



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO SOLO**

**JHONATAN RAFAEL ZÁRATE SALAZAR**

**USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus*  
(Jacq.) NA RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO  
DEGRADADO**

**AREIA  
2022**

**JHONATAN RAFAEL ZÁRATE SALAZAR**

**USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) NA RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO DEGRADADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na Área de Concentração de Ciclos Biogeoquímicos em Ecossistemas agrícolas e naturais.

**Orientador:** Dr. Bruno de Oliveira Dias.

**Coorientadora:** Dra. Vânia da Silva Fraga.

**AREIA**  
**2022**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

Z36u Zárte-Salazar, Jhonatan Rafael.  
    Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos de  
    Pleurotus ostreatus (Jacq.) na recuperação da  
    fertilidade de um Luvisolo degradado / Jhonatan Rafael  
    Zárte Salazar. - Areia: s.n, 2022.  
    119 f. : il.

    Orientação: Bruno de Oliveira Dias.  
    Coorientação: Vânia da Silva Fraga.  
    Tese (Doutorado) - UFPB/CCA - Campus II.

    1. Ciência do solo. 2. Resíduo agrônomo. 3.  
    Condicionador químico do solo. 4. Economia circular. I.  
    Dias, Bruno de Oliveira. II. Fraga, Vânia da Silva.  
    III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

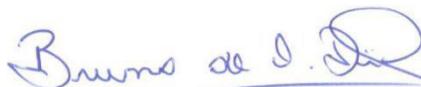
**JHONATAN RAFAEL ZÁRATE SALAZAR**

**USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) NA RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO DEGRADADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na Área de Concentração de Ciclos Biogeoquímicos em Ecossistemas agrícolas e naturais.

Aprovada em: 27/09/2022

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias (Orientador)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



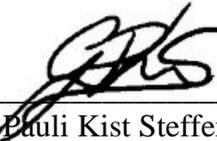
---

Prof. Dr. Milton César Costa Campos  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Meire Cristina Nogueira de Andrade  
Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP)



---

Dr.<sup>a</sup> Gerusa Pauli Kist Steffen  
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR)

Documento assinado digitalmente



EUZELINA DOS SANTOS BORGES INACIO W

Data: 01/12/2022 08:49:34-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr.<sup>a</sup> Euzelina dos Santos Borges Inácio  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

À minha filha amada,  
Valentina Sofia Zárate dos Santos.  
Ao Joseph Douglas Zárate Salazar,  
por ser um irmão exemplar.  
**DEDICO**

## Quando eu não estiver mais aqui

(Adaptado e traduzido de “*Cuando sea espacio*”  
de Alejandro Sanchez Pizarro)

A fronteira é a sua imaginação...  
e no momento apenas sou um *homem*.

Nem peruano, nem brasileiro, nem latino, nem sul-americano,  
apenas sou uma pessoa que sonha com um mundo mais justo.

E embora eu nunca consiga vê-lo,  
quando eu me torne *espírito* serei um só com o *espaço*.

E se eu sentisse que o *infinito* me angustia,  
observarei atentamente aqueles *buracos negros*,  
onde dizem que até a luz desaparece.

O meu *ontem*, a minha *verdade* e os meus *princípios*  
vêm e vão e, às vezes, demoram muito em retornar.

Mas quando eles retornam, chegam cheios de simples verdades,  
com regras muito fáceis para quem soubesse fazê-las.

O meu *talvez* e os meus *princípios*  
vêm e vão, retornando lentamente,  
mas quando eu me torne *espírito* serei um só com o *espaço*.

E se sinto que o infinito fica me agoniando,  
eu te procurarei ou *talvez* você me procure.

Assim, juntos olharemos os buracos negros  
onde a luz desaparece.

Quando eu *morrer*...me misturarei com o *espaço*,  
não terei que me deter na sua *fronteira* e  
ninguém *nunca* mais poderá me danificar...

Quando eu não estiver mais aqui,  
serei um só com o *espaço sideral*.

## AGRADECIMENTOS

A Deus criador da vida, da natureza inorgânica e dos limites da ciência onde encontrei a minha vocação profissional.

À Valentina Sofia Zárate dos Santos por ser a minha motivação de vida.

À Vanessa Cristiane dos Santos pelo seu apoio incondicional durante todo este processo.

Ao Prof. Bruno de Oliveira Dias pela confiança depositada em mim no desenvolvimento da tese e na qualificação de discentes da UFPB no cultivo de cogumelos.

À Prof. Vânia da Silva Fraga por estar presente nos momentos que, muitas vezes, sim ela saber, foi muito importante para continuar aqui, sou grato por toda a sua confiança e amizade.

Aos meus pais, irmãos e amigos desde Lima, Peru, pelo seu carinho e apoio.

Ao Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC), grupo pioneiro da UFPB e do nordeste brasileiro, grupo que nasceu com a proposta desta pesquisa e que me permitiu trazer e transmitir o conhecimento a diversas pessoas do Brasil e Ibero-América.

Ao Robson Monteiro por aceitar o desafio de fundar e constituir o GPEC comigo, sou grato pela sua amizade e colaboração incondicional nas pesquisas durante todo este tempo.

À Ruanna Souza, valeu pela parceria e colaboração, amiga praticamente conduzimos um experimento completo no período mais intenso da pandemia. Dupla corajosa!

À Sabrina Alves por estar sempre prestes a apoiar nas atividades das pesquisas. Continue assim amiga, a ciência precisa-te!

Ao Joselito Nascimento, um amigo de todas as horas, sempre me estendeu a mão quando precisei. Bora cuidarr!

À Háimyk Nóbrega pela sua proatividade e amizade em todo este tempo que trabalhamos juntos, desejo-lhe sucesso na sua vida profissional.

À Vanessa Araújo, Rossana Lucena, Nayara Costa e Matheus Cardoso entre outros colegas que conheci durante o doutorado, sou grato pela sua amizade e confiança.

Ao Flavio Cruz, Helton Silva e Juraci Suassuna, funcionários da UFPB pelo constate apoio.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Meire Andrade, Dra. Gerusa Steffen, Dr. Milton Campos e Dra. Euzelina Inácio por me prestigiar com a sua participação na banca examinadora.

Ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, Laboratório de Microbiologia do Solo, Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, Laboratórios de Análise de Alimentos, Nutrição Animal e Laboratório de Química Orgânica por abrir as suas portas quando precisei.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba pelo apoio institucional e ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e à FAPESQPB pelo financiamento do projeto de pesquisa através do Edital Universal N° 09/2021.

# USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) NA RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO DEGRADADO

## RESUMO GERAL

Os resíduos agronômicos oriundos das culturas mais importantes do Estado da Paraíba, como cana-de-açúcar, abacaxi, coco-da-baía e banana muitas vezes são incorporados ao solo como prática cultural, mas em algumas situações são descartados no campo sem critérios técnicos definidos e, inclusive, eventualmente são queimados contribuindo com a emissão de gases de efeito estufa que contaminam o meio ambiente. No entanto, estes materiais vegetais *in natura* podem ser aproveitados como substratos para a produção de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) por ser um sistema produtivo capaz de biodegradar resíduos agronômicos secos com altos teores de lignina, hemicelulose e celulose utilizando-os metabolicamente para a produção de basidiocarpos altamente nutritivos e, além disso retornar ao meio ambiente um material orgânico biodegradado conhecido como substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) que quando incorporados ao solo favorecem a atividade microbiana e podem atuar como condicionadores de solo melhorando os atributos físicos e químicos de solos degradados como os ocorrentes no semiárido da Paraíba, a exemplo de alguns Luvissolos Crômicos. Nesse contexto, o objetivo da presente tese de doutorado, em primeira instância, foi realizar a transferência de tecnologia do sistema de produção de *P. ostreatus* para o estado da Paraíba reciclando os seus principais resíduos agronômicos para obter o SMS e, assim verificar a sua aplicação na recuperação de solos degradados do Cariri paraibano por meio da sua incorporação em Luvissolo Crômico. As pesquisas foram divididas em 3 etapas, as quais serão apresentadas na forma de capítulos: 1. Revisão bibliográfica geral das bases teóricas e científicas em relação à aplicação do SMS no solo e os seus fundamentos em relação à economia circular; 2. Avaliação do enriquecimento mineral dos resíduos agronômicos *in natura* por meio da fermentação em estado sólido para a produção de cogumelos e obtenção do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS); e 3. Identificação dos efeitos da aplicação do SMS em diferentes doses sob o condicionamento químico da fertilidade de Luvissolo Crômico. Dos resultados observados, concluímos que existe enriquecimento dos resíduos agronômicos *in natura* por meio do cultivo de cogumelos e que a aplicação dos seus substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) apresenta um efeito positivo no condicionamento químico do solo de modo que nos permite sugerir uma nova valoração do que classificamos como resíduos agronômicos e propor que seja considerado como um novo recurso para o cultivo de cogumelos que, além de fornecer um alimento nutritivo e favorecer a agricultura familiar, pode contribuir com a gestão de resíduos lignocelulósicos disponíveis na região, retornando ao meio ambiente como um material orgânico mais lábil, rico em nutrientes e com potencial agrícola inserido em um sistema integrado com enfoque na economia circular (resíduos zero).

**Palavras-chave:** resíduo agronômico; condicionador químico do solo; economia circular.

# USE OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE OF *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) IN THE FERTILITY RESTORATION OF A DEGRADED LUVISOL

## GENERAL ABSTRACT

Agronomic wastes from the most important crops in Paraíba, Brazilian State, such as sugarcane, pineapple, coconut, and banana are often incorporated into the soil as a cultural practice, but in some situations, they are discarded in the field without defined technical criteria and, even they are eventually burned contributing to the emission of greenhouse gases that contaminate the environment. However, these *in natura* plant materials can be used as substrates to produce edible mushrooms of the species *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) because it is a productive system capable of biodegrading dry agronomic wastes with high contents of lignin, hemicellulose and cellulose using them. metabolically to produce highly nutritious basidiocarps and, in addition, to return to the environment a biodegraded organic material known as spent mushroom substrate (SMS) that when incorporated into the soil favor microbial activity and can act as soil conditioners improving the attributes physical and chemical properties of degraded soils such as those occurring in the semi-arid region of Paraíba, such as some Luvisol. In this context, the objective of this doctoral thesis, in the first instance, was to carry out the transfer of technology from the *P. ostreatus* production system to the state of Paraíba, recycling its main agronomic wastes to obtain the SMS and, thus, verify its application in the recovery of degraded soils in the Cariri region of Paraíba through its incorporation in Luvisol. The research was divided into 3 stages, which will be presented in the form of chapters: 1. General bibliographic review of the theoretical and scientific bases in relation to the application of SMS in the soil and its foundations in relation to the circular economy; 2. Evaluation of mineral enrichment of *in natura* agronomic wastes through solid-state fermentation for mushroom production and obtaining of spent mushroom substrate (SMS); and 3. Identification of the effects of SMS application at different doses under the chemical conditioning of Luvisol fertility. From the observed results, we conclude that there is an enrichment of agronomic residues *in natura* through the mushroom cultivation and that the application of their spent mushroom substrate (SMS) has a positive effect on the chemical conditioning of the soil in a way that allows us to suggest a new valuation of what we classify as agronomic wastes and to propose that it be considered as a new resource for the cultivation of mushrooms that, in addition to providing nutritious food and favoring family farming, can contribute to the management of lignocellulosic wastes available in the region, returning as a more labile organic material, rich in nutrients and with agricultural potential inserted in an integrated system with a focus on the circular economy (zero waste).

**Keywords:** agronomic wastes; chemical soil amendment; circular economy.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representação gráfica das hipóteses da pesquisa de doutorado..	18
<b>Figura 2:</b> Processos, fatores e causas da degradação do solo.....	25
<b>Figura 3:</b> Agentes políticos e socioeconômicos que contribuem para a degradação do solo..	26
<b>Figura 4:</b> Ciclo produtivo de cogumelos da espécie <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.).....	28
<b>Figura 5:</b> Esquema produtivo de cogumelos e SMS da espécie <i>P. ostreatus</i> .....	29
<b>Figura 6:</b> Número de artigos publicados relacionados ao estudo do substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS).....	31
<b>Figura 7:</b> Percentagem de ocorrências das sete áreas de pesquisas relacionadas ao estudo do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS).....	32
<b>Figura 8:</b> Percentagem de ocorrências das subáreas de pesquisa nas principais áreas relacionados ao estudo de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS).....	33
<b>Figura 9:</b> Principais objetivos imediatos e resultados da aplicação dos sistemas integrados agrícolas.....	35
<b>Figura 10:</b> Interação dos 10 elementos da agroecologia e a aplicação do substrato pós-cultivo de cogumelos.....	36
<b>Figura 11:</b> Visão holística da reciclagem e aplicação tecnológica dos substratos pós-cultivo de cogumelos.....	37
<b>Figura 12:</b> Reciclagem dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) inserido na economia circular.....	39
<b>Figura 13:</b> Cultivo de cogumelos de <i>P. ostreatus</i> em brotos de abacaxi.....	56
<b>Figura 14:</b> Substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) depois de 45 dias de fermentação em estado sólido.....	57
<b>Figura 15:</b> Distribuição normal dos resíduos experimentais dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B) quantificados nos substratos lignocelulósicos.....	61
<b>Figura 16:</b> Análise fatorial para componentes principais das características química dos substratos <i>in natura</i> (antes do cultivo) e o substrato pós-cultivo de cogumelos após 45 dias de fermentação em estado sólido.....	63
<b>Figura 17:</b> Esquema de biodegradação de lignina, incluindo reações enzimáticas e ativação do oxigênio.....	72
<b>Figura 18:</b> Mapa do Estado da Paraíba.....	89
<b>Figura 19:</b> Ensaio respirométrico.....	92
<b>Figura 20:</b> Luvissole Crômico incubado em vaso após incorporação de um substrato pós-cultivo de cogumelo durante o período de incubação em casa de vegetação.....	93
<b>Figura 21:</b> Mineralização e imobilização de nutrientes em função da qualidade do substrato em condições aeróbias e sua relação com a disponibilidade de nutrientes no solo.....	109

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Produção de resíduos agronômicos no Brasil, nos continentes e no mundo. ....	21
<b>Tabela 2</b> – Ocorrência da ordem de Luvisolos Crômicos na Paraíba, no Nordeste e no Brasil. .....	22
<b>Tabela 3</b> – Características biológicas da cepa PO/A02 de <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) .....	54
<b>Tabela 4</b> – Massa seca do substrato, massa fresca dos cogumelos e eficiência biológica de <i>P. ostreatus</i> durante 45 dias por fermentação em estado sólido. ....	55
<b>Tabela 5</b> – Caracterização química descritiva dos resíduos agronômicos <i>in natura</i> e substratos pós-cultivo de cogumelos de <i>P. ostreatus</i> . ....	59
<b>Tabela 6</b> – Correlação de Pearson da composição química e física dos resíduos agronômicos <i>in natura</i> e substratos pós-cultivo de cogumelos. ....	65
<b>Tabela 7</b> – Variação percentual ( $\Delta$ ) da composição química e física dos resíduos agronômicos <i>in natura</i> e substratos pós-cultivo de cogumelos. ....	67
<b>Tabela 8</b> – Análise química do Luvisolo Crômico. ....	90
<b>Tabela 9</b> – Características químicas dos substratos pós-cultivo de cogumelos de <i>P. ostreatus</i> . .....	91
<b>Tabela 10</b> – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos pós-cultivo de cogumelos incorporados em Luvisolo.....	93
<b>Tabela 11</b> – Análise química do Luvisolo Crômico sem incorporação do SMS (dose zero) incubado durante 120 dias. ....	95
<b>Tabela 12</b> – Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica após 120 dias de incubação no solo. ....	97
<b>Tabela 13</b> – Carbono total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível e bases trocáveis após 120 dias de incubação no solo.....	99
<b>Tabela 14</b> – Soma de bases, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial, porcentagem de saturação de bases, porcentagem de sódio total e razão de adsorção de sódio após 120 dias de incubação no solo.....	102
<b>Tabela 15</b> – Coeficientes das regressões lineares significativas <sup>1</sup> dos parâmetros da fertilidade do solo. ....	104

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Área colhida, quantidade produzida e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes mais representativas do Estado da Paraíba no 2020. ....	19
<b>Quadro 2</b> – Percentual de atributos físicos dos Luvisolos Crômicos no Cariri paraibano. ...	24
<b>Quadro 3</b> – Principais reações metabólicas da degradação de compostos orgânicos pela atividade microbiana fúngica. ....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

\$	Dólar dos Estados Unidos de América
%	Porcentagem
*	Significativo
×	Interação
®	Marca registrada
<i>a</i>	Coefficiente de intercepção de uma regressão linear
Al + H	Acidez potencial do solo
<i>b</i>	Coefficiente de regressão de uma regressão linear
C/N	Relação carbono e nitrogênio do substrato lignocelulósico
Ca <sup>+2</sup>	Cálcio trocável do solo
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
CE	Condutividade elétrica
Cel	Teor de celulose do substrato lignocelulósico
cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Centimol de carga por quilograma de solo
CO	Carbono orgânico do substrato lignocelulósico
°C	Graus centígrados
COT	Carbono orgânico total do solo
CTC <sub>pH 7,0</sub>	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
Cz	Cinzas
dag kg <sup>-1</sup>	Decagramas por quilograma de solo
FDA	Fibra detergente ácida (Teor de Celulose + Teor de Lignina)
FDN	Fibra detergente neutra (Teor de Celulose + Teor de Hemicelulose + Teor de Lignina)
H <sub>2</sub> O	Água destilada
Hem	Teor de hemicelulose do substrato lignocelulósico
K	Teor de potássio do substrato lignocelulósico
K <sup>+</sup>	Potássio trocável do solo
KCl	Cloreto de potássio
kg	Quilograma ou mil gramas
Lig	Teor de lignina do substrato lignocelulósico
M	Molar

mg kg <sup>-1</sup>	Miligramas por quilograma de solo
Mg	Megagrama ou mil quilogramas
Mg <sup>+2</sup>	Magnésio trocável do solo
mM	Milimolar
MO	Matéria orgânica do substrato lignocelulósico
MOS	Matéria orgânica do solo
MS	Matéria seca do substrato lignocelulósico
N	Nitrogênio orgânico do substrato lignocelulósico
<i>n</i>	Número de repetições ou amostras ou unidades experimentais
n.s.	Não significativo
Na	Teor de sódio do substrato lignocelulósico
Na <sup>+</sup>	Sódio trocável do solo
P	Fósforo disponível do solo ou teor de fósforo do substrato lignocelulósico
pH	Potencial hidrogeniônico
PST	Porcentagem de sódio total
R\$	Real brasileiro
<i>r</i> <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação de uma regressão linear
RAS	Razão de adsorção de sódio
SB	Soma de bases trocáveis
SD	Desvio padrão
SE	Erro padrão
SMS	Substrato pós-cultivo de cogumelos
T	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
TFSA	Terra fina seca ao ar
Um	Umidade higroscópica do substrato lignocelulósico
UR	Umidade relativa do ambiente (%)
V	Saturação por bases (%)
Δ	Variação percentual (%)
ΔpH	Delta pH, equilíbrio de cargas do solo
ρ	Densidade do substrato lignocelulósico

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>16</b>
<b>2. HIPÓTESES</b> .....	<b>18</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
3.1 ATIVIDADE AGRÍCOLA DA PARAÍBA .....	19
3.2 RESÍDUOS AGRONÔMICOS <i>IN NATURA</i> .....	20
3.3 LUVISSOLO CRÔMICO DO CARIRI PARAIBANO.....	22
3.4 DEGRADAÇÃO DO SOLO .....	24
3.5 CULTIVO DE <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) .....	27
3.6 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS .....	29
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>49</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>50</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>51</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
2.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	53
2.2 MATERIAL BIOLÓGICO.....	53
2.3 PREPARAÇÃO DE SPAWN .....	54
2.4 PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS AGRONÔMICOS .....	54
2.5 CULTIVO DE COGUMELOS DE <i>P. ostreatus</i> .....	55
2.6 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS .....	56
2.7 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS .....	57
2.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	58
2.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	58
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>58</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>69</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>

<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>83</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>84</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>85</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>86</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>89</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	89
2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO LUVISSOLO CRÔMICO .....	89
2.3 PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS .....	90
2.4 DOSAGEM DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS .....	92
2.5 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO .....	93
2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	94
2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	94
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>95</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>106</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>112</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>118</b>

## CAPÍTULO I

---

### INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Paraíba é um dos estados brasileiros que se destaca pela produção de cultivos como abacaxi, banana, cana-de-açúcar e coco-da-baía (IBGE, 2020), cujos resíduos agronômicos, eventualmente, são incorporados ao solo para a ciclagem de nutrientes ou mantidos como cobertura do solo aproveitados na proteção contra a erosão do solo. No entanto, com uma gestão muito mais sustentável e diversificada podem também mitigar as práticas de queima ou descarte inadequado no próprio terreno de cultivo, os quais podem se tornar em fontes de emissão de gases de efeito estufa (CARMO et al., 2012), proliferação de pragas (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013) e provocar a indisponibilidade de nutrientes para as plantas (FERREIRA et al., 2016). Isto considerando que o aumento de resíduos vegetais possui uma relação direta com a extensão de áreas de práticas agrícolas intensivas as quais são em parte responsáveis pelo aumento da degradação do solo (FAO, 2015).

Baseado nos dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO/STAT), Cherubin et al. (2018) reportaram que, em apenas uma década, a produção de resíduos secos provenientes da agricultura aumentaram em 50% no mundo e em 66% no Brasil, onde resíduos vegetais brasileiros representaram, 29% e 8%, da produção da América Latina e do mundo, respectivamente. Cenário este que torna necessária a aplicação de tecnologias que favoreçam a gestão de resíduos para a geração de energia ou reaproveitamento em atividades produtivas (GRIMM; WÖSTEN, 2018; PÉREZ-CHÁVEZ et al., 2019).

Uma alternativa viável de aproveitamento dos resíduos agronômicos seria o cultivo de cogumelos comestíveis, que como sistema de bioconversão ecológica (ALBERTÓ, 2008) transforma resíduos lignocelulósicos em alimentos altamente nutritivos (RAMAN et al., 2020), que, ao mesmo tempo, permitem a geração de renda na agricultura familiar em regiões vulneráveis nos países em desenvolvimento (ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020) e retornam ao meio ambiente substratos orgânicos biodegradados de mais fácil decomposição dentro do solo (PEREGRINA et al., 2012; HANAFI et al., 2018).

