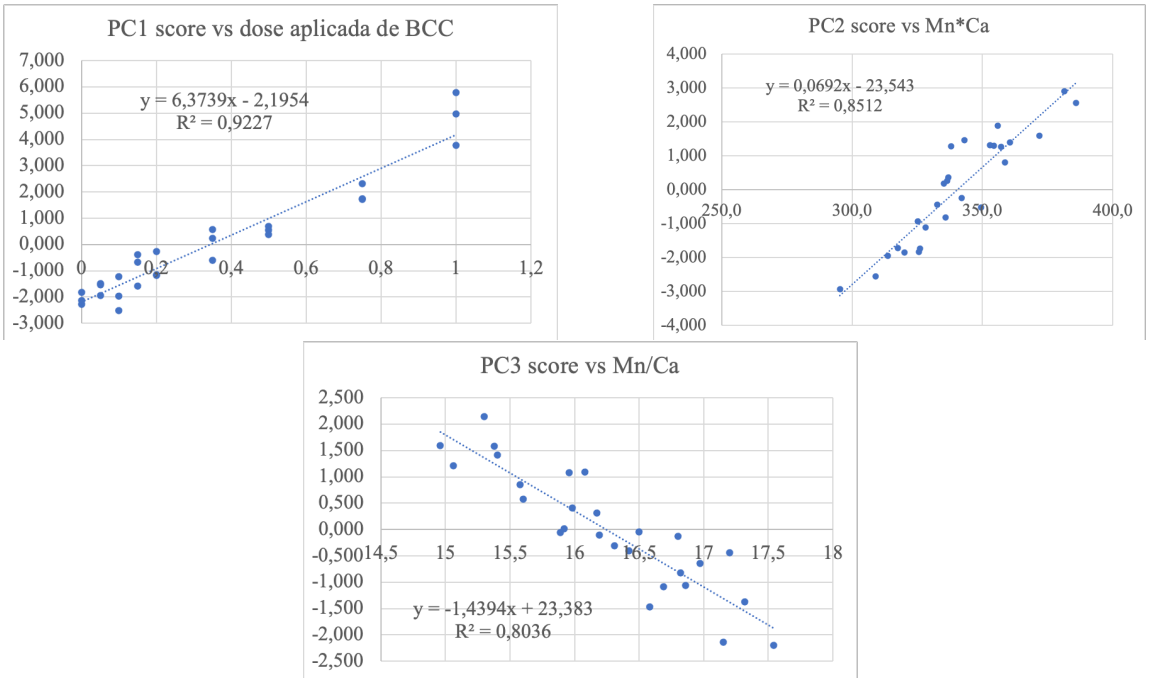
Figura demonstrando o número de componentes selecionados na análise PCA e a porcentagem de explanação das variâncias

87% Explanation							
	PC1	PC2	PC3	Total			
pH H_2O	0,167	0,028	0,010	0,206			
EC	0,124	0,015	0,006	0,145			
P	0,148	0,063	0,031	0,242			
K^+	0,200	0,008	0,001	0,208			
Ca^{2+}	0,000	0,145	0,453	0,599			
Mg^{2+}	0,108	0,038	0,278	0,425			
H^++Al^{3+}	0,127	0,016	0,022	0,165			
Zn	0,043	0,276	0,017	0,335			
Cu	0,081	0,098	0,135	0,314			
Mn	0,002	0,314	0,047	0,362			
95% Explanation							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	Total	(Total 3 components) / (Total 5 components) *100
pH H_2O	0,167	0,028	0,010	0,070	0,016	0,292	70,47
EC	0,124	0,015	0,006	0,440	0,326	0,911	15,87
P	0,148	0,063	0,031	0,001	0,047	0,290	83,47
K^+	0,200	0,008	0,001	0,001	0,000	0,210	99,21
Ca^{2+}	0,000	0,145	0,453	0,004	0,011	0,614	97,51
Mg^{2+}	0,108	0,038	0,278	0,000	0,001	0,426	99,77
H^++Al^{3+}	0,127	0,016	0,022	0,371	0,172	0,707	23,28
Zn	0,043	0,276	0,017	0,015	0,042	0,392	85,43
Cu	0,081	0,098	0,135	0,024	0,336	0,674	46,60
Mn	0,002	0,314	0,047	0,073	0,049	0,484	74,85

Figura demonstrando de que PC1, PC2 e PC3 não irão explicar bem as variâncias de EC, H+Al e Cu

Quadro mostrando o quanto cada componente consegue explicar de variâncias no atributo químico

Atributo Químico	PC1 Variance Explanation %	PC2 Variance Explanation %	PC3 Variance Explanation %
pH H_2O	81,24	13,81	4,96
EC	85,51	10,08	4,41
P	61,11	26,15	12,73
K^+	95,99	3,71	0,29
Ca^{2+}	0,04	24,27	75,69
Mg^{2+}	25,52	8,90	65,58
H+Al	77,28	9,61	13,11
Zn	12,76	82,20	5,04
Cu	25,77	31,21	43,02
Mn	0,55	86,52	12,93



Figuras demonstrando a relação entre as componentes PC1, PC2 e PC3 com doses aplicadas de BCC, Mn*Ca e Mn/Ca respectivamente