A espécie *Pleurotus ostreatus* (Jacq.), conhecida como ‘Shimeji-preto’, é um fungo que produz cogumelos comestíveis que ocupa o segundo lugar na produção mundial depois da espécie *Lentinula edodes*, conhecida como ‘Shiitake’ (SANCHEZ; ROYSE, 2017), é especialista na biodegradação de compostos lignocelulósicos com relação C/N entre 30 e 300 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e reduz até em 80% os teores de lignina dos substratos vegetais

(MATA et al., 2017). Além disso, apresenta uma tecnologia *ecofriendly* e 50% mais barata, comparada a outras espécies (ALBERTÓ, 2008).

O cultivo de *P. ostreatus*, como supracitado acima, possibilita o retorno ao meio ambiente de substratos orgânicos biodegradados mais lábeis como resultado da ação enzimática fúngica, que facilita a sua decomposição microbiana dentro do solo (LUO et al., 2018; ZHANG et al., 2016). Este biomaterial é conhecido como substrato pós-cultivo de cogumelos ou SMS, do inglês *Spent Mushroom Substrate* (RINKER, 2017). Segundo Grimm e Wösten (2018), o aproveitamento do SMS ao final do cultivo de cogumelos, inserido em um sistema de economia circular (*zero waste*), torna fatível a produção local mais eficiente, sustentável e rentável para a agricultura familiar.

Existe evidência científica que apoiam o uso do SMS como adubo orgânico do solo (OWAID et al., 2017), substrato para cultivo de outros cogumelos (NOONSONG et al., 2016; VIRIATO et al., 2021; SIQUEIRA et al., 2016; FAVARA et al., 2014), compostagem (CARRASCO et al., 2018), minhocultura (IZYAN et al., 2009), biogás (PÉREZ-CHÁVEZ et al., 2019), ração para animais (FAZAELI et al., 2014), recuperação de enzimas hidrolíticas (CORRÊA et al., 2016), micofiltração (MNKANDLA et al., 2021), produção de biocombustíveis (FANG et al., 2017), biossorvente de fungicidas, pesticidas e metais pesados (ÁLVAREZ-MARTÍN et al., 2017; HERRERO-HERNÁNDEZ et al., 2011) e condicionador químico de solos degradados, reduzindo a compactação e aumentando os teores de carbono do solo (GÜMÜŞ; ŞEKER, 2017).

Considerando que o estado da Paraíba possui mais da metade da sua área territorial inserida no contexto do Semiárido brasileiro (SILVA et al., 2017; MEDEIROS et al., 2012) e que historicamente pratica um modelo agrícola de produção baseado no extrativismo e na degradação do solo (COSTA; BUENO, 2004; SIQUEIRA-FILHO, 2012) que afetam os solos mais frequentes do território paraibano como Neossolos (47,91%) e Luvissolos (17,20%) (MEDEIROS, 2018; SARAIVA, 2016), geralmente solos pouco profundos, com forte impedimento à mecanização (FRANCISCO, 2010) e associados à desigualdade social e econômica que não estimula os pequenos agricultores (CANDIDO, 2014).

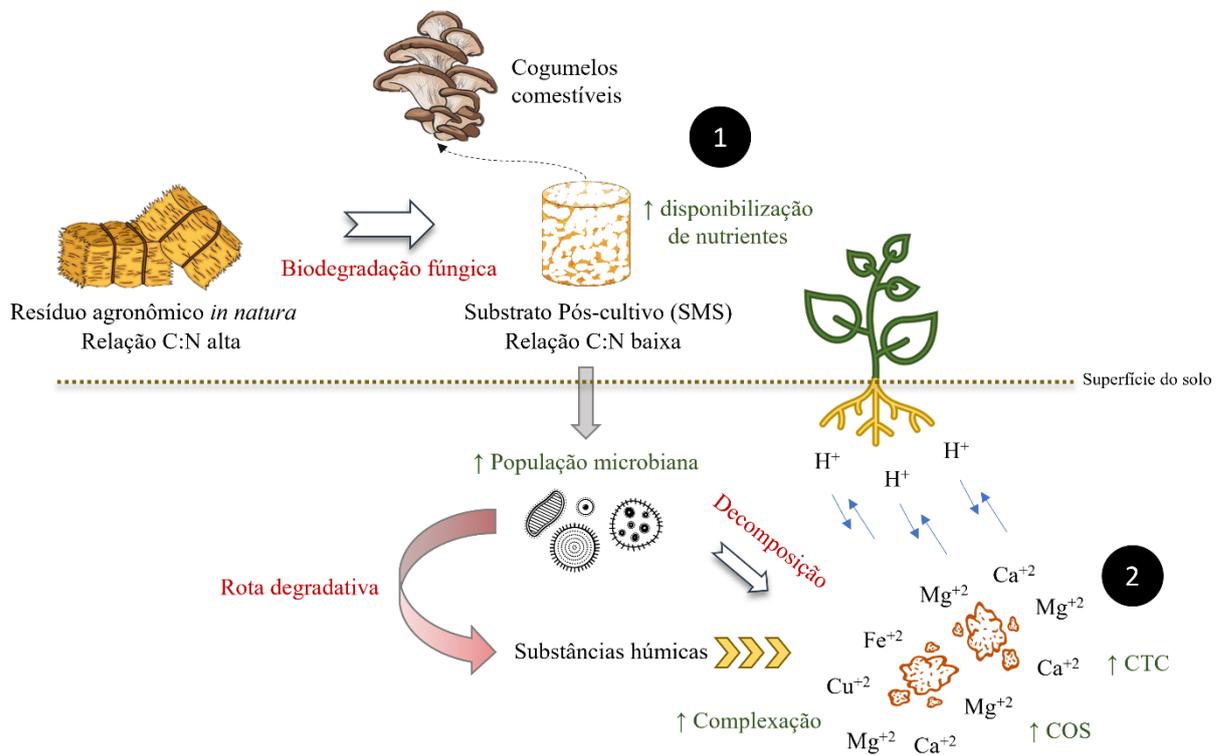
Este trabalho de pesquisa, baseado no 9º princípio da carta mundial do solo (FAO, 2015), propõe a aplicação tecnológica no uso de resíduos agronômicos biodegradados por fungos comestíveis como condicionador químico, potencial fornecedor de nutrientes; e biológico, no aumento da atividade microbiana do solo.

## 2. HIPÓTESES

Hipótese 1: Os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) em relação aos resíduos agronômicos *in natura* apresentam maiores teores de nutrientes e menor relação C/N procedente da biodegradação enzimática fúngica de compostos recalcitrantes durante a fermentação em estado sólido no cultivo de cogumelos (Figura 1.1).

Hipótese 2: A incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) no solo favorece o condicionamento químico e biológico ao aumentar a capacidade de troca catiônica, teores de carbono orgânico e atividade respirométrica como resposta da sua relativa e mais fácil decomposição do SMS pela microbiota do solo (Figura 1.2).

**Figura 1:** Representação gráfica das hipóteses da pesquisa de doutorado. Círculos com números brancos e preenchimento preto, (1) = Hipóteses 1 e (2) = Hipótese 2. ↑ COS = aumento do teor de carbono orgânico total do solo; ↑ CTC = aumento da capacidade de troca catiônica do solo.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ATIVIDADE AGRÍCOLA DA PARAÍBA

O estado da Paraíba, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) economicamente representa o 0,94% do PIB brasileiro localizando-se dentro dos 8 estados federais com menor aporte econômico (19<sup>o</sup>). Nesse contexto, a atividade agropecuária representa apenas o 3,67% do PIB estadual onde a agricultura é responsável por 48,64%, acima da produção pecuária (34,68%) e produção florestal (16,68%).

A produção agrícola do estado da Paraíba, em termos de quantidade produzida (Mg ha<sup>-1</sup>), para lavouras temporárias destacam-se a cana-de-açúcar (86,27%) e o abacaxi (9,09%) sendo este cultivo um dos mais representativo no Brasil ficando atrás somente dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais (EMBRAPA, 2020). Em relação às lavouras permanentes têm maior destaque as culturas da banana (46,77%) e coco-da-baía (20,97%) (IBGE, 2020) (Quadro 1).

**Quadro 1** – Área colhida, quantidade produzida e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes mais representativas do Estado da Paraíba<sup>1</sup> reportada pelo IBGE no ano de 2020.

	Cultivo agrônômico	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (Mg)	Valor da produção (R\$)
Lavouras Temporárias	Cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	97.167 (34,06%)	5.197.152 (86,71%)	318.898.000 (34,24%)
	Milho ( <i>Zea mays</i> )	73.929 (25,91%)	26.242 (0,44%)	18.833.000 (2,02%)
	Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	72.639 (25,46%)	20.527 (0,34%)	51.164.000 (5,49%)
	Mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> )	15.405 (5,40%)	146.168 (2,44%)	94.911.000 (10,19%)
	Abacaxi ( <i>Ananas comosus</i> )	10.716 (3,76%)	544.995 (9,09%)	369.268.000 (39,65%)
Lavouras Permanentes	Banana ( <i>Musa × Paradisiaca</i> )	9.873 (31,33%)	121.398 (46,44%)	134.439.000 (52,75%)
	Coco-da-baía ( <i>Cocos nucifera</i> )	6.381 (20,18%)	54.821 (20,97%)	21.643.000 (8,49%)
	Sisal ( <i>Agave sisalana</i> )	5.090 (16,10%)	4.715 (1,80%)	8.057.000 (3,16%)
	Castanha caju ( <i>Anacardium occidentale</i> )	3.363 (10,64%)	893 (0,34%)	1.770.000 (0,69%)
	Tangerina ( <i>Citrus reticulata</i> )	1.846 (5,84%)	13.174 (5,04%)	8.032.000 (3,15%)

<sup>1</sup>Valores totais do estado paraibano para lavouras temporárias, 285.284 ha, 5.993.693 Mg e R\$ 931.409.000; e lavouras permanentes, 31.616 ha; 261.414 Mg e R\$ 254.973.000. Fonte: Adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), [cidades.ibge.gov.br](http://cidades.ibge.gov.br).

Perante o cenário agropecuário da Paraíba, pode considerar-se a potencial geração de resíduos produzidos por esta atividade. Assim, a gestão dos resíduos obtidos das lavouras poderia ter um uso mais eficiente e diversificado do que apenas incorporados, deixados ou descartados no próprio terreno de cultivo. Sabe-se que em princípio servem como proteção ou adubo, mas também em excesso ou manejados ineficientemente se constituem em fonte de emissão de gases do efeito estufa (CARMO et al., 2012), proliferação de pragas (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013) e indisponibilidade de nutrientes (FERREIRA et al., 2016).

Por outro lado, é importante indicar que a agricultura familiar (produtores com menos de 2 hectares) desenvolve um papel importante na atividade agrícola, claro exemplo é no nordeste brasileiro onde esta atividade representa mais do 50% (IBGE, 2020). Ricciardi et al. (2018) avaliando mais de 55 países (incluindo o Brasil), relatam que a agricultura familiar dedica entre 55 a 59% das suas terras à produção de alimentos, as quais produzem entre 28 a 31% da produção agrícola mundial e 30 a 34% da oferta global de alimentos expressado em calorias. No entanto, no mesmo trabalho indicam que são responsáveis por 26 a 30% dos resíduos gerados (colheita e pós-colheita) dos quais apenas desperdiçam 4% em comparação às grandes áreas produtivas (>500 ha) que desperdiçam mais de 7%. Contudo, mesmo perante esta diferença a agricultura familiar apresenta baixa eficiência no aproveitamento energético uma vez que não dispõem de recursos nem o acesso para processar os seus resíduos gerados em campo limitando-se apenas à incorporação direta ao solo ou no seu uso como cobertura.

### 3.2 RESÍDUOS AGRONÔMICOS *IN NATURA*

Os resíduos lignocelulósicos das culturas ou também conhecidos como resíduos agronômicos podem ser definidos como a parte da planta que permanecem no campo depois da colheita, variando grandemente em propriedades e velocidades de decomposição (LAL, 2005). A estimativa da proporção dos resíduos de um cultivo agrícola é determinada entre a quantidade do produto economicamente aproveitável e o total da biomassa produzida (PADILHA et al., 2010). Em geral, a manutenção destes resíduos em campo, aliás se depender do manejo da cultura em si, estão relacionados ao papel essencial que cumprem em melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas e os processos do solo, contribuindo para o seu funcionamento adequado assim como para o crescimento de plantas e demais serviços ecossistêmicos (BLANCO-CANQUI; LAL, 2009; CARVALHO et al., 2016; FRANZLUEBBERS, 2015;

STAVI et al., 2016). No entanto, pouco são utilizados na produção de energia ou aproveitamento de outras atividades produtivas (CHERUBIN et al., 2018).

Globalmente entre os anos 2003 ao 2013, a produção de resíduos agronômicos aumentou em 50% atingindo 5.011 milhões de Mg no ano de 2013, segundo Cherubin et al. (2018) e dados baseados na FAOSTAT e resumidos na Tabela 1. Evidenciaram também que o continente asiático foi o maior produtor de resíduos participando com 47% do total, seguida pela América (29%), Europa (16%), África (6%) e Oceania (2%). A situação do Brasil não foi uma exceção já que, na mesma década, a produção de resíduos agronômicos aumentou em aproximadamente 66%, atingindo 423 milhões de Mg, resultando ser aproximadamente 29% da produção total do continente americano e 8% da produção mundial.

**Tabela 1** – Produção de resíduos agronômicos gerados no ano de 2013 ( $10^6$  Mg) e a sua variação percentual ( $\Delta$ ) no período 2003 e 2013 para o Brasil, nos continentes e no mundo.

	Cer.	$\Delta$	Leg.	$\Delta$	Ole.	$\Delta$	Can.	$\Delta$	Tub.	$\Delta$	Total	$\Delta$
Brasil	111	44%	85	53%	5	56%	222	87%	1	13%	423	66%
América	828	27%	259	48%	53	40%	310	53%	12	5%	1462	35%
Ásia	1865	32%	86	15%	126	45%	233	23%	67	11%	2376	30%
África	230	34%	22	39%	13	27%	32	13%	12	81%	309	33%
Europa	629	34%	11	36%	72	102%	42	4%	28	-13%	782	34%
Oceania	54	-12%	3	240%	10	168%	9	-28%	1	0%	76	-2%
Mundo	3608	30%	382	39%	275	57%	626	33%	120	7%	5011	50%

Cer. = Cereais; Leg. = Legumes; Ole. = Oleaginosas; Can. = Cana-de-açúcar; e Tub. = Tubérculos;

$\Delta$  (%) = [(Produção no 2013 – Produção no 2003) / Produção no 2003]  $\times$  100;

Relação Brasil/América = (423/1462)  $\times$  100 = 28,93%;

Relação Brasil/Mundo = (423/5011)  $\times$  100 = 8,44%;

Fonte: Adaptado de Cherubin et al. (2018).

A quantidade de resíduos ou palha produzida de uma lavoura dependerá das condições edafoclimáticas, manejo e tipo de variedade cultivada (LEAL et al., 2013). Por exemplo, em média a palha da cana-de-açúcar varia entre 9 a 19% do peso seco total (LANDELL et al., 2013), sendo que no Brasil a produção de resíduos para esta cultura varia entre 7,4 a 24,3 Mg ha<sup>-1</sup> com média de 14 Mg ha<sup>-1</sup> (PAES; OLIVEIRA, 2005).

Das vantagens reportadas em relação à incorporação e manutenção de resíduos na superfície do solo, podemos mencionar: armazenamento de água no solo (TORMENA et al., 2017); redução das perdas da água no solo (PERES et al., 2010); favorecimento da infiltração da água no solo (JOHNSON et al., 2016); proteção como barreira física evitando a erosão do solo em épocas de altas precipitações pluviométricas (FRANZLUEBBERS, 2015) e redução da

pressão do tráfego dos implementos agrícolas reduzindo a compactação do solo (BRAIDA et al., 2006); ação como isolador térmico da superfície do solo. Por exemplo, a palha da cana-de-açúcar e milho podem reduzir, em média, a temperatura da superfície do solo em 2°C e 7 °C, respectivamente (LAL, 2005; MOINTINHO et al., 2013); aumento da atividade microbiana (JUNIOR et al., 2015); controlador de doenças através da liberação de compostos orgânicos que reduzem a germinação, o número e peso dos escleródios de fungos de *Rhizoctonia bipolaris* (QI et al., 2015); e contribuição no aumento dos estoques de carbono no solo (POEPLAU; DON, 2015).

Por outro lado, entre as principais desvantagens relacionadas à incorporação e manutenção de resíduos na superfície do solo podemos mencionar: induzir a imobilização do nitrogênio afetando as fases iniciais de desenvolvimento das culturas (FERREIRA et al., 2016); favorecer a proliferação de pragas, que quando não controladas adequadamente, podem causar perdas significativas nas culturas (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013); e contribuir com a emissão de gases efeito estufa à atmosfera (JIN et al., 2014).

### 3.3 LUVISSOLO CRÔMICO DO CARIRI PARAIBANO

Das 13 ordens de solos presentes no território brasileiro, os Luvisolos no Brasil ocupam a 7ª posição com 2,81% de predominância, no Nordeste a 4ª posição com 8,70% e na Paraíba a 2ª posição com 17,20% de ocorrência, sendo este último superado apenas pela ordem Neossolo com 47,91% (EMBRAPA, 2014, 2018; MEDEIROS, 2018). Ademais, a ocorrência dos Luvisolos na Paraíba em proporção ao Nordeste e o Brasil são de 7,28% e 4,11%, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 2** – Ocorrência da ordem de Luvisolos Crômicos na Paraíba, no Nordeste e no Brasil.

Território	Área (km <sup>2</sup> )	%	Posição
<sup>1</sup> Paraíba	9.838,66	17,20	2º
<sup>2</sup> Nordeste	135.223,38	8,70	4º
<sup>3</sup> Brasil	239.268,04	2,81	7º
Paraíba/Nordeste	-	7,28	-
Paraíba/Brasil	-	4,11	-

Fonte: Medeiros (2018), <sup>2</sup>Embrapa (2014) e <sup>3</sup>Embrapa (2018).

Segundo a o SIBCS (EMBRAPA, 2018) e a FAO (2015) os Luvisolos Crômicos são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com acúmulo de argilas de atividade alta (Ta, CTC>24 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de argila) e alta saturação de bases (V>50%). Podem ser

imperfeitamente drenados e pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C com nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt, sendo este último, geralmente, de coloração avermelhada e amarela com estrutura em blocos ou prismática. Ademais, podem apresentar, ou não, pedregosidade na parte superficial, caráter solódico ou sódico na parte subsuperficial e serem moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos com teores de alumínio extraível baixo ou nulo.

Em função com a sua correlação com a *Soil Taxonomy* (BUOL et al., 2011), os Luvisolos Crômicos podem corresponder à ordem Alfisols quando ocorrentes em regiões úmidas ou subúmidas, no entanto, também podem ser classificados como Aridisols quando ocorrentes em regiões áridas ou desérticas. Assim, a alta saturação de bases está associada à interação do tipo de material de origem, com altos teores de bases como cálcio, magnésio, sódio e potássio e aos efeitos da baixa precipitação pluviométrica que reduzem a ação do intemperismo químico e como consequência a baixa lixiviação das bases (LEPSCH, 2002).

O estado da Paraíba possui 86,20% da sua área territorial inserida no contexto do Semiárido brasileiro (MEDEIROS et al., 2012), assim devido às condições de semiaridez, os solos são normalmente pouco espessos, contêm menos argilas e mais minerais primários, que pouco ou nada foram afetados pelo intemperismo químico, além de apresentarem comumente menores quantidades de matéria orgânica (ou de carbono) e maiores quantidades de cátions básicos trocáveis (LEPSCH, 2002). Portanto, constituindo esta região como não homogênea quanto às condições ambientais, apresentando, portanto, uma diversidade de unidades geoambientais (SILVA et al., 1993).

Segundo Saraiva (2016) os Luvisolos Crômicos ocorrem na Paraíba em climas muito secos ( $<400 \text{ mm ano}^{-1}$ ) e secos ( $\geq 400$  e  $\leq 600 \text{ mm ano}^{-1}$ ) ambas com vegetação caatinga hiperxerófila em condições de degradação e subúmidas ( $>600 \text{ mm ano}^{-1}$ ) com floresta subcaducifólia em área de pousio. Na Paraíba, os Luvisolos Crômicos ocorrem em 28,20% com drenagem imperfeita (forte), 39,20% com textura argilosa (moderada), 49,40% com profundidade raso entre 0,2 a 0,4 m (forte), 55,85% com pedregosidade ausente, pouca e muita (nula, ligeira e moderada) e 55,78% com declividade desde 3 a 20% (ligeira, moderada e forte) (FRANCISCO, 2010) (Quadro 2).

**Quadro 2** – Percentual de atributos físicos dos Luvisolos Crômicos no Cariri paraibano.

Atributo	Condição	%
Drenagem	Imperfeita	28,20
Textura	Argilosa	39,05
Profundidade	Raso (20 a 40 cm)	49,40
Pedregosidade	Ausente, pouca, muita	55,85
Declividade	3 a 8, 8 a 12 e 12 a 20	55,78

Fonte: Adaptado de Francisco (2010).

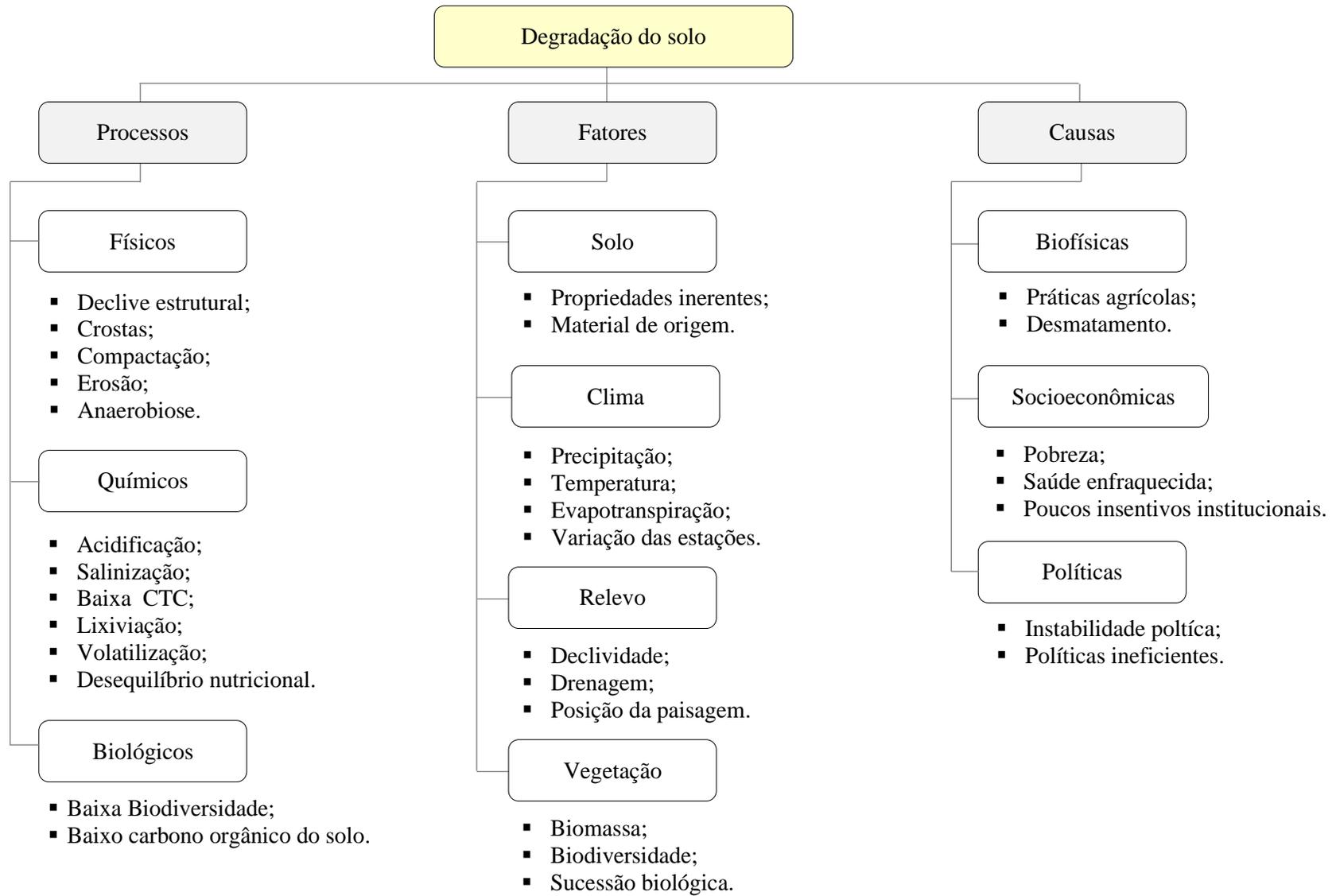
### 3.4 DEGRADAÇÃO DO SOLO

A degradação do solo pode ser definida como a perda da produtividade ou utilidade real e potencial do solo como resultado de fatores naturais e, essencialmente, antropogênicos que provocam o declínio da qualidade do solo ou redução dos seus serviços ecossistêmicos (LAL, 1997). Ademais, é consequência de processos, fatores e causas (Figura 2) que afetam os atributos biofísicos do solo impulsionadas diretamente por agentes econômicos e políticos (ESWARAN et al., 1997).

Em relação aos vieses econômico e político, por exemplo, geralmente se acredita que a alta densidade populacional está relacionada com o aumento da degradação do solo, porém, elas poderiam constituir-se no triunfo da reversão da tendência do aumento da degradação do solo através de práticas eficientes (LAL, 2016; 1997). No entanto, para esse fim, as pessoas precisam estar política e economicamente motivadas para cuidar do solo, pois a agricultura de subsistência, a pobreza e o analfabetismo são consideradas umas das causas mais importantes no processo de degradação do solo e o meio ambiente (Figura 3) (ESWARAN et al., 2019).

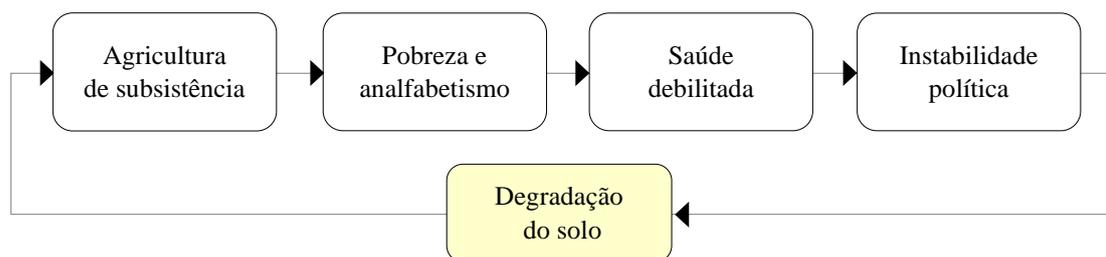
Esta situação pode ser observada no semiárido nordestino que, apesar de possuir umas das regiões ecológicas mais ricas e biodiversas do Brasil (SILVA et al., 2017), como é a Caatinga (11% do território brasileiro), é uma das regiões mais afetadas pelo desmatamento e exploração predatória para satisfazer as demandas por carvão e lenha, realizada pelos moradores rurais que representam quase 50% os camponeses brasileiros com um dos mais baixos índices de desenvolvimento humano e menor expectativa de vida (IBGE, 2020; MMA, 2010). Portanto, nesse contexto social, deve-se principalmente começar na melhoria das condições de vida dessas pessoas, fazendo que a sua dependência dos recursos naturais e convívio com as dificuldades climáticas permitam-lhes ter maiores cuidados com o solo.

**Figura 2:** Processos, fatores e causas da degradação do solo.



Fonte: Adaptado de Lal (1997).

**Figura 3:** Agentes políticos e socioeconômicos que contribuem para a degradação do solo.



Fonte: Adaptado de Lal (1997).

Não considerar o aspecto social do semiárido nordestino, provocaria que a predação dos recursos naturais e as condições climáticas desta região, marcada por longos períodos de déficit hídrico, baixa matéria orgânica, reduzida reposição de resíduos vegetais, erosão, salinização, elevadas temperatura e fotodegradação, estimulem ainda mais o avanço da degradação dos solos nesta região uma vez que proporcionaria uma agricultura extrativa sempre à busca de novas áreas na caatinga gerando mais perda de biodiversidade (SANTIAGO; MONTENEGRO; PINHEIRO, 2018; AUSTIN; VIVANCO, 2006).

Portanto, diminuindo a desigualdade social e econômica permitiria que o uso e manejo do solo, realizada pelos agricultores ou administradores da terra, mantenham a capacidade produtiva de alimentos e fibras no solo ao longo do tempo favorecendo o crescimento radicular, armazenamento de água, a ciclagem de nutrientes e a resistência à degradação (CANDIDO, 2014).

De acordo com o 9º princípio da carta mundial do solo,

---

*“Solos que sofreram degradação podem ser restaurados nas suas funções essenciais e contribuições aos serviços dos ecossistemas através da aplicação de técnicas de reabilitação apropriados” - FAO (2015).*

---

É importante buscar alternativas que contemplem o aumento das condições nutricionais do solo reduzindo o avanço da erosão, mitiguem o aumento da acidez do solo que restringem a produção de alimentos (MENON et al., 2013), melhorem a produção pecuária (BOUWMAN et al., 2011) e realizem uma adequada gestão de recursos residuais provenientes das suas principais lavouras.

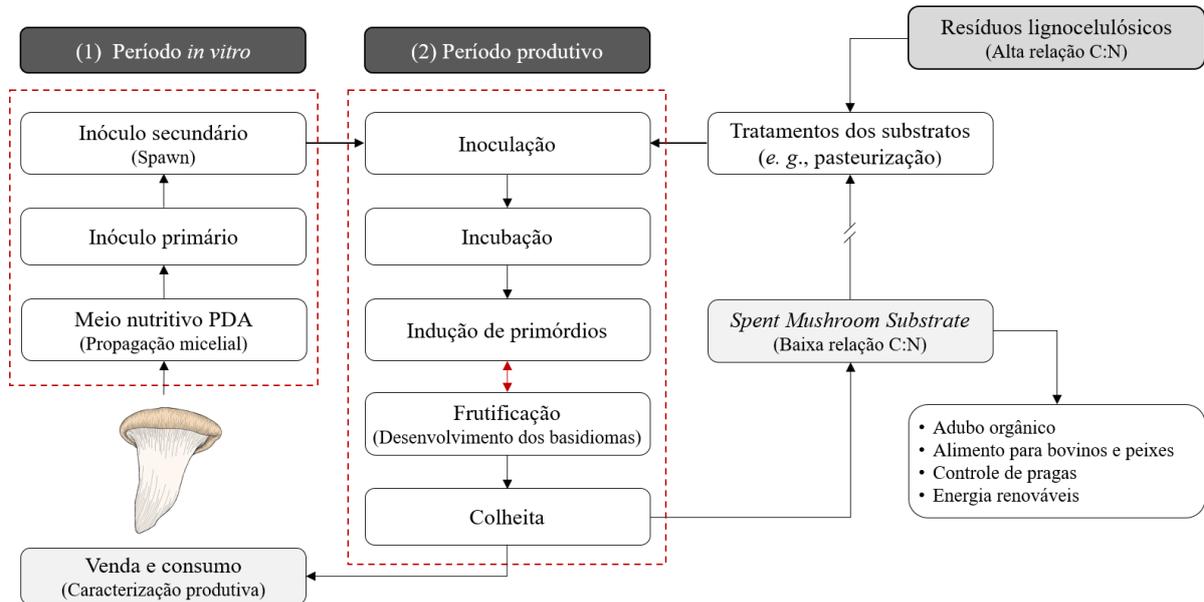
### 3.5 CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)

O cultivo de cogumelos é um sistema de bioconversão ecológica que aproveita os resíduos lignocelulósicos gerados pela atividade agrícola para a obtenção de um alimento nutritivo e medicinal (ALBERTÓ, 2008; RAMAN et al., 2020). Assim, as diversas espécies de cogumelos são organismos que conseguem, por atividade enzimática, dissolver, absorver e transformar compostos recalcitrantes como a lignina em alimento proteico para os seres humanos (MATA et al., 2017; DONG et al., 2013). Por esse motivo os resíduos secos provenientes da agricultura são a principal fonte de carbono e nitrogênio para estes organismos decompositores (GÓMEZ; ANDRADE, 2008). No mundo, são cultivadas várias espécies de cogumelos, das quais 85% da produção mundial é proveniente de cinco gêneros: *Lentinula* (22%), *Pleurotus* (19%), *Auricularia* (18%), *Agaricus* (15%) e *Flammulina* (11%) (SÁNCHEZ; ROYSE, 2017).

A espécie *P. ostreatus*, conhecida no Brasil como ‘Shimeji-preto’, em comparação de outras espécies de cogumelos pode ser produzida com tecnologia de baixo custo, 50% menor que a produção de outras espécies (ALBERTÓ, 2008; FERRARI et al., 2020), e por ser um fungo de decomposição primária e especialista em compostos lignocelulósicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) pode crescer em substratos com relação C/N entre 30 a 300, inclusive pode reduzir até em 80% os teores de celulose, hemicelulose e lignina sugerindo que todos os substratos pobres em N podem ser utilizados para a cultura desta espécie (MATA et al., 2017), além de ser altamente nutritivo e possuir propriedades anticancerígenas, o substrato residual do seu cultivo pode ser utilizado como condicionador do solo ou ração para animais (GÜMÜŞ e ŞEKER, 2017; FAZAELI et al., 2014).

O sistema de cultivo de *P. ostreatus* considera duas etapas: *in vitro* e produtiva (Figura 4). A etapa *in vitro* consiste na propagação dos micélios dos fungos em placa de Petri com meio nutritivo batata-dextrose-ágar (BDA) até atingir a máxima colonização para em seguida propagá-los em sementes com alto teor de amido, por exemplo grãos de trigo (*Triticum spp*), denominado como “inóculo” ou “Spawn” que será utilizado na etapa seguinte. A etapa produtiva consiste na transferência do Spawn ao substrato lignocelulósicos definitivo, processo denominado de inoculação, cumprindo posteriormente as fases de incubação (25 a 29°C e 78 a 86% UR), indução-frutificação (19 a 25°C e 83 a 92% UR) e colheita (Figura 4) (ALBERTÓ, 2008; CARVALHO et al., 2012, ALANANBEH et al., 2014; ESTRADA; PECCHIA, 2017 e ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020).

**Figura 4:** Ciclo produtivo de cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* (Jacq.).



Fonte: Adaptado de Zárate-Salazar et al. (2020).

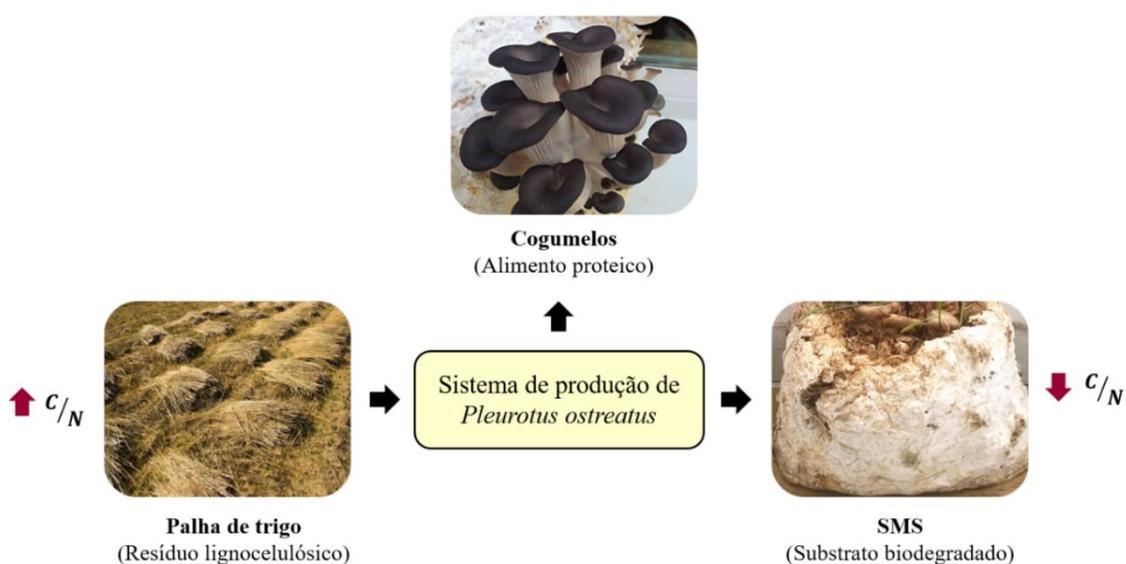
A produção de cogumelos é uma atividade em grande expansão no mundo chegando a ultrapassar 34 milhões de toneladas e gerando mais de 63 milhões de dólares (SÁNCHEZ; ROYSE, 2017). Segundo Pérez-Chávez et al. (2019), o continente americano teve uma produção estimada de cogumelos de quase 1 milhão de Mg em 2018. O Brasil não tem sido a exceção, já que tem aumentado a sua produção em 11 vezes desde 2000 até a atualidade, chegando a ser considerado em 2013 como o maior produtor no continente americano com 5.160 Mg superando ao México em 72% (SÁNCHEZ; ROYSE, 2017).

O desenvolvimento expansivo e tecnológico do cultivo de cogumelos deve-se principalmente ao aumento considerável no consumo de alimentos mais saudáveis de fontes não-animais (MAHARI et al., 2020) e também pela necessidade de aproveitar os resíduos lignocelulósicos gerados na agricultura com o uso de microrganismos (SHINDE et al., 2022) por exemplo no uso de folhas secas das bananeiras (CARVALHO et al., 2012) ou borra de café (CARRASCO-CABRERA et al., 2019), embora existem estudos sem fins para consumo humano, a exemplo, no uso de *P. ostreatus* na biodegradação resíduos urbanos como fraldas descartáveis (DELFÍN-ALCALÁ; DURÁN-DE-BAZÚA, 2003) assim como na remoção de herbicidas do solo como a atrazina (CHEN et al., 2018; MASAPHY et al., 1996).

### 3.6 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

O principal subproduto da produção de cogumelos é o substrato pós-cultivo de cogumelos (Figura 5), conhecido como SMS, do inglês de *Spent Mushroom Substrate*, biomaterial definido como o substrato residual que, por ação enzimática micelial, foi biodegradado para o desenvolvimento dos corpos frutíferos (basidiocarpos) dos fungos (RINKER, 2017; ZHANG et al., 2016). Estima-se que por cada quilograma de cogumelo colhido, em média, se produz cerca de 5 kg de SMS, nesse sentido, a sua produção apresenta um desafio significativo no seu manejo e posterior aproveitamento (HANAFI et al., 2018; MA et al., 2014) cuja produção anual de SMS varia entre 170 a 204 bilhões de kg (CARRASCO et al., 2018).

**Figura 5:** Esquema produtivo de cogumelos e SMS da espécie *Pleurotu ostreatus*.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022) com imagens de Google® e Zárate-Salazar (2015).

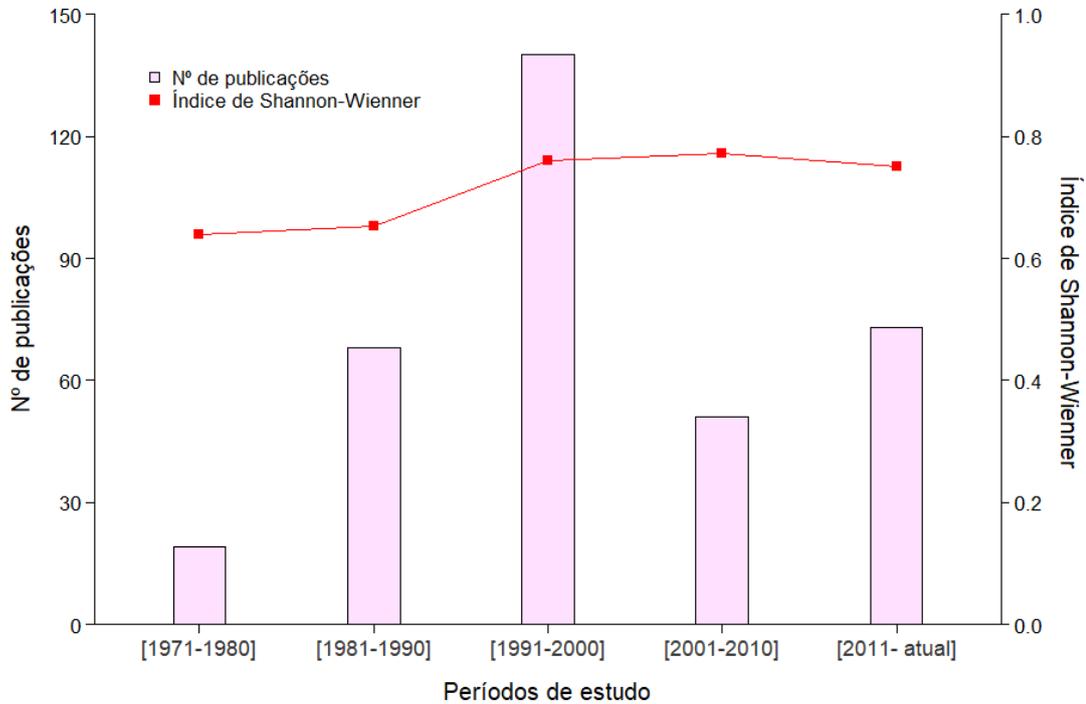
O SMS, geralmente, está composto de várias fontes de resíduos orgânicos e inorgânicos, derivadas da atividade agrícola como palha (Ex.: arroz, cana-de-açúcar, milho) ou serragem, gesso, sais minerais e altos níveis de proteínas, enzimas e carboidratos (LUO et al., 2018), constituindo-o em um subproduto pré-digerido de grande potencial como fonte de bioenergia (Ex.: biogás). No entanto, pode apresentar variabilidade nas suas propriedades físicas e químicas as quais dependem do sistema de produção da espécie de cogumelo utilizada.

Entre os seus principais usos do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS), podem ser citados os seguintes: substituto de fertilizantes e adubos (OWAID et al., 2017); reutilização

como substrato para o cultivo de outras espécies de cogumelos (NOONSONG et al., 2016); compostagem (CARRASCO et al., 2018); lavouras associadas com plantas (JASIŃSKA et al., 2016); alimento para animais (FAZAELI et al., 2014); minhocultura (IZYAN et al., 2009); micofiltração (MNKANDLA et al., 2021); biossorvente de fungicidas e metais pesados (ÁLVAREZ-MARTÍN et al., 2017); remoção ou degradação de pesticidas (HERRERO-HERNÁNDEZ et al., 2011); recuperação de enzimas hidrolíticas (CORRÊA et al., 2016); produção de biocombustíveis (FANG et al., 2017); e produção de biogás (HANAFI et al., 2018).

Complementarmente, para fins do presente estudo, se realizou uma revisão bibliométrica de 351 artigos na base de dados *CrossRef* (<https://www.crossref.org/>), onde se observou os antecedentes científicos e a diversificação dos estudos do SMS nos últimos 50 anos. O levantamento foi seguindo o critério de classificação de Rinker (2017), em 7 áreas de pesquisa: produção de cultivos, biorremediação, reutilização como substrato para o cultivo de outras espécies de cogumelos, ração animal, controle de doenças, energia renováveis e controle de pragas. Na Figura 6, observamos um aumento gradual da diversificação (Índice de Shannon-Wiener) dos estudos associado ao uso e manejo de SMS a partir do ano 2000, efeito que coincide com o incremento mundial da produção de cogumelos (SÁNCHEZ; ROYSE, 2017).

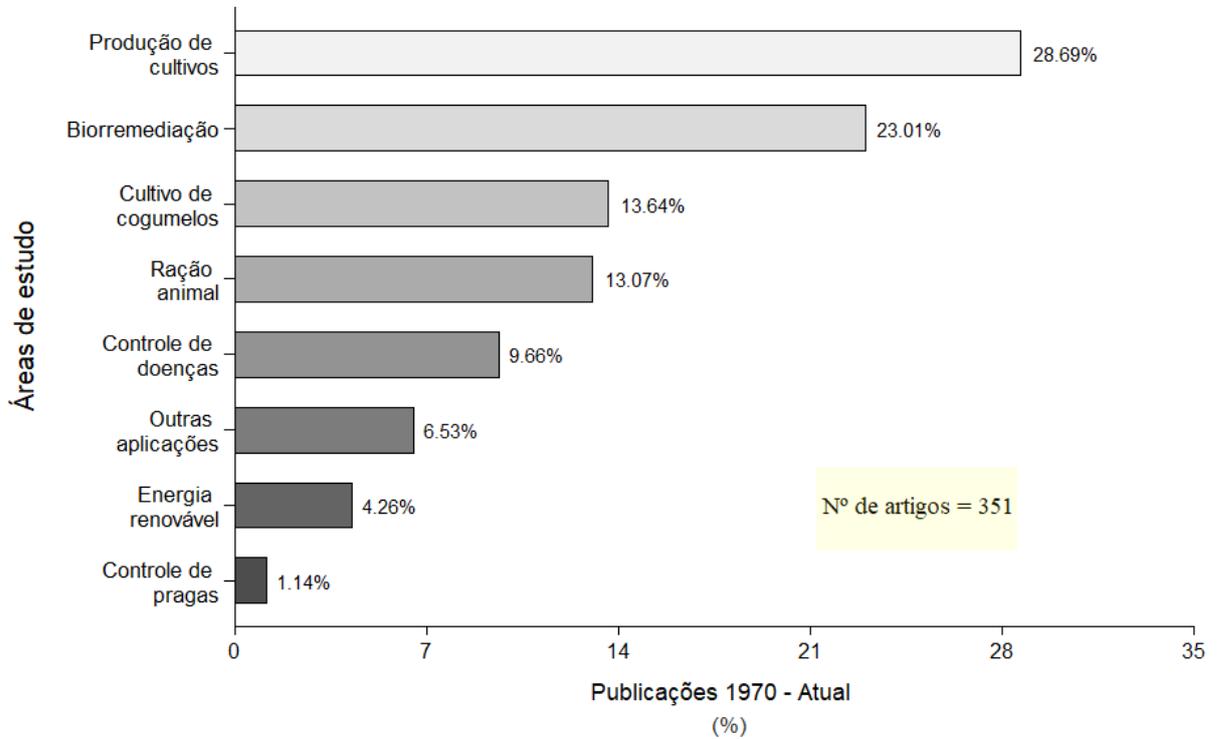
**Figura 6:** Número de artigos publicados encontrados na base de dados *CrossRef* relacionados a estudos com os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) desde 1970 até 2022 (eixo da esquerda) e o Índice de diversidade de Shannon-Wiener (eixo da direita) agrupados por períodos.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

Na Figura 7, identificamos que o uso de SMS em pesquisas associadas à biorremediação (23,01%) é a segunda categoria mais relevante depois da produção de culturas (28,69%) e superior à reutilização para cultivo de outros cogumelos (13,64%), evidenciando assim o interesse científico no reaproveitamento dos SMS como uma alternativa viável.