APÊNDICE B

Atributos químicos do solo antes e após o 1º e 2º cultivo. B-Biofertilizante, V-Vermicomposto e BCC-Biochar de casca de cupuaçu

Atributo Químico	Período do Cultivo	Estatística	1º Cultivo				2º Cultivo			
			B	B+V	B+BCC	B+V+BCC	B	B+V	B+BCC	B+V+BCC
pH H_2O	Antes	Média	6,15	5,99	6,51	6,40	6,08	6,02	6,13	6,14
		DP	0,09	0,08	0,20	0,23	0,19	0,10	0,22	0,11
		CV%	1,41%	1,30%	3,12%	3,57%	3,14%	1,69%	3,54%	1,78%
	Depois	Média	6,05	5,94	6,61	6,44	6,02	6,04	6,28	6,09
		DP	0,13	0,07	0,10	0,11	0,11	0,09	0,25	0,13
		CV%	2,13%	1,23%	1,49%	1,76%	1,83%	1,52%	4,01%	2,08%
P mg dm^{-3}	Antes	Média	19,7	21,5	28,56	27,62	44,66	45,04	42,4	52,86
		DP	10,1	11,2	13,9	15,1	17,4	19,6	19,6	13,1
		CV%	51,27%	52,00%	48,53%	54,56%	38,96%	43,49%	46,30%	24,80%
	Depois	Média	18,5	17,7	22,3	22,6	36,0	42,9	43,1	44,9
		DP	12,2	10,8	11,3	13,9	7,2	14,6	11,4	8,8
		CV%	66,09%	61,14%	50,54%	61,36%	20,06%	34,04%	26,54%	19,64%
K^+ $cmol_c$ dm^{-3}	Antes	Média	0,40	0,36	0,80	0,74	0,44	0,42	0,56	0,54
		DP	0,07	0,09	0,07	0,05	0,11	0,08	0,11	0,11
		CV%	17,68%	24,84%	8,84%	7,40%	25,91%	19,92%	20,36%	21,11%
	Depois	Média	0,20	0,20	0,64	0,66	0,14	0,12	0,16	0,14
		DP	0,12	0,07	0,09	0,09	0,05	0,04	0,05	0,05
		CV%	61,25%	35,36%	13,98%	13,55%	39,12%	37,27%	34,23%	39,12%
Na^+ $cmol_c$ dm^{-3}	Antes	Média	0,08	0,08	0,14	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10
		DP	0,04	0,04	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV%	55,90%	55,90%	39,12%	39,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Depois	Média	0,02	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00
		DP	0,04	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00
		CV%	223,60%	-	91,28%	55,90%	-	-	223,60%	-
Mg^{2+} $cmol_c$ dm^{-3}	Antes	Média	1,72	1,56	1,64	1,98	2,18	2,52	1,98	2,40
		DP	0,26	0,23	0,17	0,29	0,35	0,79	0,60	0,75
		CV%	15,05%	14,76%	10,20%	14,46%	16,02%	31,17%	30,18%	31,18%
	Depois	Média	1,46	1,54	1,36	1,64	1,25	1,28	1,63	1,68
		DP	0,29	0,52	0,36	0,23	0,17	0,28	0,21	0,19
		CV%	19,73%	33,93%	26,31%	14,04%	13,86%	21,60%	12,69%	11,45%
Ca^{2+} $cmol_c$ dm^{-3}	Antes	Média	4,88	4,70	4,24	4,24	5,90	5,92	5,86	6,08
		DP	0,89	0,40	1,02	0,82	1,06	0,59	0,91	0,59
		CV%	18,29%	8,51%	24,08%	19,35%	17,90%	10,02%	15,48%	9,69%
	Depois	Média	5,54	4,60	4,56	4,44	4,23	4,03	4,25	4,04
		DP	0,97	0,45	1,56	0,73	0,45	0,50	0,87	0,50
		CV%	17,44%	9,84%	34,23%	16,44%	10,65%	12,40%	20,56%	12,45%

H+Al $cmol_c dm^{-3}$	Antes	Média	5,65	5,55	4,29	4,39	5,12	5,58	5,05	4,42
		DP	0,32	0,53	0,52	1,20	1,01	1,09	1,32	0,49
		CV%	5,65%	9,54%	12,16 %	27,39%	19,77 %	19,53 %	26,17%	11,04%
	Depois	Média	5,87	5,74	4,06	4,23	5,84	5,58	4,59	4,99
		DP	0,36	0,49	0,43	0,42	0,32	0,71	0,79	0,77
		CV%	6,15%	8,45%	10,59 %	9,83%	5,48%	12,78 %	17,31%	15,41%
CTC a pH 7 $cmol_c dm^{-3}$	Antes	Média	12,73	12,25	11,11	11,49	13,77	14,57	13,58	13,57
		DP	0,87	0,39	0,70	1,36	1,40	0,52	0,86	0,92
		CV%	6,84%	3,21%	6,32%	11,83%	10,16 %	3,60%	6,30%	6,79%
	Depois	Média	13,09	12,08	10,68	11,05	11,56	11,04	10,36	10,88
		DP	0,97	0,50	1,70	1,20	0,34	0,37	0,95	0,76
		CV%	7,41%	4,16%	15,92 %	10,89%	2,95%	3,35%	9,18%	6,95%