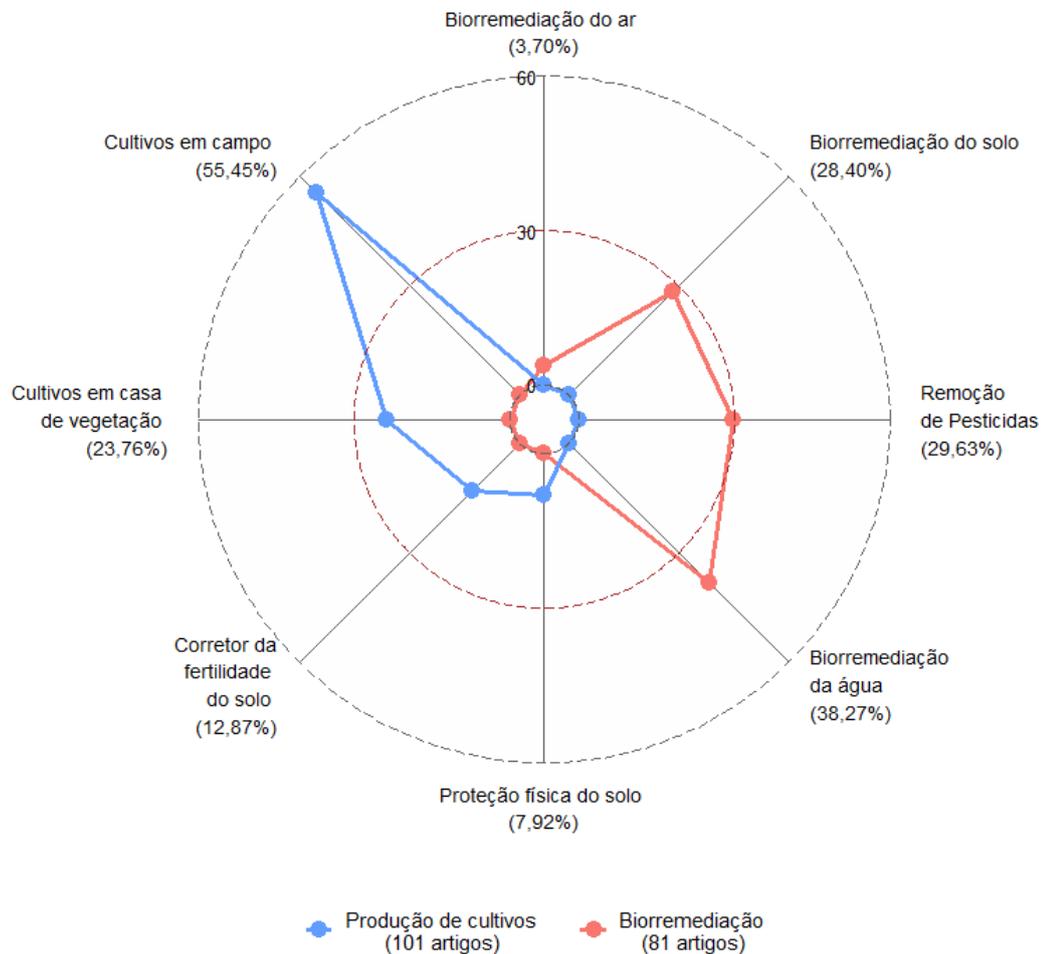
**Figura 7:** Percentagem de ocorrências das sete áreas de pesquisas, classificadas por Rinker (2017), relacionadas ao estudo do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) encontradas na base de dados de *CrossRef* desde 1970 até 2022.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

Na Figura 8, avaliamos as áreas de pesquisa mais relevantes. Nesse sentido, conferimos que a proporção de artigos relacionados à “Produção de cultivos” foi voltada ao uso do SMS como substrato incorporado ao solo para cultivos em campo (55,45%) e como substrato para o desenvolvimento de mudas em casa de vegetação (23,76%). Já na área de “Biorremediação” foram concentradas as publicações em biorremediação da água (38,27%), remoção ou degradação de pesticidas (29,63%) e biorremediação do solo (28,40%).

**Figura 8:** Percentagem de ocorrências das subáreas de pesquisa nas principais áreas relacionadas ao estudo de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) nos artigos publicados encontrados na base de dados *CrossRef* desde 1970 até 2022.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

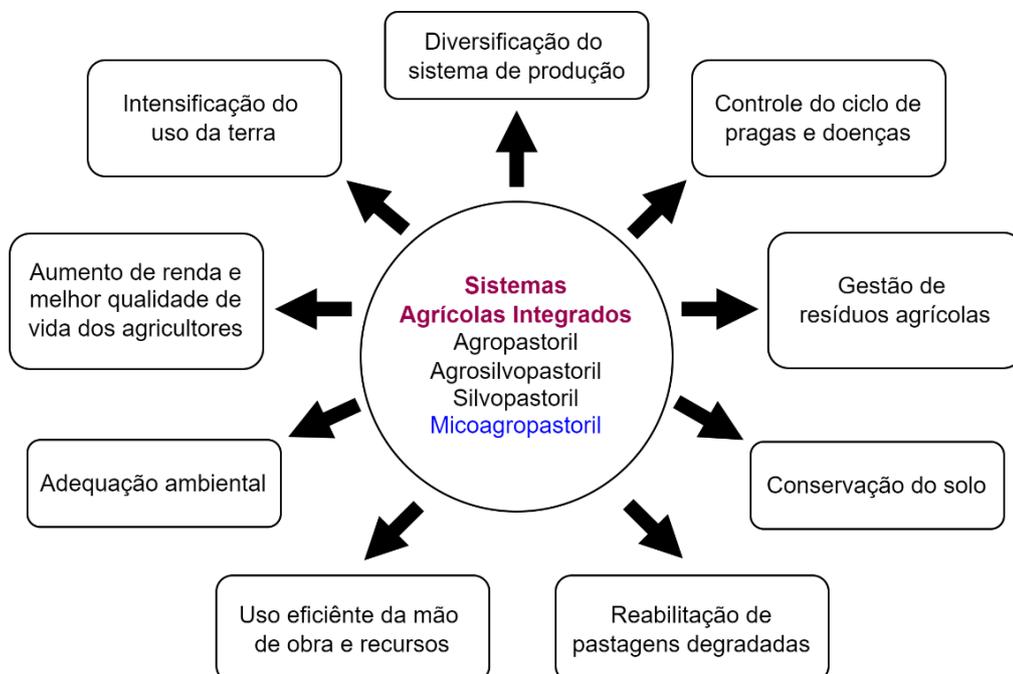
Como mostraram os resultados do levantamento bibliométrico, existe ainda muito campo por explorar e estudar em relação ao estudo dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) com enfoque na ciência do solo que contemplem os seus efeitos nas propriedades químicas do solo como por exemplo na capacidade de troca catiônica, sequestro de carbono entre outros condicionamentos, sejam estes físicos ou biológicos. Por outro lado, já dos trabalhos publicados ainda se sente falta da especificação da composição, idade de armazenamento do SMS de modo que se evitem problemas de generalização no uso destes biomateriais.

Dessa forma, além de contemplar os aspectos da fertilidade do solo e, perante o contexto estudado consideramos pertinente discutir os aspectos relacionados à inovação do aproveitamento dos substratos pós-cultivos de cogumelos (SMS) com enfoque agroecológico inserido em um sistema de economia circular. De acordo com estudos de Phan e Sabaratnam (2012), Rinker (2017) e Leong et al. (2022), as propriedades físicas e químicas variam de SMS para SMS seja pela espécie cultivada, formulação do substrato ou pela origem do resíduo agrônomico *in natura* onde o fungo foi cultivado. Por isso, os SMS não podem ser tratados de forma genérica. Sabemos que os SMS derivam da biodegradação de resíduos agrônomicos *in natura* que, desde o cultivo de cogumelos, podem ser SMS compostados, resultado da mistura com estrume de gado, ou SMS não-compostados. Em ambos os casos, a sua composição pode apresentar suplementos orgânicos (MKHIZE et al., 2017) ou, inclusive, agroquímicos como o carbendazim ( $C_9H_9N_3O_2$ ) (MEJÍA; ALBERTÓ, 2013). Dessa forma, assim como temos mostrado os benefícios do uso e da implementação do SMS. É importante entender que a fungicultura como atividade agrícola e econômica também contribui com problemas ambientais. Por exemplo, os SMS compostados do ‘Champignon de Paris’ (*Agaricus bisporus*) são gerados em grandes volumes no mundo apresentando valores de CE entre 5 e 13 dS m<sup>-1</sup> (GÜMUS; SEKER, 2018; FIDENZA et al., 2010), como consequência da incorporação no substrato de cultivo de esterco de cavalo, esterco de galinha, sulfato de amônia ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), gesso (CaSO<sub>4</sub>) etc., tornam difícil a sua aplicação sem tratamento prévio. Porém, ainda são despejados em aterros ou empilhados de modo que emitem mau cheiros, contaminam o solo e provocam a contaminação de águas freáticas (GUO et al., 2001; AHLAWAT; SAGAR, 2007).

Se o destino do SMS for como adubo orgânico no solo, então deve-se considerar primeiro a sua qualidade — associada à espécie cultivada, idade, valor de pH, sais, relação C/N, metabólitos secundários (SINGHT et al., 2020) — que permitirá recomendar ao produtor rural quanto tempo o substrato terá que permanecer incubado no solo antes de instalar uma cultura e evitar que os microrganismos do solo possam competir com a planta pelo nitrogênio (N) (PATHAK et al., 2021). Porém, essa informação deve considerar as condições edafoclimáticas da localidade ou região, pois elas influenciam e contribuem ao processo de mineralização líquida. Sabe-se que nem todos os solos apresentam as mesmas características e, mesmo apresentando-as, nem sempre estão localizados nas mesmas condições ambientais (BISWAS et al., 2017; NABIOLLAHI et al., 2018).

De acordo com Phan e Sabaratnam (2012) muitos artigos revisados por pares não fornecem referências específicas do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS), nem especificam o manejo pós-colheita ou a idade do material ou o tempo de armazenamento ou as descrições físicas e químicas. A falta de informação da composição química dos SMS torna difícil o planejamento e gestão do resíduo, ainda quando se estima que no mundo por cada quilograma de cogumelos produzidos, em média, são gerados entre 5 e 6 kg de SMS (MA et al., 2014). Porém, conhecer o sistema das práticas de cultivo em cada espécie é crucial para auxiliar-nos na escolha do melhor destino do substrato pós-cultivo de cogumelos. Com esta pesquisa, sugerimos e incentivamos que a padronização dos SMS — estabilização do SMS para aplicação como corretivo orgânico no solo para estimular o crescimento de plantas (PAULA et al., 2017) — seja entendida desde a perspectiva do sistema integrado agrícola, a exemplo do sistema microagropastoril (Figura 9) que, especialmente, tem como principal objetivo integrar a gestão dos resíduos agrícolas e a conservação do solo velando pela melhor qualidade de vida dos agricultores (SINGTH et al., 2020).

**Figura 9:** Principais objetivos imediatos e resultados da aplicação dos sistemas integrados agrícolas.

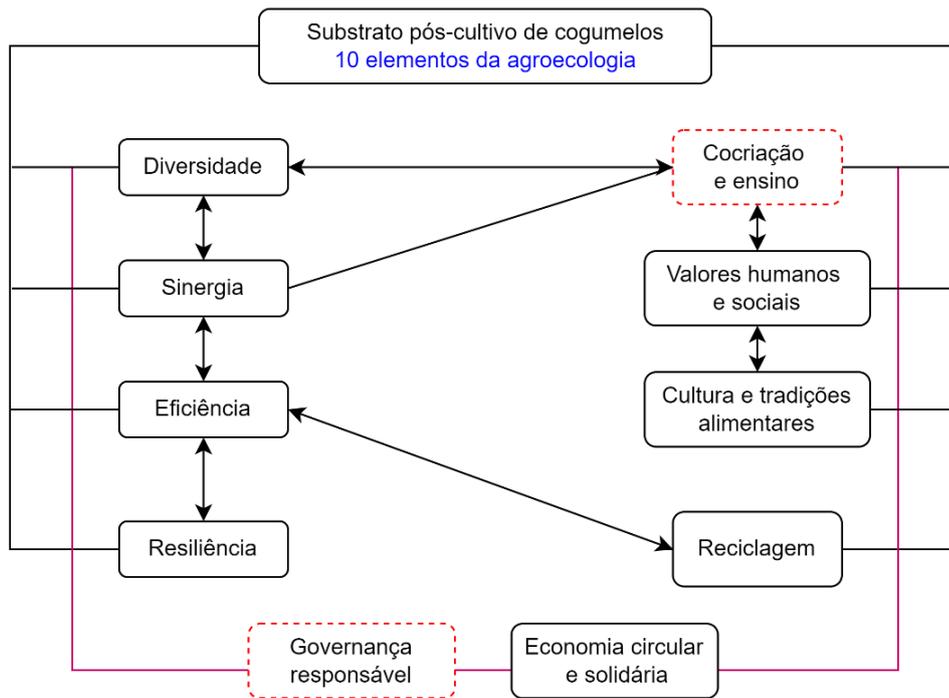


Fonte: Adaptado de Singh et al. (2020).

Entre outros benefícios oferecidos desde o sistema microagropastoril é que permite a gestão do SMS com uma interação equilibrada com os dez elementos da agroecologia (Figura 10) que

contemplam como cinco principais: a conservação da diversidade, sinergia entre os processos, eficiência e reciclagem no uso e reuso dos recursos assim como promover uma economia circular e solidária (PATHAK et al., 2021).

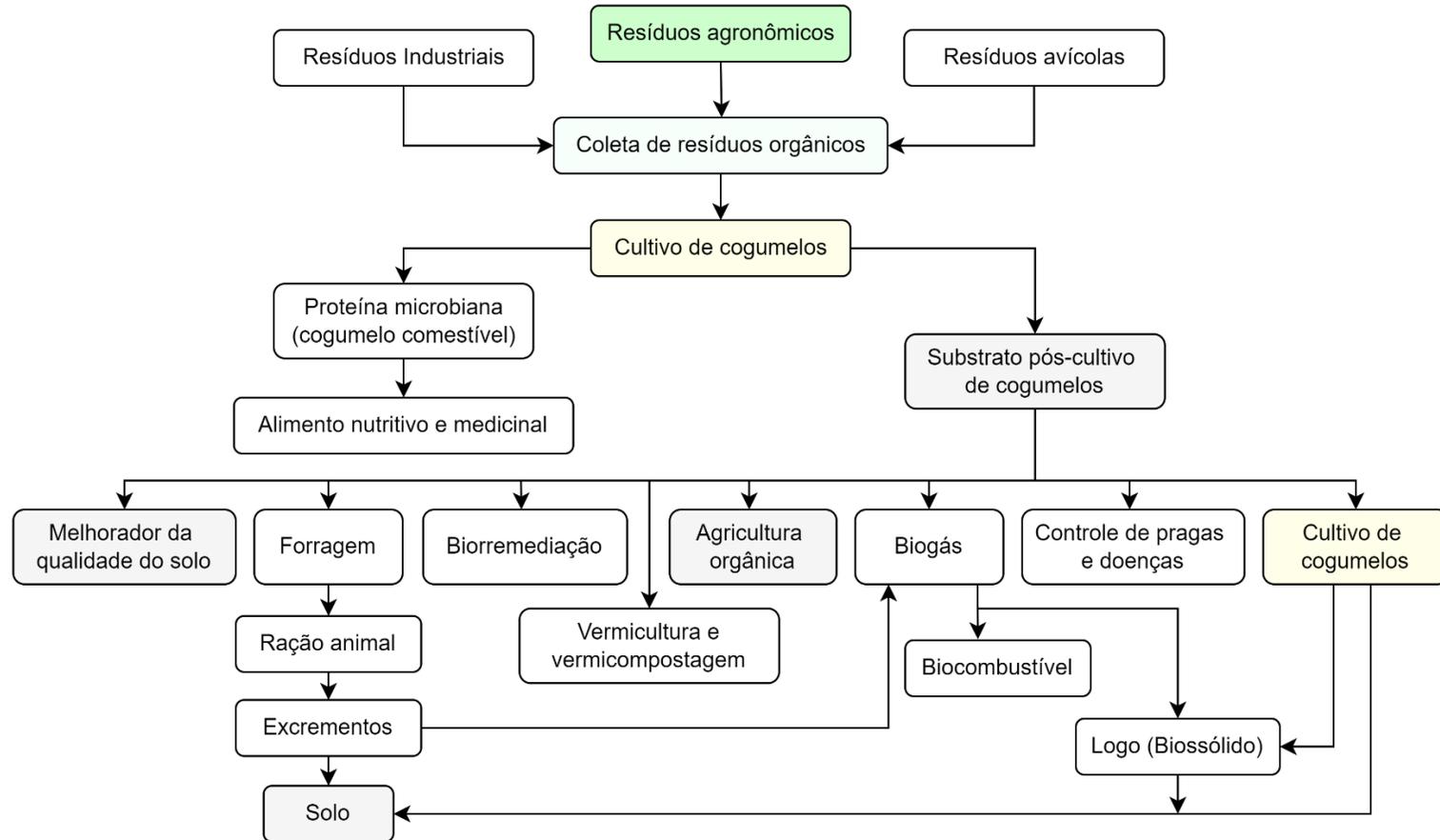
**Figura 10:** Interação dos 10 elementos da agroecologia e a aplicação do substrato pós-cultivo de cogumelos.



Fonte: Adaptado de Pathak et al. (2021).

Consequentemente, desde um ponto de vista mais holístico (Figura 11) contemplando os sistemas supracitados, o aproveitamento dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) resultaria útil nas suas diversas aplicações tecnológicas. Para citar alguns exemplos, o SMS de *Pleurotus pulmonarius* foram úteis como insumo para recuperar enzimas oxidativas como lacases (WANG et al., 2019) e hidrolíticas como xilanases (CORRÊA et al., 2016) importantes na indústria têxtil e papeleiras, respectivamente. O SMS de *Agaricus bisporus* foi utilizado no controle da lixiviação de fungicidas como o cimoxanil ( $C_7H_{10}N_4O_3$ ) e tebuconazol ( $C_{16}H_{22}ClN_3O$ ) diminuindo até 3,5 vezes a sua concentração no solo (ÁLVAREZ-MARTÍN et al., 2017), assim como outras aplicações associadas à agricultura orgânica e melhoramento da qualidade do solo que são contempladas no sistema produtivo da economia circular (GRIMM; WÖSTEN, 2018).

**Figura 11:** Visão holística da reciclagem e aplicação tecnológica dos substratos pós-cultivo de cogumelos.



Fonte: Adaptado de Ahlawat (2007).

Segundo Pérez-Chávez et al. (2019), a economia circular é um sistema produtivo que se associa muito bem com a produção de cogumelos comestíveis uma vez que estimula e busca a reutilização constante de recursos orgânicos lignocelulósicos para geração de alimento e energia.

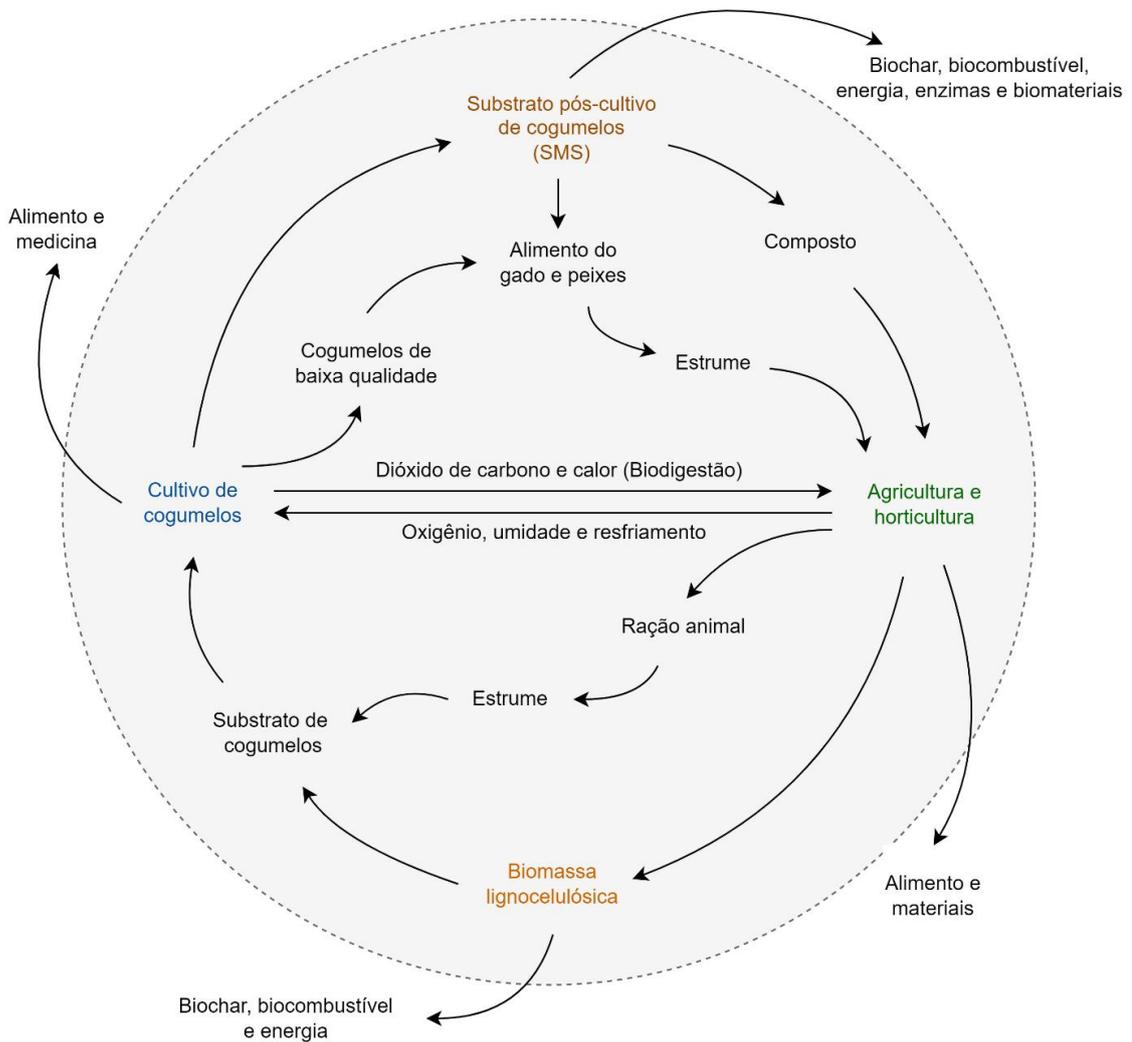
Os autores resumem este enfoque em 5 etapas: I. Gestão dos resíduos lignocelulósicos: promovendo a coleta, seleção e administração de resíduos agronômicos disponíveis na localidade ou região; II. Produção de cogumelos comestíveis: usando os resíduos agrícolas como substratos para geração de alimento proteico e geração de renda; III. Reciclagem do substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS): estabelecendo estratégias de armazenamento e reuso do produto digerido biologicamente pelo fungo; IV. Geração de biogás e energia: inserindo o substrato pós-cultivo (SMS) a processos de digestão anaeróbica bacteriana para produção de metano e, conseqüentemente, energia elétrica; V. Compostagem e aplicação de adubos orgânicos: aproveitando os substratos compostados, assim como os bio sólidos — derivado da biodigestão e biofermentação durante a produção de biogás — como nutrientes de hortaliças entre outras aplicações.

Nesse sentido, um agricultor produzindo com base nos princípios da economia circular (Figura 12) teria a chance de padronizar de forma mais eficiente os substratos pós-cultivo de cogumelos por meio da compostagem incluindo este processo dentro da sua gestão produtiva. Segundo Paula et al. (2017), por meio da compostagem se conseguiria um produto mais estável, lábil e de fácil assimilação pela microbiota do solo, o qual após de ser incorporado, se transformaria em menos tempo em húmus que contribuiriam de forma direta ao aumento da qualidade do solo, como por exemplo aumentando a capacidade de troca catiônica, saturação por bases e estabilidade dos agregados do solo.

O cultivo de cogumelos e a gestão do SMS produzido na economia circular permitiria, além de padronizar a composição dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS), promover a mineralização de nutrientes como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , diminuir o volume dos SMS, inativar patógenos, reduzir mal cheiros, facilitar o uso de rejeitos orgânicos (Ex.: esterco de bovino) e aumentar o sequestro de carbono (MARTINEZ-BLANCO et al., 2013; GARCÍA-GIL et al., 2000). Inclusive, permite que o SMS seja usado em processos de biodigestão promovendo a produção de energia (biogás) e biofertilizantes líquidos com micronutrientes como Fe, Zn, Mn e Cu úteis na horticultura (PÉREZ-CHÁVEZ et al., 2018). Por tanto estimulamos que os produtores, empreendedores assim como estudantes interessados na região

e da UFPB realizem o planejamento de acordo aos fundamentos, benefícios e aplicações que oferece o modelo produtivo de economia circular (Figura 12), pois só dessa forma adquiriria maior sentido socioeconômico e ambiental, de modo que a longo prazo não se torne um problema, senão uma alternativa viável, quantificada dentro dos custos de produção, mas também fornecendo benefícios para o meio ambiente.

**Figura 12:** Reciclagem dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) inserido na economia circular.



Fonte: Adaptado de Grimm e Wösten (2018).

## REFERENCIAS

- AHLAWAT, O. P.; Sagar, M. P. Management of spent mushroom substrate. National Research Centre for Mushroom, Indian Council of Agricultural Research, 2007.
- ALANANBEH, K. M.; BOUQELLAH, N. A.; AL KAFF, N. S. Cultivation of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* on date-palm leaves mixed with other agro-wastes in Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences, 21(6), 616–625. <http://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.08.001>, 2014.
- ALBERTÓ, E. Cultivo Intensivo de los Hongos Comestibles: cómo cultivar champiñones, gírgolas, shiitake y otras especies. (Hemisferio Sur S.A., Ed.) (1a ed.). Buenos Aires, 2008.
- ÁLVAREZ-MARTÍN, A.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; ORDAX, J. M.; MARÍN-BENITO, J. M.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Leaching of two fungicides in spent mushroom substrate amended soil: Influence of amendment rate, fungicide ageing and flow condition. Science of The Total Environment, 584–585, 828–837. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.126>, 2017.
- AUSTIN, A. T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. Nature, 442(7102), 555–558. doi:10.1038/nature05038, 2006.
- BISWAS, S.; HAZRA, G. C.; PURAKAYASTHA, T. J.; SAHA, N.; MITRAN, T.; ROY, S. S.; MANDAL, B. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. Geoderma, 292, 34–48, 2017.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical Reviews in Plant Science, 28(3), 139–163. <http://doi.org/10.1080/07352680902776507>, 2009.
- BOUWMAN, L.; GOLDEWIJK, K. K.; HOEK, K. W. V. D.; BEUSEN, A. H. W.; VUUREN, D. P. V.; WILLEMS, J.; STEHFEST, E. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900 — 2050 period. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(52), 882–887. <http://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>, 2011.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. DA; REINERT, D. J. Mulch and soil organic carbon content and their relationship with the maximum soil density obtained in the proctor test. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 30(4), 605–614, 2006.
- BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. Soil Genesis and Classification. John Wiley & Sons (Six edition). Iowa: John Wiley & Sons, 2011.
- CANDIDO, B. M. (2014). Erosão hídrica e qualidade do solo em sistemas florestais no leste do Mato Grosso do Sul. Universidade Federal de Lavras, 2014.
- CARMO, J. B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L. C.; DE SOUSA NETO, E. R.; PITOMBO, L. M.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINELLI, L. A. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. GCB Bioenergy, 5(3), 267–280. <http://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x>, 2012.

- CARRASCO, J.; ZIED, D. C.; PARDO, J. E.; PRESTON, G. M.; PARDO-GIMÉNEZ, A. Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8(1), 146. <http://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>, 2018.
- CARRASCO-CABRERA, C. P.; BELL, T. L.; KERTESZ, M. A. Caffeine metabolism during cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with spent coffee grounds. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(14), 5831-5841, 2019.
- CARVALHO, C. S. M.; AGUIAR, L. V. B.; SALES-CAMPOS, C.; MINHONI, M. T.; ANDRADE, M. C. N. Applicability of the use of waste from different banana cultivars for the cultivation of the oyster mushroom. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(2), 819–826. <http://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200048>, 2012.
- CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; DE OLIVEIRA BORDONAL, R.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. *Gcb Bioenergy*, 9(7), 1181–1195. <http://doi.org/10.1111/gcbb.12410>, 2016.
- CHEN, L.; HU, X.; YANG, Y.; JIANG, C.; BIAN, C.; LIU, C.; CAI, T. Degradation of atrazine and structurally related s-triazine herbicides in soils by ferrous-activated persulfate: Kinetics, mechanisms and soil-types effects. *Chemical Engineering Journal*, v. 351, p. 523-531, 2018.
- CHERUBIN, M. R.; MÁRCIO, D.; OLIVEIRA, S.; FEIGL, B. J.; PIMENTEL, L. G.; LISBOA, I. P.; SENTELHAS, P. C. Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil. *Scientia Agricola*, 75(3), 255–272. <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0459>, 2018.
- CORRÊA, R. C. G.; DA SILVA, B. P.; CASTOLDI, R., KATO; C. G., DE SÁ-NAKANISHI, A. B.; PERALTA, R. A.; PERALTA, R. M. Spent mushroom substrate of *Pleurotus pulmonarius*: a source of easily hydrolyzable lignocellulose. *Folia Microbiologica*, 61(5), 439–448. <http://doi.org/10.1007/s12223-016-0457-8>, 2016.
- COSTA S. R.; BUENO M.G. A saga do algodão: das primeiras lavouras à ação na OMC. Rio de Janeiro: Insight Engenharia, 2004.
- DELFIN-ALCALÁ, I.; DURÁN-DE-BAZÚA, C. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19(1), 37–45, 2003.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Sugarcane straw and the populations of pests and nematodes. *Scientia Agricola*, 70(5), 305–310. <http://doi.org/10.1590/s0103-90162013000500012>, 2013.
- DONG, X. Q.; YANG, J. S.; ZHU, N.; WANG, E. T.; YUAN, H. L. Sugarcane bagasse degradation and characterization of three white-rot fungi. *Bioresource technology*, 131, 443-451, 2013.
- EMBRAPA. Produção brasileira de abacaxi. Retrieved from [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/abacaxi/b1\\_abacaxi.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/abacaxi/b1_abacaxi.pdf), 2022.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 3, 2018.

- EMBRAPA. Solos do Nordeste. Embrapa Solos. Recife, PE. Retrieved from <https://www.embrapa.br/acre/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003864/solos-do-nordeste>, 2014.
- ESTRADA, A. E.; PECCHIA, J. Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. Edible and medicinal mushrooms: technology and applications, 339-360, 2017.
- ESWARAN, H.; ALMARAZ, R.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. An assessment of the soil resources of Africa in relation to productivity. *Geoderma*, 77(1), 1–18. [http://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00007-4](http://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00007-4), 1997.
- ESWARAN, H.; LAL, R.; REICH, P. F. Land degradation: an overview. *Response to Land Degradation*, p. 20-35, 2019.
- FANG, W.; YE, J.; ZHANG, P.; ZHU, X.; ZHOU, S. Solid-state anaerobic fermentation of spent mushroom compost for volatile fatty acids production by pH regulation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(29), 295–300. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.148>, 2017.
- FAO. Status of the world's soil resources (SWSR)--main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bc590e.pdf>, 2015.
- FAVARA, G. M.; SALES-CAMPOS, C.; de ALMEIDA MINHONI, M. T.; SIQUEIRA, O. A. A. P.; de ANDRADE, M. C. N. Use of spent compost in the cultivation of *Agaricus blazei*. *African Journal of Biotechnology*, v. 13, n. 34, 2014.
- FAZAEI, H.; SHAFYEE-VARZENEH, H.; FARAHPOOR, A.; MOAYYER, A. Recycling of mushroom compost wheat straw in the diet of feedlot calves with two physical forms. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(3). <http://doi.org/10.1007/s40093-014-0065-z>, 2014.
- FERRARI, A. B. S.; AZEVEDO DE OLIVEIRA, G.; MANNOCHIO RUSSO, H.; DE CARVALHO BERTOZO, L.; DA SILVA BOLZANI, V.; CUNHA ZIED, D.; ZERAIK, M. L. *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus subrufescens*: Investigation of chemical composition and antioxidant properties of these mushrooms cultivated with different handmade and commercial supplements. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(1), 452-460, 2020.
- FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil. *Gcb Bioenergy*, 8(5), 859–866. <http://doi.org/10.1111/gcbb.12292>, 2016.
- FIDANZA, M. A.; SANFORD, D. L.; BEYER, D. M.; AURENTZ, D. J. Analysis of fresh mushroom compost. *HortTechnology*, 20(2), 449-453, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do Estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas. Universidade Federal da Paraíba, 2010.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Farming strategies to fuel bioenergy demands and facilitate essential soil services. *Geoderma*, 259, 251–258. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.007>, 2015.

- GARCÍA-GIL, J.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P.; POLO, A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(13), 1907–1913. doi:10.1016/s0038-0717(00)00165-6, 2000.
- GÓMEZ, J. P. G.; ANDRADE, J. L. C. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *Nova - Publicación Científica En Biociencias*, 6(10), 126. <http://doi.org/10.22490/24629448.403>, 2008.
- GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18), 7795-7803, 2018.
- GÜMÜŞ, İ.; ŞEKER, C. Effects of spent mushroom compost application on the physicochemical properties of a degraded soil. *Solid Earth*, v. 8, n. 6, p. 1153-1160, 2017
- GUO, M., CHOROVER, J., & FOX, R. H. Effects of spent mushroom substrate weathering on the chemistry of underlying soils. *Journal of environmental quality*, 30(6), 2127-2134, 2001.
- HANAFI, F. H. M.; REZANIA, S.; TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; YAMAUCHI, M.; SAKAMOTO, M.; EBRAHIMI, S. S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1383–1396. <http://doi.org/10.1007/s10163-018-0739-0>, 2018.
- HERRERO-HERNÁNDEZ, E.; ANDRADES, M. S.; MARÍN-BENITO, J. M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Field-scale dissipation of tebuconazole in a vineyard soil amended with spent mushroom substrate and its potential environmental impact. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1480–1488. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.04.023>, 2011.
- IBGE. Pesquisa Nacional para o Estado da Paraíba. Retrieved from <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>, 2020.
- IZYAN, N.; JAMULUDIN, A.; MAHMOOK, N. Potential of spent mushroom substrate in vermicomposting. *Vermitechnology I. Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 3, 87-90, 2009.
- JASIŃSKA, A. J.; WOJCIECHOWSKA, E.; KRZESIŃSKI, W.; SPIŻEWSKI, T.; STOKENS, K.; KRAJEWSKA, K. Mushroom cultivation on substrates with addition of anaerobically digested food waste. *Acta Horticulturae*, (1123), 199–206. <http://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1123.28>, 2016.
- JIN, V. L.; BAKER, J. M.; JOHNSON, J. M.F.; KARLEN, D. L.; LEHMAN, R. M.; OSBORNE, S. L. Soil greenhouse gas emissions in response to corn stover removal and tillage management across the US Corn Belt. *BioEnergy Research*, 7(2), 517–527. <http://doi.org/10.1007/s12155-014-9421-0>, 2014.
- JOHNSON, J. M. F.; STROCK, J. S.; TALLAKSEN, J. E.; REESE, M. Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. *Soil and Tillage Research*, 161, 106–115. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.004>, 2016.
- JUNIOR, F. P. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Microbiological attributes of the soil under cultivation of sugar cane with and without burning straw. *Ciências Agrárias*, 36(1), 151–164, 2015.

LAL, R. Degradation and Resilience of Soils. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 352(1356), 997–1010. <http://doi.org/10.1098/rstb.1997.0078>, 1997.

LAL, R. Soil health and carbon management. Food and Energy Security, v. 5, n. 4, p. 212-222, 2016.

LAL, R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. Environment International, 31(4), 575–584. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.005>, 2005.

LANDELL, M. G. DE A.; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; DOS ANJOS, I. A.; BAPTISTA, A. S.; DE AGUIAR, C. L.; OGATA, B. H. Residual biomass potential of commercial and pre-commercial sugarcane cultivars. Scientia Agricola, 70(5), 299–304. <http://doi.org/10.1590/s0103-90162013000500003>, 2013.

LEAL, M. R. L. V.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. Biomass and Bioenergy, 53, 11–19. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.03.007>, 2013.

LEONG, Y. K.; MA, T. W.; CHANG, J. S.; YANG, F. C. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. Bioresource technology, 344, 126157, 2022.

LEPSCH, I. F. Formação e Conservação dos Solos. São Paulo. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

LIN, Y.; DENG, H.; DU, K. ; LI, J. ; LIN, H. ; CHEN, C. ; ZHANG, G. Soil quality assessment in different climate zones of China's Wenchuan earthquake affected region. Soil and Tillage Research, 165, 315–324. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.009>, 2017.

LUO, X.; YUAN, X.; WANG, S.; SUN, F.; HOU, Z.; HU, Q.; ZOU, Y. Methane production and characteristics of the microbial community in the co-digestion of spent mushroom substrate with dairy manure. Bioresource Technology, 250, 611–620. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.088>, 2018.

MA, Y.; WANG, Q.; SUN, X.; WANG, X.; SU, W.; SONG, N. A study on recycling of spent mushroom substrate to prepare chars and activated carbon. BioResources, 9(3), 3939–3954. <http://doi.org/10.15376/biores.9.3.3939-3954>, 2014.

MAHARI, W. A. W.; PENG, W.; NAM, W. L.; YANG, H.; LEE, X. Y.; LEE, Y. K.; LAM, S. S. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. Journal of hazardous materials, 400, 123156, 2020.

MARTÍNEZ-BLANCO, J.; LAZCANO, C.; CHRISTENSEN, T. H.; MUÑOZ, P.; RIERADEVALL, J.; MØLLER, J., BOLDRIN, A. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. Agronomy for Sustainable Development, 33(4), 721–732. doi:10.1007/s13593-013-0148-7, 2013.

MASAPHY, S.; LEVANON, D.; HENIS, Y. Degradation of atrazine by the lignocellulolytic fungus *Pleurotus pulmonarius* during solid-state fermentation. Bioresource Technology, 56(2–3), 207–214. [http://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00026-0](http://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00026-0), 1996.

MATA, G.; SALMONES, D.; SAVOIE, J. M. Las enzimas lignocelulolíticas de *Pleurotus* spp. In D. J. Royse & J. E. Sánchez (Eds.), La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. (pp. 63–82). Chiapas, México D. F.: ECOSUR, 2017.

MEDEIROS, B. M. Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba. Universidade Federal da Paraíba. Retrieved from <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/4546/1/BMM19072018.pdf>, 2018.

MEDEIROS, S. DE S.; PINTO, T. F.; HERNAN SALCEDO, I.; CAVALCANTE, A. DE M. B.; PEREZ MARIN, A. M.; TINÔCO, L. B. DE M. Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro. Campina Grande: Instituto Nacional de Seminário (INSA). Retrieved from <https://portal.insa.gov.br/acervo-livros/198-sinopse-do-censo-demografico-para-o-semiarido-brasileiro>, 2012.

MEJÍA, S. J.; ALBERTÓ, E. Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. Revista iberoamericana de micología, 30(2), 125-129, 2013.

MENON, M., ROUSSEVA, S., NIKOLAIDIS, N. P., VAN GAANS, P., PANAGOS, P., DE SOUZA, D. M.; BANWART, S. A. (2013). A global initiative on critical zone research and integration. Environmental Science and Pollution Research, 21(4), 3191–3195. <http://doi.org/10.1007/s11356-013-2346-x>

MKHIZE SS, ZHARARE GE, BASSON AK, MTHEMBU MS, CLOETE J (2017) Performance of *Pleurotus pulmonarius* mushroom grown on maize stalk residues supplemented with various levels of maize flour and wheat bran. Food Sci Technol 37:570–577. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.27216>

MMA. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. Retrieved from <http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-prevencao-do-desmatamento/plano-de-acao-para-caatinga---ppcaatinga.html>, 2010.

MNKANDLA, S. M.; OTOMO, P. V. Effectiveness of mycofiltration for removal of contaminants from water: a systematic review protocol. Environmental Evidence, 10(1), 1-8, 2021.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, J. R. N. Effect of soil tillage and sugarcane trash on CO<sub>2</sub> emission. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 37(6), 1720–1728, 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Biotecnologia do Solo. Editora UFLA (Vol. ed. 2), 2006.

NABIOLLAHI, K.; GOLMOHAMADI, F.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; KERRY, R.; DAVARI, M. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. Geoderma, 318, 16-28, 2018.

NOONSONG, V.; PUTTAKUN, N.; TINSIRISUK, M.; SEEPHUEAK, P. Recycling of spent *Pleurotus* compost for production of the *Agrocybe cylindracea*. Mycosphere, 7(1), 36–43. <http://doi.org/10.5943/mycosphere/7/1/4>, 2016.

- OWAID, M. N.; ABED, I. A.; AL-SAEEDI, S. S. S. Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 78–82. <http://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.01.001>, 2017.
- PADILHA, A. C. M.; EBERTS, M.; MATTOS; MIRITZ, L. D.; RODRIGUES, R. G. Resíduos gerados em atividades agropecuárias e de turismo rural: uma investigação na Fazenda Tropeiro Camponês, 1, 1–20. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>, 2010.
- PAES, L. A. D.; OLIVEIRA, M. A. Potential trash biomass of the sugar cane plant. *Biomass Power Generation. Sugarcane Bagasse and Trash*, 19, 2005.
- PATHAK, P.; SINGH, C.; CHAUDHARY, N.; RATHI, A.; VYAS, D. Fertilizing with spent mushroom compost. *Recent Trends Mushroom Biol.* 1st ed., Delhi: Global books Organization, 175-186, 2021.
- PAULA, F. S.; TATTI, E.; ABRAM, F.; WILSON, J.; O'FLAHERTY, V. Stabilization of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment. *Journal of Environmental Management*, 196, 476-486, 2017.
- PEREGRINA, F.; LARRIETA, C.; COLINA, M.; MARISCAL-SANCHO, I.; MARTÍN, I.; MARTÍNEZ-VIDAURRE, J. M.; GARCÍA-ESCUADERO, E. Spent mushroom substrates influence soil quality and nitrogen availability in a semiarid vineyard soil. *Soil Science Society of America Journal*, 76(5), 1655-1666, 2012.
- PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Evaluation of the effects of sugarcane straw coverage in moisture and water loss of soil. *Engenharia Agrícola*, 30(5), 875–886, 2010.
- PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied microbiology and biotechnology*, 96(4), 863-873, 2012.
- POEPLAU, C.; Don, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops — A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41, 2015.
- QI, Y.; ZHEN, W.; LI, H. Allelopathy of decomposed maize straw products on three soil-born diseases of wheat and the analysis by GC-MS. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(1), 88–97. [http://doi.org/10.1016/s2095-3119\(14\)60795-4](http://doi.org/10.1016/s2095-3119(14)60795-4), 2015.
- RAMAN, J.; JANG, K. Y.; OH, Y. L.; OH, M.; IM, J. H.; LAKSHMANAN, H.; SABARATNAM, V. Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14, 2021.
- RICCIARDI, V.; RAMANKUTTY, N.; MEHRABI, Z.; JARVIS, L.; CHOOKOLINGO, B. How much of the world's food do smallholders produce? *Global Food Security*, 17 (January), 64–72. <http://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.05.002>, 2018.
- RINKER, D. L. Spent Mushroom Substrate Uses. *Edible and Medicinal Mushrooms*, (August), 427–454. <http://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>, 2017.

SANCHEZ, J. E. ; ROYSE, D. J. Producción mundial de setas *Pleurotus* spp. con énfasis en países Iberoamericanos. In D. J. Royse & J. E. Sánchez (Eds.), *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas Pleurotus spp.* (pp. 17–24). Chiapas, México D. F.: ECOSUR, 2017.

SANTIAGO, F. D. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PINHEIRO, M. R. D. A. Atributos do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico e convencional no Semiárido do Rio Grande do Norte. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 13(2), 176. <http://doi.org/10.18378/rvads.v13i2.5335>, 2018.

SARAIVA, S. M. Caracterização de Luvisolos, Neossolos Regolíticos e Planossolos ao longo de um gradiente pluviométrico no Semiárido brasileiro. Universidade Federal da Paraíba, 2016.

SHINDE, R.; SHAHI, D. K.; MAHAPATRA, P.; NAIK, S. K.; THOMBARE, N.; SINGH, A. K. Potential of lignocellulose degrading microorganisms for agricultural residue decomposition in soil: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 320, p. 115843, 2022.

SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. DE; BRITO, L. T. DE L.; CORREIA, R. C. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico (Vol. 2). EMBRAPA-CPATSA/EMBRAPA-CNPS, 1993.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the Challenges. In J. M. C. da Silva, L. C. F. Barbosa, I. R. Leal, & M. Tabarelli (Eds.), *Caatinga* (1a ed., pp. 3–19). Springer International Publishing. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3\\_1](http://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_1), 2017.

SINGH, C.; PATHAK, P.; CHAUDHARY, N.; RATHI, A.; DEHARIYA, P.; VYAS, D. Mushrooms, and mushroom composts in integrated farm management. *Res J Agric Sci*, 11, 1436-1443, 2020.

SIQUEIRA, O. A. P. A.; ZANON, A. R.; MARTINS, O. G.; ANDRADE, C. N. D. New substrates for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* using exhausted compost. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 26, p. 2295-2301, 2016.

SIQUEIRA-FILHO J. A. A extinção inexorável do rio São Francisco. In: Siqueira-Filho, J. A. *Floras das caatingas do rio São Francisco*. Andrea Jajobsson Estúdio Editorial: Rio de Janeiro. 552 p., 2012.

STAVI, I.; BEL, G.; ZAADY, E. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 32. <http://doi.org/10.1007/s13593-016-0368-8>, 2016.

TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L.; LOGSDON, S.; CHERUBIN, M. R. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil and Tillage Research*, 166, 122–130. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.015>, 2017.

VIRIATO, V.; MÄKELÄ, M. R.; KOWALCZYK, J. E.; BALLARIN, C. S.; LOIOLA, P. P.; ANDRADE, M. C. Organic residues from agricultural and forest companies in Brazil as useful substrates for cultivation of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Letters in Applied Microbiology*, v. 74, n. 1, p. 44-52, 2022.

WANG, F.; XU, L.; ZHAO, L.; DING, Z.; MA, H.; TERRY, N. Fungal Laccase Production from Lignocellulosic Agricultural Wastes by Solid-State Fermentation: A Review. *Microorganisms*. 9;7(12):665. doi: 10.3390/microorganisms7120665, 2019.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R. Producción y desarrollo de cuatro aislamientos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) cultivados en restos de cosecha. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; SANTOS, M. N.; CABALLERO, E. N. M.; MARTINS, O. G.; HERRERA, Á. A. P. Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-10, <http://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03720-z>, 2020.

ZHANG, J.; MENG, G.; ZHAI, G.; YANG, Y.; ZHAO, H.; JIA, L. Extraction, characterization, and antioxidant activity of polysaccharides of spent mushroom compost of *Ganoderma lucidum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 432–439. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.016>, 2016.

## CAPÍTULO II

---

ENRIQUECIMENTO MINERAL DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS *IN NATURA* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO NO CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)

## ENRIQUECIMENTO MINERAL DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS *IN NATURA* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO NO CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.).

### RESUMO

Os resíduos agronômicos *in natura* podem ser considerados um novo recurso produtivo para o cultivo de cogumelos comestíveis, uma vez que além de fornecer um alimento nutritivo e favorecer a agricultura familiar regional, retorna ao meio ambiente um subproduto mais lábil e enriquecido com enzimas e nutrientes decorrentes da atividade micelial do fungo. De acordo com isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o enriquecimento em nutrientes de diferentes resíduos agronômicos de maior importância agrícola da Paraíba por meio do cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus*. No experimento foram utilizados 6 substratos lignocelulósicos: bagaço de cana, brotos de abacaxi, folhas de bananeira, casca de arroz, fibra de coco e restolho de milho, os quais foram umedecidos, esterilizados e inoculados com a cepa PO/A02 de *P. ostreatus* a 5% de taxa de inoculação. O material inoculado foi ensacado, mantidos em incubação em condições controladas de umidade e temperatura e induzidos para obtenção de colheitas até completar 45 dias de fermentação em estado sólido, independentemente do número de colheitas obtidas por substrato. Dos resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivos de cogumelos e resíduos agronômicos *in natura* foram analisadas a composição lignocelulósica (lignina, hemicelulose e celulose), teores de matéria orgânica, cinzas, carbono e nitrogênio, potássio, sódio assim como a densidade, pH e condutividade elétrica. A partir dessas análises foi determinada a variação percentual da composição química dos substratos antes e depois do cultivo. O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado com 6 tratamentos com 10 repetições. A unidade experimental foi um pacote de cultivo com capacidade de  $1,25 \pm 0,12$  L de um substrato inoculado com o fungo. Dos resultados foram verificados os supostos de normalidade e homoscedasticidade ao 5% de significância ( $P \geq 0,05$ ), quando aceitos foi realizada a ANOVA e se significativos as médias foram comparadas com o teste de Scott-Knott ao 5% de nível de significância ( $P < 0,05$ ). Verificamos que em todos os substratos houve ganho relativo no teor de nitrogênio, sem diferenças significativas para as folhas de bananeira (22,17%), brotos de abacaxi (21,76%), restolho de milho (42,58%) e casca de arroz (6,37%), mas foram a fibra de coco (132,45%) e o bagaço de cana (94,97%) que apresentaram os maiores ganhos significativos com diferenças estatísticas entre si. Todos os substratos, com exceção da casca de arroz, reduziram a sua relação C/N em pelo menos 22%, sendo o nitrogênio o único elemento que mostrou alta correlação negativa e significativa com ela ( $r = -0,77$ ,  $P < 0,05$ ). Observamos correlações negativas e significativas dos teores de lignina e celulose, na faixa de -40% e -70%, com os teores de nitrogênio, fósforo e potássio de modo que inferimos parcialmente que a decorrência da degradação dos compostos lignocelulósicos podem ter contribuído com o enriquecimento mineral do substrato pós-cultivo. Concluímos que os resíduos agronômicos quando biodegradados por fermentação em estado sólido durante o cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* reduzem a relação C/N e aumentam os teores de nitrogênio, potássio e fósforo tornando-os mais lábeis e enriquecidos com potencial uso agrícola para enriquecimento de solos.

**Palavras-chave:** substrato pós-cultivo de cogumelos; metabolismo enzimático; reciclagem de resíduos.

## MINERAL ENRICHMENT OF *IN NATURA* AGRONOMIC WASTES BY SOLID STATE FERMENTATION IN THE CULTIVATION OF *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)

### ABSTRACT

Agronomic wastes can be considered a new productive resource for the cultivation of edible mushrooms, since in addition to providing nutritious food and favoring regional family farming, it returns to the environment a more labile by-product, enriched with enzymes and nutrients resulting from it of the mycelial activity of the fungus. Accordingly, the present work aims to evaluate the nutrient enrichment of different agronomic residues of greater agricultural importance in Paraiba through the *Pleurotus ostreatus* cultivation. Six lignocellulosic substrates were used in the experiment: sugarcane bagasse, pineapple shoots, banana leaves, rice husk, coconut fiber and corn stubble, which were moistened, sterilized, and inoculated with the PO/A02 strain of *P. ostreatus* at 5% inoculation rate. The inoculated material was bagged, kept in incubation in environment with temperature and humidity control and induced to obtain mushrooms until completing 45 days of solid-state fermentation, regardless of the number of crops obtained per substrate. The lignocellulosic composition (lignin, hemicellulose, and cellulose), organic matter, ash, carbon and nitrogen, potassium, sodium as well as density, pH, and electrical conductivity. From these analyses, the percentage variation in the chemical composition of the substrates before and after cultivation was determined. The experiment was carried out under a completely randomized design with 6 treatments with 10 replications. The experimental unit was a culture pack with a capacity of  $1.25 \pm 0.12$  L of a substrate inoculated with the fungus. From the results, the assumptions of normality and homoscedasticity were verified at 5% of significance ( $P \geq 0.05$ ), when accepted, ANOVA was performed and, if significant, the means were compared with the Scott-Knott test at 5% of significance level ( $P < 0.05$ ). We verified that in all substrates there was a relative gain in nitrogen content, with no significant differences for banana leaves (22.17%), pineapple shoots (21.76%), corn stubble (42.58%) and rice husk (6.37%), but it was coconut fiber (132.45%) and sugarcane bagasse (94.97%) that showed the greatest significant gains with statistical differences between them. All substrates, except for rice husk, reduced their C/N ratio by at least 22%, with nitrogen being the only element that showed a high and significant negative correlation with it ( $r = -0.77$ ,  $P < 0.05$ ). We observed negative and significant correlations between the lignin and cellulose contents, in the range of -40% and -70%, with the nitrogen, phosphorus and potassium contents, so that we partially infer that the degradation of lignocellulosic compounds may have contributed to the mineral enrichment of the post-cultivation substrate. We conclude that agronomic wastes, when biodegraded by solid-state fermentation during *P. ostreatus* mushroom cultivation, reduce the C/N ratio and increase the nitrogen, potassium, and phosphorus contents, making them more labile and enriched with agricultural potential use for soil fertilization.

**Keywords:** spent mushroom substrate; enzymatic metabolism; waste recycling.

## 1. INTRODUÇÃO

O substrato pós-cultivo de cogumelos é um subproduto obtido da biodegradação enzimática micelial de substratos lignocelulósicos para o desenvolvimento de corpos de frutificação durante um ciclo produtivo completo no cultivo de cogumelos comestíveis (ZHANG et al., 2016; FANG et al., 2017). Este biomaterial é conhecido na literatura científica como SMS, do inglês *Spent Mushroom Substrate* (RINKER, 2017).

A composição do SMS varia de acordo com o tipo de insumos utilizados na formulação do substrato de cultivo de uma determinada espécie de cogumelo assim como do seu sistema produtivo (artesanal ou industrial). Em geral, o SMS pode estar constituído de uma mistura pasteurizada de resíduos agrônômicos vegetais (palhas, cascas etc.) com adição, ou não, de esterco de aves, nitrato de amônio, ureia e minerais como gesso e/ou carbonato de cálcio (PEREGRINNA et al., 2012; LUO et al., 2018). No mundo, estima-se que a produção de cogumelos frescos em relação ao SMS, expressado em quilogramas, apresenta uma relação de 1:5 (HANAFI et al., 2018; MA et al., 2014) cuja produção anual do SMS pode chegar a variar entre 170 e 204 bilhões de kg (CARRASCO et al., 2018) tornando-se assim em um desafio significativo em relação a sua gestão e aproveitamento.

Nos últimos anos tem se estudado as suas diversas aplicações do SMS como substituto de fertilizantes e adubos (OWAID et al., 2017); substrato para o cultivo de outros cogumelos (NOONSONG et al., 2016); compostagem (CARRASCO et al., 2018); alimento para animais e lavouras associadas com plantas (FAZAELI et al., 2014; JASIŃSKA et al., 2016); minhocultura (IZYAN et al., 2009); micofiltração (MNKANDLA et al., 2021); biossorvente de metais pesados e remoção de pesticidas (HERRERO-HERNÁNDEZ et al., 2011; ÁLVAREZ-MARTÍN et al., 2017); recuperação de enzimas hidrolíticas (CORRÊA et al., 2016); e produção de biocombustíveis e biogás (FANG et al., 2017; HANAFI et al., 2018).

De acordo com Phan e Sabaratnam (2012), muitos artigos científicos não fornecem referência específicas do substrato pós-cultivo, nem especificam o manejo pós-colheita ou a idade do material ou o tempo de armazenamento ou as descrições físicas e químicas. Assim, a falta de informação e padronização da composição química dos substratos pós-cultivo de cogumelos torna-se um desafio para o planejamento da gestão deste resíduo. Situação tal que poderia ser resolvida parcial ou totalmente dentro de um sistema de economia circular (*zero waste*) (GRIMM; WÖSTEN, 2018) com a escolha de uma espécie de fácil adaptação, de baixo

investimento e de ampla importância mundial como é o cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* (SANCHEZ; ROYSE, 2017), a qual é contemplada como uma alternativa viável na gestão de resíduos agrônômicos e até urbanos (Ex.: borra de café) em países em desenvolvimento (CARVALHO et al., 2012; ALANANBEH et al., 2014; CARRASCO-CABRERA et al., 2019; ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020), retornando um substrato potencialmente mais rico ao final do cultivo quando comparado ao substrato *in natura*.

Perante esse cenário, considerando que existe evidência sobre os benefícios de aplicação dos substratos pós-cultivo de cogumelos no solo devido as suas propriedades intrínsecas relacionadas ao aumento do seu teor de nitrogênio, seja com ou sem associação de bactérias (ORTEGA et al., 1992; JAYASINGHEARACHCHI; SENEVIRATNE, 2004) ou oriundas do aporte enzimático fúngico sob os substratos *in natura* que provocam a redução da relação C/N. Este trabalho tem como objetivo analisar e quantificar a variação percentual ou enriquecimento químico de resíduos agrônômicos das lavouras mais importantes da Paraíba, transformados em substratos pós-cultivo de cogumelos como potencial condicionador químico e físico do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi desenvolvido no módulo de produção do Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) no Departamento de Solos e Engenharia Rural, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de Areia-PB, sob coordenadas geográficas 6°58'22.80" de latitude sul e 35°42'52.26" de longitude oeste e altitude de 618 m.

### **2.2 MATERIAL BIOLÓGICO**

A cepa da espécie *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) utilizada foi a linhagem PO/A02 (Tabela 2) (ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020), propagada e conservada pelo Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) da UFPB, Campus II.

**Tabela 3** – Características biológicas da cepa PO/A02 de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) cultivado em restolho de milho e palha de arroz sem suplementos.

Característica da linhagem PO/A02	<sup>1</sup> Valor
Crescimento micelial em substrato (cm dia <sup>-1</sup> )	1,22 ± 0,03
Eficiência biológica (%)	75,66 ± 4,04
Perda de matéria orgânica do substrato (%)	36,47 ± 0,99

Fonte: Adaptado de Zárate-Salazar et al. (2020). <sup>1</sup>Média ± SE, *n* = 8.

### 2.3 PREPARAÇÃO DE SPAWN

Os Spawn (inóculos) foram preparados seguindo a metodologia de Moreaux (2017) e Zárate-Salazar et al. (2020) com algumas modificações. Em câmara de fluxo foram transferidos 5 discos de 1 cm<sup>2</sup> de batata-dextrose-ágar (BDA) com micélio de *P. ostreatus* para grãos de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) previamente cozidos durante 20 minutos, esfriados a temperatura ambiente, misturados com 3 g de calcário e 13 g de gesso agrícola por quilograma do grão cozido, respectivamente, e esterilizados em autoclave a 121° C e 101,32 kPa por 30 minutos. Os inóculos foram incubados no escuro por duas semanas no módulo do GPEC a 23,50 ± 3,11 °C e 85,74 ± 4,36 %UR.

### 2.4 PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS AGRONÔMICOS

Os resíduos agronômicos *in natura* também denominados como substratos lignocelulósicos foram selecionados considerando as principais lavouras do estado da Paraíba e do Brasil como folhas de bananeira, bagaço de cana-de-açúcar e restolho de milho coletados em Areia, PB; casca de coco obtido em João Pessoa, PB; brotos de abacaxi coletado no município de Sapê, PB e casca de arroz oriundo de Recife, PE. Todos os substratos foram secos a temperatura ambiente em casa de vegetação e triturados, com exceção da casca de arroz, a um tamanho de partícula de 3 a 5 cm e armazenados em sacos de pano. Os substratos foram umedecidos, em média, a 66,70 ± 5,21% de umidade por imersão em água e drenagem por 12 horas e 24 horas, respectivamente. Logo, foram autoclavados a 121°C e 101,32 kPa por 60 minutos. Na preparação do substrato não se adicionou nenhum tipo de suplemento.

## 2.5 CULTIVO DE COGUMELOS DE *P. ostreatus*

O cultivo de cogumelos seguiu os procedimentos de Estrada e Pecchia (2017) com algumas modificações. Este processo iniciou com a inoculação do substrato esterilizado. Em uma superfície limpa com água sanitária com concentração de cloro ativo entre 2,0 e 2,5%, os substratos esterilizados foram espalhados e inoculados a 5% de taxa de inoculação por meio da mistura em massa completa do Spawn de *P. ostreatus* e o substrato úmido (ALBERTÓ, 2008; ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020).

Após inoculação, os substratos foram ensacados em pacotes de cultivo padronizados ao mesmo volume de  $1,25 \pm 0,12$  L de substrato em sacolas de polipropileno  $15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ , incubados em escuridão total a  $22,63 \pm 2,02^\circ\text{C}$  e  $88,22 \pm 5,99$  % UR durante  $17,16 \pm 2,31$  dias, logo os pacotes foram abertos parcialmente na parte superior e foram colocados em sala de indução-frutificação a  $24,54 \pm 0,37^\circ\text{C}$  e  $99,48 \pm 0,15$  % UR com 8 horas de renovação de ar,  $2 \text{ L dia}^{-1}$  de água para manter umedecimento a sala de cultivo.

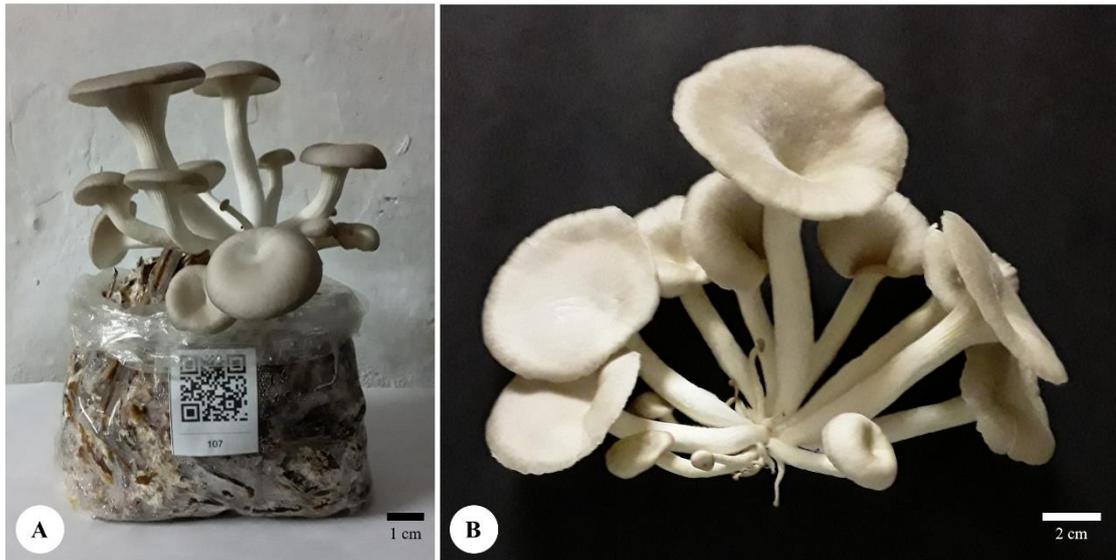
O cultivo de cogumelos terminou após 45 dias de fermentação em estado sólido considerando o tempo desde a inoculação, independentemente do número de colheitas no substrato cultivado (Tabela 4). A colheita foi pesada e registrada fotograficamente (Figura 13). Em todo este período não se registrou nenhum tipo de contaminação nos pacotes de cultivo.

**Tabela 4** – Massa seca do substrato, massa fresca dos cogumelos e eficiência biológica de *P. ostreatus* cultivados em seis substratos *in natura* durante 45 dias por fermentação em estado sólido.

Substrato <i>in natura</i>	<sup>1</sup> Massa seca do substrato (g)	<sup>2</sup> Dias de incubação	<sup>3</sup> Massa fresca de cogumelos (g)	<sup>4</sup> Eficiência biológica (%)
Bagaço de cana	830	16	102	12,29
Brotos de abacaxi	978	14	509	52,04
Casca de arroz	702	19	62	8,83
Fibra de coco	701	20	18	2,56
Folhas de banana	1.040	15	633	60,86
Restolho de milho	897	18	30	3,34

<sup>1</sup>Massa seca total umedecida a  $66,70 \pm 5,21$ % de umidade por imersão em água durante 12 h e 24 h de drenagem, logo autoclavada a  $121^\circ \text{C}$  e  $101,32 \text{ kPa}$  por 60 minutos e depois de inoculada foi distribuída em 10 pacotes de cultivo de 1,25 L; <sup>2</sup>Período contabilizado desde a inoculação até a primeira indução (abertura das sacolas); <sup>3</sup>Determinado pela soma das massas de cogumelos frescos colhidos em todos os pacotes de cultivo; <sup>4</sup>Eficiência biológica é o valor percentual (%), m/m) da relação da massa de cogumelos frescos e a massa seca do substrato dos pacotes de cultivo.

**Figura 13:** Cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* em substrato à base de brotos de abacaxi. (A) Etapa de frutificação e (B) Etapa de colheita.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

## 2.6 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

Os substratos pós-cultivo de cogumelos comestíveis (SMS) (Figura 14) foram retirados da sala de frutificação e secos a temperatura ambiente em casa de vegetação por 3 dias, depois secos em estufa a 65°C até peso constante, triturados em moinho de 1,19 mm de abertura da malha (16 Mesh) e armazenados em sacolas plásticas vedadas para posterior análises químicas. Nesta fase, amostras dos substratos *in natura* foram processadas seguindo a mesma metodologia de secagem, trituração e armazenamento, descrita anteriormente.

**Figura 14:** Substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) depois de 45 dias de fermentação em estado sólido. (A) SMS de brotos de abacaxi e (B) SMS de folhas de bananeira.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

## 2.7 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS

Os substratos lignocelulósicos, *in natura* e SMS foram caracterizados quimicamente analisando os teores de carbono orgânico (SNYDER et al., 1984), nitrogênio orgânico (THOMAS et al., 1967), teor de potássio, teor de sódio, teor de fósforo, teor de cinzas (Embrapa, 2019) e compostos lignocelulósicos por médio da determinação da Fibra Detergente Ácida (FDA) e Fibra Detergente Neutra (FDN) e lignina (VAN SOEST, 1963). Os teores de hemiceluloses e celulose foram determinados pelas diferenças entre FDN e FDA, e entre FDA e lignina, respectivamente. De forma complementar, foram determinadas a densidade, pH em água e CE dos substratos (EMBRAPA, 2019).

Com as características químicas, de acordo com Don et al. (2013), foi determinada a variação percentual da composição química e física ( $\Delta$ ) dos substratos pós-cultivo em relação ao resíduo agrônômico *in natura*.

$$\Delta (\%) = \frac{(V_1 - V_0) \times 100}{V_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,  $\Delta$  (%) = variação percentual,  $V_0$  = valor da variável analisada no resíduo agrônômico *in natura* e  $V_1$  = valor da variável analisada no substrato pós-cultivo de cogumelos após 45 dias de fermentação em estado sólido.

## 2.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado considerando 6 tratamentos (bagaço de cana, brotos de abacaxi, casca de arroz, fibra de coco, folhas de bananeira e restolho de milho) com 10 repetições, totalizando 60 unidades experimentais, onde uma unidade experimental foi um pacote de cultivo (saco de polipropileno 15 cm × 20 cm) contendo  $1,25 \pm 0,12$  L de um tipo de substrato *in natura* inoculado com o fungo *P. ostreatus*.

## 2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICAS

Os dados químicos dos substratos, *in natura* e SMS, foram organizados de acordo com Broman e Woo (2018) e analisados seguindo os protocolos de diagnóstico Zuur et al. (2010) e Zuur e Leno (2016). Dos resultados foram verificados os supostos de distribuição normal e homogeneidade das variâncias de resíduos de acordo aos testes de Shapiro-Wilk e teste de Bartlett ao 5% de significância ( $P \geq 0,05$ ), respectivamente. Cumprindo esses critérios, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) e, quando significativos ( $P < 0,05$ ), as médias dos tratamentos foram analisadas por meio do teste de Scott-Knott ao 5% de nível de significância ( $P < 0,05$ ). De forma complementar, foi realizada uma análise fatorial para componentes principais e correlação de Pearson ( $P < 0,05$ ). As análises foram executadas no ambiente estatístico do software R versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2022) empregando os pacotes *agricolae* (MENDIBURU, 2021), *factoextra* (KASSAMBARA; MUNDT, 2020) e *FactorMineR* (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2020).

## 3. RESULTADOS

As características químicas dos substratos *in natura* e SMS de *P. ostreatus* após 45 dias de fermentação em estado sólido foram quantificadas (Tabela 5), onde descritivamente se observa, com exceção da casca de arroz, uma redução dos teores de carbono e aumento nos teores de nitrogênio, efeito este que provocou que na fibra de coco e no bagaço de cana mostrem uma redução de quase 3 e 2 vezes a sua relação C/N, respectivamente. Os substratos pós-cultivo (SMS) aumentaram os teores de sódio e potássio, como se observa nos substratos de brotos de abacaxi e fibra de coco que aumentaram em 1,5 e 2,3 vezes o teor desses elementos, respectivamente.

**Tabela 5** – Caracterização química descritiva dos resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos de *P. ostreatus*.

Substrato lignocelulósico	Condição	CO	N	C/N	Na	K	P	MO	Cz
		— mg g <sup>-1</sup> MS —			mg g <sup>-1</sup> MS				
Folhas de bananeira	<i>In natura</i>	380,41 ± 14,16	10,89 ± 0,45	35,04 ± 1,35	1,52 ± 0,07	6,98 ± 0,23	1,14 ± 0,06	925,87 ± 1,46	74,13 ± 1,46
	Pós-cultivo	321,18 ± 19,33	13,31 ± 0,98	24,83 ± 3,22	1,77 ± 0,08	9,21 ± 0,50	0,79 ± 0,04	891,16 ± 2,71	108,84 ± 2,71
Fibra de coco	<i>In natura</i>	389,89 ± 9,59	1,88 ± 0,07	208,68 ± 11,66	1,20 ± 0,09	2,20 ± 0,16	0,28 ± 0,00	987,62 ± 0,43	12,38 ± 0,43
	Pós-cultivo	314,34 ± 11,25	4,38 ± 0,29	72,69 ± 6,84	2,77 ± 0,46	3,11 ± 0,17	0,61 ± 0,02	976,29 ± 1,24	23,71 ± 1,24
Restolho de milho	<i>In natura</i>	353,64 ± 14,72	11,28 ± 0,48	31,52 ± 1,53	1,55 ± 0,12	4,75 ± 0,13	2,14 ± 0,04	939,03 ± 1,37	60,97 ± 1,37
	Pós-cultivo	331,05 ± 21,71	16,08 ± 0,68	20,63 ± 1,41	1,68 ± 0,06	10,45 ± 0,60	2,30 ± 0,06	904,13 ± 1,88	95,87 ± 1,88
Brotos de abacaxi	<i>In natura</i>	374,11 ± 8,47	7,21 ± 0,38	52,53 ± 3,15	1,38 ± 0,06	14,43 ± 0,57	0,61 ± 0,03	955,82 ± 1,41	44,18 ± 1,41
	Pós-cultivo	354,61 ± 25,95	8,78 ± 0,41	40,87 ± 4,01	1,41 ± 0,16	22,83 ± 0,59	1,79 ± 0,08	912,92 ± 6,06	87,08 ± 6,06
Casca de arroz	<i>In natura</i>	253,24 ± 7,64	4,01 ± 0,18	63,26 ± 1,99	0,99 ± 0,11	0,12 ± 0,00	0,80 ± 0,00	913,05 ± 0,68	86,95 ± 0,68
	Pós-cultivo	361,68 ± 19,92	4,27 ± 0,32	85,32 ± 5,42	0,79 ± 0,11	0,43 ± 0,00	0,49 ± 0,00	898,63 ± 9,78	101,37 ± 9,78
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	386,95 ± 13,09	2,48 ± 0,16	159,27 ± 14,22	0,99 ± 0,07	0,43 ± 0,00	0,49 ± 0,01	980,35 ± 0,27	19,65 ± 0,27
	Pós-cultivo	378,69 ± 15,88	4,84 ± 0,22	78,42 ± 2,70	1,52 ± 0,14	1,15 ± 0,07	0,30 ± 0,01	959,44 ± 2,09	40,56 ± 2,09

*In natura* = resíduo agronômico *in natura*; Pós-cultivo = substrato pós-cultivo de cogumelos; CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio orgânico; C/N = relação carbono e nitrogênio; Na = teor de sódio; K = teor de potássio; P = teor de fósforo; MO = teor de matéria orgânica; Cz = teor de cinzas. Média ± SE, n = 5.

**Tabela 5** – Continuação.

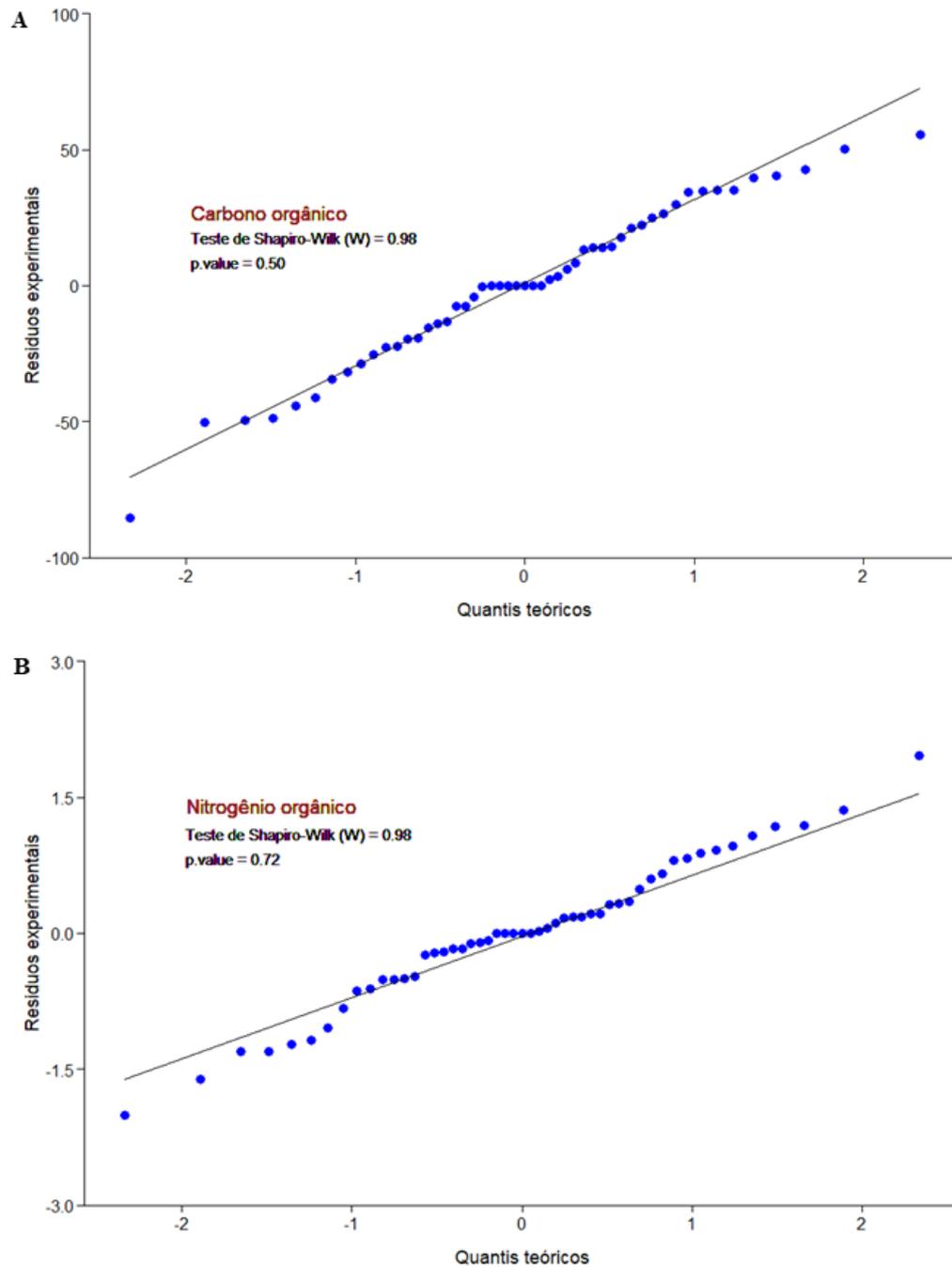
Substrato Lignocelulósico	Condição	Cel	Hem	Lig	MS	Um	pH	CE	$\rho$
		mg g <sup>-1</sup> MS			%			(dS m <sup>-1</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )
Folhas de bananeira	<i>In natura</i>	299,57 ± 6,98	256,03 ± 5,28	137,91 ± 4,04	91,69 ± 0,22	8,31 ± 0,22	6,23 ± 0,00	0,186 ± 0,005	0,212 ± 0,003
	Pós-cultivo	212,32 ± 7,60	167,85 ± 6,20	29,75 ± 0,81	93,68 ± 0,11	6,32 ± 0,11	5,46 ± 0,02	0,407 ± 0,008	0,270 ± 0,010
Fibra de coco	<i>In natura</i>	449,77 ± 12,13	123,49 ± 4,87	309,05 ± 7,46	91,91 ± 0,12	8,09 ± 0,12	6,20 ± 0,00	0,098 ± 0,002	0,188 ± 0,004
	Pós-cultivo	429,93 ± 7,49	96,68 ± 6,23	281,46 ± 12,12	92,43 ± 0,19	7,57 ± 0,19	5,60 ± 0,01	0,174 ± 0,003	0,291 ± 0,006
Restolho de milho	<i>In natura</i>	385,13 ± 2,94	304,72 ± 3,73	71,86 ± 4,54	91,25 ± 0,21	8,75 ± 0,21	6,90 ± 0,00	0,138 ± 0,006	0,132 ± 0,004
	Pós-cultivo	325,95 ± 11,70	174,38 ± 2,72	47,82 ± 2,12	91,71 ± 0,20	8,29 ± 0,20	5,58 ± 0,04	0,274 ± 0,015	0,161 ± 0,004
Brotos de abacaxi	<i>In natura</i>	344,36 ± 15,60	321,86 ± 6,67	51,79 ± 2,45	90,23 ± 0,26	9,77 ± 0,26	6,80 ± 0,01	0,390 ± 0,018	0,180 ± 0,004
	Pós-cultivo	289,77 ± 3,41	177,71 ± 5,38	44,24 ± 1,66	92,32 ± 0,12	7,68 ± 0,12	5,92 ± 0,02	0,271 ± 0,006	0,200 ± 0,011
Casca de arroz	<i>In natura</i>	389,89 ± 5,29	184,91 ± 9,07	176,88 ± 0,89	91,66 ± 0,32	8,34 ± 0,32	5,81 ± 0,00	0,076 ± 0,003	0,325 ± 0,007
	Pós-cultivo	401,95 ± 9,65	133,43 ± 2,17	149,53 ± 1,96	93,29 ± 0,06	6,71 ± 0,06	5,16 ± 0,02	0,137 ± 0,004	0,246 ± 0,010
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	477,12 ± 0,74	256,78 ± 6,94	107,76 ± 3,25	93,73 ± 1,18	6,27 ± 1,18	5,53 ± 0,03	0,081 ± 0,002	0,126 ± 0,004
	Pós-cultivo	450,65 ± 5,22	181,03 ± 6,37	88,91 ± 2,62	93,99 ± 0,96	6,01 ± 0,96	4,60 ± 0,02	0,128 ± 0,005	0,177 ± 0,007

*In natura* = resíduo agrônômico *in natura*; Pós-cultivo = substrato pós-cultivo de cogumelos; Cel = teor de celulose; Hem = teor de hemicelulose; Lig = teor de lignina; MS = matéria seca; Um = umidade higrométrica; pH = potencial hidrogeniônico, relação água: substrato 20:1 v/m; CE = condutividade elétrica, relação água: substrato 20:1 v/m;  $\rho$  = densidade do substrato. Média ± SE,  $n = 5$ .

Para os teores de fósforo e teores de cinzas, em todos os substratos observou-se aumentos quantitativos (Tabela 5), a exceção de folhas de bananeira e casca de arroz, em que os valores para ambas as variáveis foram reduzidos no SMS. Em relação à composição lignocelulósica dos teores de celulose, hemicelulose e lignina, com exceção na casca de arroz, houve uma marcante redução quantitativa, isto foi notado nas folhas de bananeiras que, por efeito biodegradativo do fungo, reduziu em até 5 vezes seu teor de lignina. Todos os substratos, sem exceção, se tornaram mais ácidos com valores de pH abaixo de 6, chegando até valores mínimos de 4,6 como foi observado no bagaço de cana. Por outro lado, os substratos aumentaram a sua condutividade elétrica, mas sempre por abaixo de  $1 \text{ dS m}^{-1}$ , ou seja, agronomicamente um valor não prejudicial para as plantas, podendo ser incorporado ao solo sem salinizá-lo. Foi notado também um aumento na densidade dos substratos, isto é, observamos um aumento quantitativo na relação da massa e do volume específico dos substratos, no entanto, excepcionalmente na casca de arroz esse efeito não foi observado.

O pressuposto de distribuição normal dos resíduos experimentais dos teores de carbono e nitrogênio orgânico dos substratos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos foram verificados (Figura 15). Em ambas as variáveis, encontramos suficiente evidência estatística ( $P \geq 0,05$ ) para não rejeitar a hipótese nula onde variação experimental (resíduos experimentais) apresentam distribuição normal. Confirmar este pressuposto estatístico nos permitiu, além de identificar *outliers*, prosseguir com as análises exploratórias fatoriais de componentes principais, as análises de correlação de Pearson e os cálculos da variação percentual da composição química dos substratos.

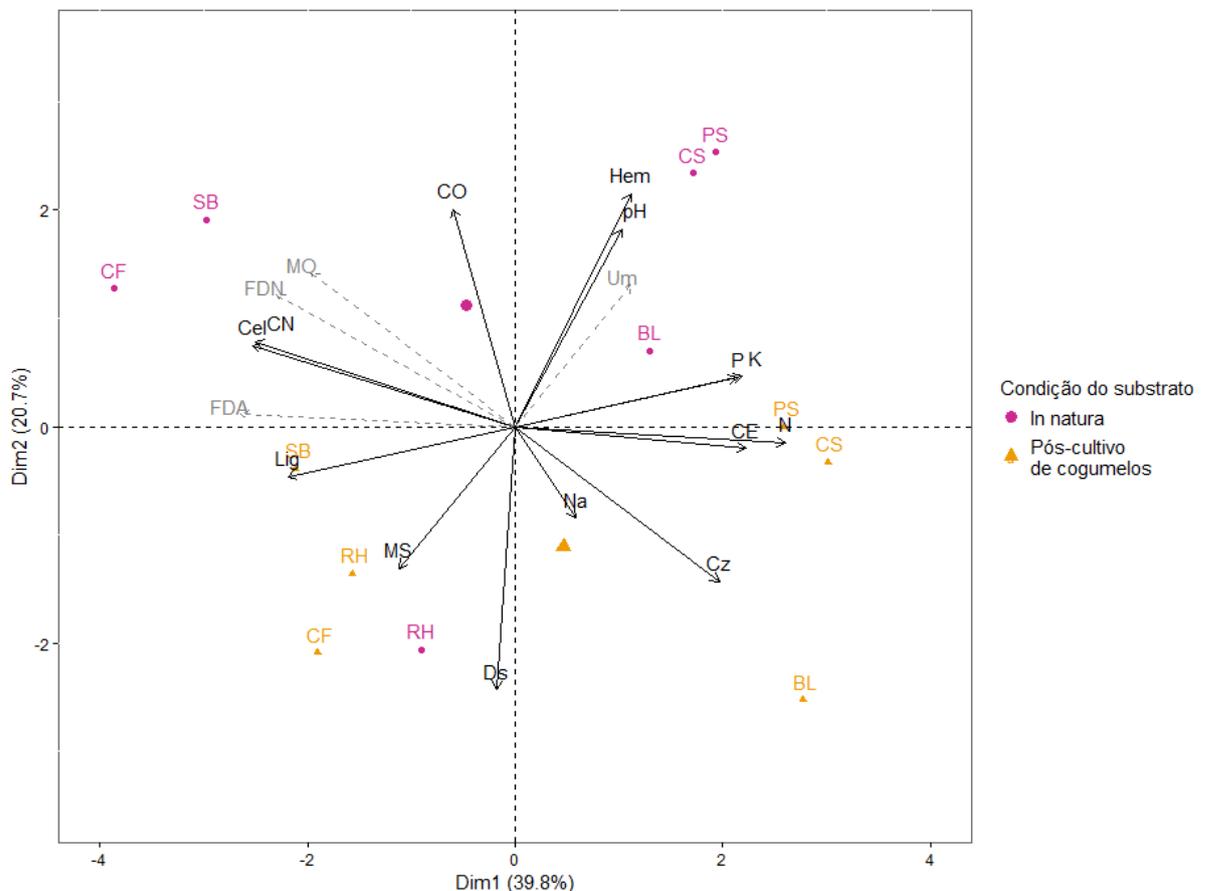
**Figura 15:** Distribuição normal dos resíduos experimentais dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B) quantificados nos substratos lignocelulósicos. Se,  $P \geq 0,05$ , os resíduos experimentais apresentam distribuição normal.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

A análise fatorial para componentes principais (ACP) (Figura 16) revelou que aproximadamente 60,5% da variação encontrada no presente estudo pode ser explicada pelas características químicas dos substratos lignocelulósicos antes (*in natura*) e depois do cultivo de cogumelos (SMS). De forma geral, observamos que a primeira dimensão (linha média vertical) agrupou aos substratos de acordo à menor (direita) e maior (esquerda) composição lignocelulósica, enquanto à segunda dimensão (linha média horizontal) os discriminou em função da condição do substrato, *in natura* (acima) e pós-cultivo (abaixo), com exceção da casca de arroz.

**Figura 16:** Análise fatorial para componentes principais das características química dos substratos *in natura* (antes do cultivo) e o substrato pós-cultivo de cogumelos após 45 dias de fermentação em estado sólido. PS = brotos de abacaxi; CS = restolho de milho; BL = folhas de bananeira; SB = bagaço de cana; CF = fibra de coco; RH = casca de arroz. CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio orgânico; CN = relação carbono e nitrogênio; Na = teor de sódio; K = teor de potássio; P = teor de fósforo; MO = teor de matéria orgânica; Cz = teor de cinzas. Cel = teor de celulose; Hem = teor de hemicelulose; Lig = teor de lignina; MS = matéria seca; Um = umidade higrométrica; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida; pH = potencial hidrogeniônico ( $-\log_{10}[\text{H}^+]$ ); CE = condutividade elétrica; Ds = densidade do substrato.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

De acordo com a ACP, os substratos de folhas de bananeira, brotos de abacaxi e restolho de milho apresentaram semelhanças fatoriais em relação com a maior concentração dos teores de nitrogênio, potássio, fósforo e cinzas assim como condutividade elétrica e valores de pH em água. Por outro lado, observamos que os substratos de fibra de coco e bagaço de cana apresentaram semelhanças fatoriais associadas à maior concentração dos teores de celulose, hemicelulose, lignina e relação C/N. No que se refere à condição dos substratos, os resíduos agronômicos *in natura* apresentaram maior relação fatorial com o teor de carbono, teor de hemicelulose, relação C/N e pH em água. Logo, os substratos pós-cultivo de cogumelos mostraram maior relação fatorial entre os teores de nitrogênio, potássio e fósforo. Nesse sentido, a interação do tipo de substrato e a condição dele, antes (*in natura*) e depois (SMS) do cultivo, evidência uma tendência relativa no aumento de nutrientes importantes, os quais são oriundos do processo biodegradativo micelial do fungo durante o cultivo de cogumelos.

Da análise de correlação de Pearson (Tabela 6) se revisaram as correlações mais significativas ( $P < 0,05$ ) sendo interpretadas de acordo com a classificação de Mukaka (2012), com isso observamos uma correlação negativa moderada ( $r = -0,56$ ) entre o teor de carbono orgânico com a densidade, e correlações baixas menores do que 40% em relação ao teor de cinzas ( $r = -0,36$ ) e relação C/N ( $r = 0,38$ ). O teor de nitrogênio mostrou correlação alta negativa com a relação C/N ( $r = -0,79$ ) e o teor de matéria orgânica ( $r = -0,71$ ), correlação moderada negativa com o teor de celulose ( $r = -0,70$ ) e teor de lignina ( $r = -0,62$ ) e correlação alta positiva com o teor de fósforo ( $r = 0,75$ ). Entre outras correlações interessantes para fins da pesquisa, se observou que o teor de celulose apresentou correlação moderada negativa com o teor de cinza ( $r = -0,62$ ) e o teor de potássio ( $r = -0,67$ ). O teor de hemicelulose mostrou correlação moderada negativa com a densidade do substrato ( $r = -0,53$ ) e correlação moderada positiva com o pH ( $r = 0,60$ ). O teor de lignina, coincidentemente, apresentou correlação moderada de 53%, negativa com o teor de potássio e positiva com os teores de celulose e hemicelulose, respectivamente.

**Tabela 6** – Correlação de Pearson da composição química e física dos resíduos agrônômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos.

	$\rho$	pH	CE	CO	N	C/N	Cz	MO	Na	K	P	Cel	Hem
pH	-0,23n.s.												
CE	0,15n.s.	0,22n.s.											
CO	-0,56***	0,06n.s.	-0,08n.s.										
N	-0,05n.s.	0,24n.s.	0,59***	-0,18n.s.									
C/N	-0,21n.s.	-0,12n.s.	-0,56***	0,38**	-0,79***								
Cz	0,40**	-0,09n.s.	0,45***	-0,36**	0,67***	-0,71***							
MO	-0,40**	0,09n.s.	-0,45***	0,36**	-0,67***	0,71***	-1,00***						
Na	0,21n.s.	0,00n.s.	0,26n.s.	-0,23n.s.	0,30*	-0,34*	-0,03n.s.	0,03n.s.					
K	-0,05n.s.	0,34*	0,72***	-0,01n.s.	0,49***	-0,48***	0,39**	-0,39**	0,15n.s.				
P	-0,24n.s.	0,41**	0,20n.s.	-0,19n.s.	0,75***	-0,61***	0,50***	-0,50***	0,18n.s.	0,50***			
Cel	-0,33*	-0,22n.s.	-0,78***	0,20n.s.	-0,77***	0,70***	-0,77***	0,77***	-0,19n.s.	-0,67***	-0,45***		
Hem	-0,53***	0,60***	0,20n.s.	0,23n.s.	0,27n.s.	-0,30*	-0,06n.s.	0,06n.s.	-0,19n.s.	0,18n.s.	0,28*	-0,12n.s.	
Lig	0,29*	-0,01n.s.	-0,57***	0,02n.s.	-0,62***	0,66***	-0,54***	0,54***	0,04n.s.	-0,53***	-0,47***	0,53***	-0,53***

$\rho$  = densidade do substrato ( $\text{g cm}^{-3}$ ); pH = potencial hidrogeniônico ( $-\log_{10}[\text{H}^+]$ ); CE = condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ); CO = teor de carbono ( $\text{mg g}^{-1}$ ); N = teor de nitrogênio ( $\text{mg g}^{-1}$ ); C/N = relação carbono-nitrogênio; Cz = teor de cinzas ( $\text{dag kg}^{-1}$ ); MO = teor de matéria orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ ); Na = teor de sódio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); K = teor de potássio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); P = teor de fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); Cel = teor de celulose ( $\text{mg g}^{-1}$ ); Hem = teor de hemicelulose ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e Lig = teor de lignina ( $\text{mg g}^{-1}$ ). \* ( $P < 0,05$ ), \*\* ( $P < 0,01$ ) e \*\*\* ( $P < 0,001$ ). Não significativa (n.s.).

A variação percentual das características químicas dos substratos (Tabela 7) foi indispensável para identificar o poder biodegradativo de *P. ostreatus* e o possível enriquecimento do resíduo agrônômico *in natura* ao ser transformado em substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS). De acordo com os dados experimentais, a fibra de coco e o bagaço de cana apresentaram maiores variações positivas da densidade do substrato com valores de 55,03% e 40,46%, respectivamente. Todos os substratos reduziram o pH em pelo menos 10%, mas foi o restolho de milho que se destacou significativamente com diminuição de 19,05%. Para a condutividade elétrica, com exceção dos brotos de abacaxi que foi o único substrato onde aconteceu uma redução de 30,43%, todos os demais substratos aumentaram em mais de 50%, sendo o milho com a maior aumento da variação percentual com 119,41%. No teor de carbono houve uma redução percentual estatisticamente similar entre todos os substratos, com exceção da casca de arroz, onde foi observado um aumento de 42,82%.

**Tabela 7** – Variação percentual ( $\Delta$ ) da composição química e física dos resíduos agrônômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos.

Variação percentual	Folhas de bananeira	Fibra de coco	Restolho de milho	Brotos de abacaxi	Casca de arroz	Bagaço de cana
<sup>1</sup> $\Delta$ Densidade	27,57 $\pm$ 15,04b	55,03 $\pm$ 14,39a	22,03 $\pm$ 12,35b	10,98 $\pm$ 16,87b	-24,25 $\pm$ 12,77c	40,46 $\pm$ 16,01a
<sup>2</sup> $\Delta$ Potencial hidrogeniônico	-12,42 $\pm$ 1,27c	-9,66 $\pm$ 1,01a	-19,05 $\pm$ 2,70e	-12,96 $\pm$ 0,74c	-11,16 $\pm$ 1,35b	-16,84 $\pm$ 0,82d
<sup>2</sup> $\Delta$ Condutividade elétrica	119,41 $\pm$ 12,99a	78,04 $\pm$ 13,86c	98,15 $\pm$ 45,62b	-30,43 $\pm$ 4,03e	81,95 $\pm$ 21,83c	57,80 $\pm$ 18,19d
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de carbono	-15,57 $\pm$ 16,17b	-19,38 $\pm$ 12,42b	-6,39 $\pm$ 26,42b	-5,21 $\pm$ 19,26b	42,82 $\pm$ 33,84a	-2,14 $\pm$ 11,39b
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de nitrogênio	22,17 $\pm$ 28,51c	132,45 $\pm$ 66,00a	42,58 $\pm$ 26,06c	21,76 $\pm$ 15,60c	6,37 $\pm$ 34,48c	94,97 $\pm$ 24,59b
<sup>1</sup> $\Delta$ Relação C/N	-29,13 $\pm$ 29,23b	-65,17 $\pm$ 14,10d	-34,55 $\pm$ 19,30b	-22,19 $\pm$ 21,21b	34,86 $\pm$ 36,84a	-50,76 $\pm$ 4,71c
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de cinzas	46,83 $\pm$ 11,63b	91,50 $\pm$ 43,03a	57,25 $\pm$ 13,29b	97,12 $\pm$ 38,06a	16,59 $\pm$ 48,40c	106,44 $\pm$ 29,48a
<sup>2</sup> $\Delta$ Teor de matéria orgânica	-3,75 $\pm$ 0,93b	-1,15 $\pm$ 0,54a	-3,72 $\pm$ 0,86b	-4,49 $\pm$ 1,76b	-1,58 $\pm$ 4,61a	-2,13 $\pm$ 0,59a
<sup>3</sup> $\Delta$ Teor de sódio	16,35 $\pm$ 17,51c	131,39 $\pm$ 166,38a	8,18 $\pm$ 16,35c	1,84 $\pm$ 31,10c	-19,80 $\pm$ 49,34c	53,23 $\pm$ 40,54b
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de potássio	31,92 $\pm$ 22,70d	41,38 $\pm$ 33,43d	119,97 $\pm$ 54,01c	58,20 $\pm$ 11,45d	248,43 $\pm$ 2,65a	169,71 $\pm$ 47,82b
<sup>4</sup> $\Delta$ Teor de fósforo	-30,51 $\pm$ 12,19d	115,70 $\pm$ 32,56b	7,45 $\pm$ 11,93c	194,65 $\pm$ 38,04a	-38,30 $\pm$ 0,61d	-38,89 $\pm$ 4,72d
<sup>2</sup> $\Delta$ Teor de celulose	-29,13 $\pm$ 8,08d	-4,41 $\pm$ 7,16b	-15,37 $\pm$ 13,07c	-15,85 $\pm$ 2,75c	3,09 $\pm$ 10,65a	-5,55 $\pm$ 3,03b
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de hemicelulose	-34,44 $\pm$ 7,71b	-21,71 $\pm$ 21,72a	-42,77 $\pm$ 3,84c	-44,79 $\pm$ 4,64c	-27,84 $\pm$ 5,05b	-29,5 $\pm$ 6,89b
<sup>1</sup> $\Delta$ Teor de lignina	-78,43 $\pm$ 1,88c	-8,93 $\pm$ 16,87a	-33,45 $\pm$ 12,67b	-14,58 $\pm$ 8,90a	-15,46 $\pm$ 4,77a	-17,49 $\pm$ 6,76a
<sup>5</sup> $\Delta$ Matéria seca	2,17 $\pm$ 0,33a	0,57 $\pm$ 0,88b	0,50 $\pm$ 0,93b	2,31 $\pm$ 0,28a	1,78 $\pm$ 0,28ab	0,28 $\pm$ 2,20b
<sup>5</sup> $\Delta$ Umidade	-23,98 $\pm$ 3,63b	-6,49 $\pm$ 9,98a	-5,24 $\pm$ 9,66a	-21,37 $\pm$ 2,55ab	-19,54 $\pm$ 3,09ab	-4,18 $\pm$ 32,85a

Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ); Potencial hidrogeniônico (pH); Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ); Teor de carbono ( $\text{mg g}^{-1}$ ); Teor de nitrogênio ( $\text{mg g}^{-1}$ ); Relação C/N (relação m/m); Teor cinzas ( $\text{dag kg}^{-1}$ ); Teor de matéria orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ ); Teor de sódio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); Teor de potássio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); Teor de fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); Teor de celulose ( $\text{mg g}^{-1}$ ); Teor de hemicelulose ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e Teor de lignina ( $\text{mg g}^{-1}$ ). Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao 5% de significância de acordo ao teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) para a variação química dos substratos lignocelulósicos. Valores transformados para cumprir os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade dos resíduos experimentais: <sup>1</sup> $(x/100 + 1)^{1/2}$ ; <sup>2</sup> $(x/100 + 1)^2$ ; <sup>3</sup> $(x/100 + 1)^{1/3}$  e <sup>4</sup> $(x/100 + 1)^{1/7}$ . <sup>5</sup>Analisada com o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao 5% de significância. Média  $\pm$  SE,  $n = 3$ .

$\Delta$  (%) = [(Valor no substrato pós-cultivo de cogumelos — Valor no resíduo agrônômico *in natura*) / Valor no resíduo agrônômico *in natura*]  $\times$  100

A variação percentual ( $\Delta$ ) (Tabela 7) também mostrou que em todos os substratos houve ganhos relativo nos teores de nitrogênio, sem diferenças significativas para as folhas de bananeira ( $\Delta = 22,17\%$ ), brotos de abacaxi ( $\Delta = 21,76\%$ ), restolho de milho ( $\Delta = 42,58\%$ ) e casca de arroz ( $\Delta = 6,37\%$ ), mas foi a fibra de coco ( $\Delta = 132,45\%$ ) e o bagaço de cana ( $\Delta = 94,97\%$ ) que apresentaram os maiores ganhos significativos e diferentes entre si. Na relação C/N, a fibra de coco apresentou uma redução de  $-65,17\%$ , seguida do bagaço de cana com  $-50,76\%$ , logo todos os demais substratos reduziram a relação C/N em pelo menos  $20\%$ , com exceção da casca de arroz que foi o único substrato que mostrou um aumento de  $34,86\%$ . No teor de cinzas, em todos os substratos se apresentou variação positiva, com destaque significativo para o bagaço de cana ( $\Delta = 106,44\%$ ), brotos de abacaxi ( $\Delta = 97,12\%$ ) e fibra de coco ( $\Delta = 91,50\%$ ) sem diferenças entre si.

Nos teores de matéria orgânica, observamos uma redução percentual significativa em todos os substratos com destaque para brotos de abacaxi ( $\Delta = -4,49\%$ ), folhas de bananeira ( $\Delta = -3,75\%$ ) e restolho de milho ( $\Delta = -3,72\%$ ). No teor de sódio, a fibra de coco e o bagaço de cana apresentaram ganhos percentuais de  $131,39\%$  e  $53,23\%$ , respectivamente. No teor de potássio, o maior incremento significativo foi observado na casca de arroz ( $\Delta = 248,53\%$ ), seguido pelo bagaço de cana ( $\Delta = 169,71\%$ ) e restolho de milho ( $\Delta = 119,97\%$ ). No teor de fósforo os substratos mais destacados foram os brotos de abacaxi ( $\Delta = 194,65\%$ ) e fibra de coco ( $\Delta = 115,70\%$ ). Em todos os substratos se observou uma redução nos compostos lignocelulósicos, assim para os teores de celulose e lignina foram as folhas de bananeiras que apresentaram uma significativa redução com  $-29,13\%$  e  $-78,43\%$ , respectivamente, já para o teor de hemicelulose, foram o restolho de milho ( $\Delta = -42,77\%$ ) e os brotos de abacaxi ( $\Delta = -44,79\%$ ) que sofreram maiores reduções percentuais sem diferenças significativas entre si. Por último, em todos os substratos houve variação percentual semelhante de matéria seca e umidade higrométrica, com destaque para os brotos de abacaxi com  $2,31\%$  e  $-21,37\%$  e as folhas de bananeira com  $2,17\%$ , e  $-23,98\%$ , respectivamente.

#### 4. DISCUSSÃO

A caracterização química dos resíduos agronômicos *in natura* estudados nesta pesquisa com relação aos seus compostos lignocelulósicos (teores de celulose, hemicelulose e lignina), teores de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N foram compatíveis com os valores descritos na documentação científica (SANCHEZ, 2009; PHILIPPOUSSIS, 2009; IQBAL et al., 2013; GUNJAL et al., 2020). Todos os substratos, sem exceção, pelo menos uma vez foram citados ou recomendados para o cultivo de *P. ostreatus* e estão incluídos na lista de resíduos agronômicos de maior disponibilidade no mundo como são a palha de arroz, a palha de trigo, o bagaço de cana e a palha de milho que geram 731,30, 354,34, 180,73 e 128,02 milhões de toneladas de matéria seca, respectivamente (SAINI et al., 2015).

O crescimento micelial, a formação de primórdios e a obtenção de ao menos uma colheita de cogumelos frescos de *P. ostreatus* cultivados em resíduos agronômicos *in natura*, responde desde o ponto de vista biológico, que as espécies do gênero *Pleurotus* estão dotadas de um conjunto de exoenzimas lignocelulolíticas, do tipo hidrolíticas (Ex.: xilanases, EC 3.2.1.8) (MOTTA et al., 2013; IRFAN et al., 2016) e oxidativas (Ex.: lacase, EC 1.10.3.2) (ARREGUI et al., 2019; JANUSZ et al., 2020), que lhe conferem uma grande capacidade de crescer e se desenvolver em um dos maiores repertórios de matérias-primas comprovadas, que ultrapassam mais de 200 substratos (POPPE, 2004) com um complexo químico e estrutural de lignocelulose, constituídos principalmente de polímeros de celulose, hemicelulose e lignina (PICORNELL et al., 2017; PHILIPPOUSSIS, 2009).

Embora a presente pesquisa não conte com avaliações bioquímicas da atividade enzimática ou tenha identificado microrganismos dentro da microesfera de *P. ostreatus* que permitam associá-las com as variações percentuais dos componentes químicos entre os resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS). Pontualmente, tentamos deduzir e compreender algumas dessas variações com um enfoque teórico a partir das principais reações biológicas reportadas e consolidadas na literatura científica (Quadro 3).

**Quadro 3** – Principais reações metabólicas da degradação de compostos orgânicos pela atividade microbiana fúngica.

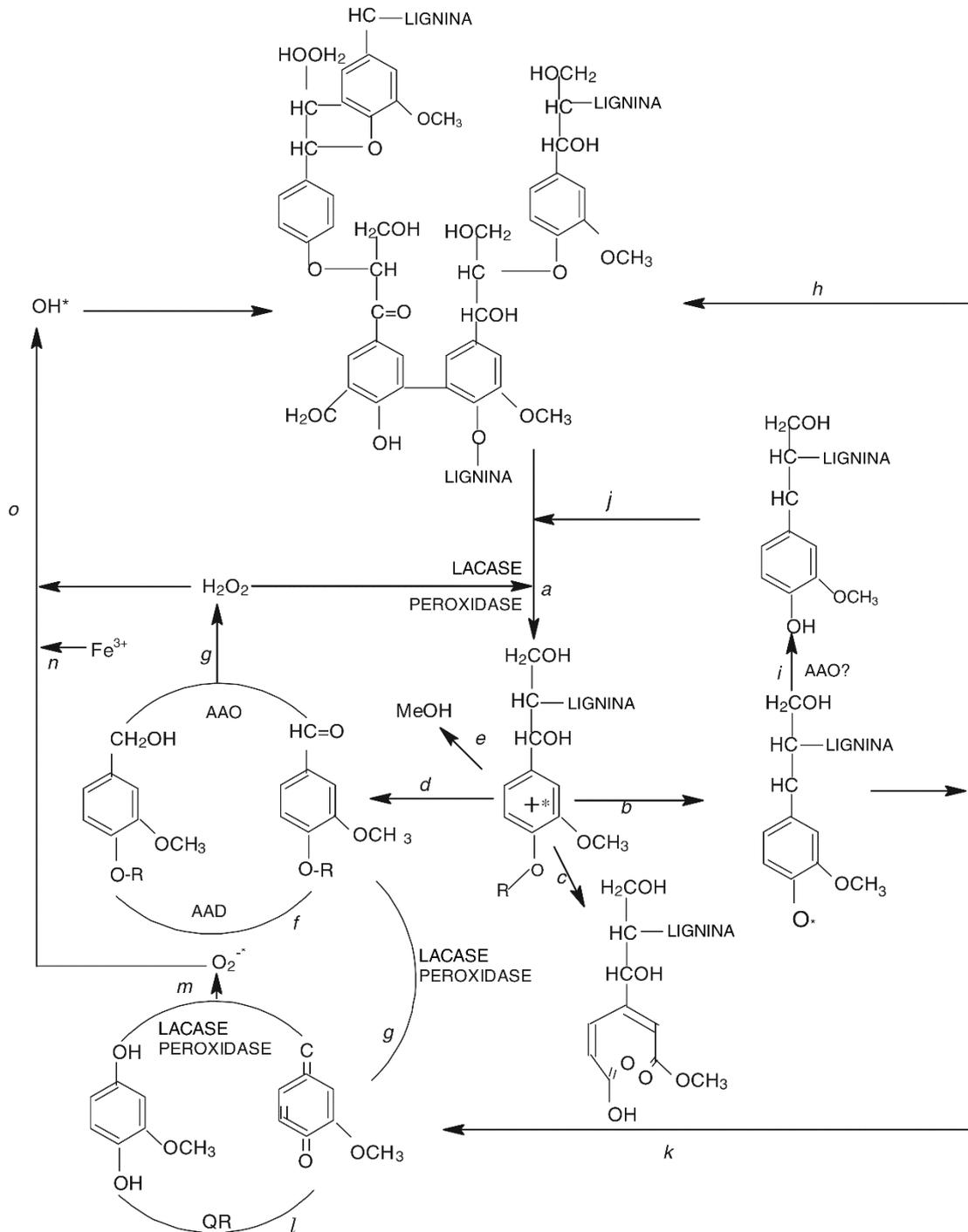
Eq.	Processo	Reações	Referências
(1)	Degradação da lignina	Lignina → Diversos compostos fenólicos — <i>Principais enzimas</i> — Ligninase, Lacase, Peroxidase de manganês e Glicose oxidase	Martinez et al. (2005) Janusz et al. (2020) Arregui et al. (2019)
(2)	Degradação da hemicelulose	Hemicelulose → Xylose, Glicose — <i>Principais enzimas</i> — Hemicelulases, Xilanases	Saha (2003) Gunjal et al. (2020)
(3)	Degradação da celulose	Celulose → Glicose — <i>Principais enzimas</i> — Celulases: endo- $\beta$ -1,4-glucanase, $\beta$ -1,4-endoglucan hidrolase	Gunjal et al. (2020) Baldrian e Valášková (2008).
(4)	Glicólises (No citoplasma em condições anaeróbicas)	Glicose + 2ADP + 2Pi + 2NAD <sup>+</sup> → 2Piruvato + 2ATP + 2NADH + 2H <sup>+</sup> — <i>Principais enzimas</i> — Hexoquinase, Fosfofrutoquinase-1 e Piruvato quinase.	Walker et al. (2017) Lehninger (2014)
(5)	Ciclo do Ácido Cítrico (Na matriz mitocondrial) Cadeia de transporte de elétrons & Fosforilação oxidativa (Nas cristas mitocondriais)	2Piruvato + 5O <sub>2</sub> + 30ADP + 30Pi → 6CO <sub>2</sub> + 30ATP + 34H <sub>2</sub> O — <i>Principais enzimas</i> — Citrato sintase, Aconitase, Isocitrato desidrogenase, Alfacetogluturato, desidrogenase, Succinil-CoA sintetase, Succinato desidrogenase, Fumarase, Malato desidrogenase e NADH desidrogenase	Walker et al. (2017) Lehninger (2014)
(6)	Fosforilação oxidativa (Zona extramitocondrial)	2NADH + 2H <sup>+</sup> + O <sub>2</sub> + 4Pi + 4 ADP → 2NAD <sup>+</sup> + 4ATP + 6H <sub>2</sub> O — <i>Principais enzimas</i> — Citrato sintase, Isocitrato desidrogenase, NADH desidrogenase	Walker et al. (2017) Lehninger (2014)
(7)	Oxidação completa da Glicose (Saldo líquido)	Glicose + 6O <sub>2</sub> + 36Pi + 36ADP → 6CO <sub>2</sub> + 36ATP + 42H <sub>2</sub> O — <i>Principais enzimas</i> — Hexoquinase, Fosfofrutoquinase-1 e Piruvato quinase, Citrato sintase, Aconitase, Isocitrato desidrogenase, Alfacetogluturato, desidrogenase, Succinil-CoA sintetase, Succinato desidrogenase, Fumarase, Malato desidrogenase e NADH desidrogenase	Walker et al. (2017) Lehninger (2014)
(8)	Ciclo do Glioxilato	Piruvato + CO <sub>2</sub> + ATP + H <sub>2</sub> O → Oxalacetato + ADP + Pi Fosfoenolpiruvato + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → Oxalacetato + H <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> — <i>Principais enzimas</i> — Malato sintase, Isocitrato liase.	Munir et al. (2001a) Munir et al. (2001b)

A redução percentual dos teores de matéria orgânica, celulose, hemicelulose e lignina se apoiam no processo de biodegradação enzimático de fontes de carbono complexas que são transformadas em compostos de baixa massa molecular como a glicose (Quadro 3, Eq. 1, 2 e 3) que depois o fungo utiliza como fonte de energia ou deposita junto com outros nutrientes na sua microssfera — microambiente em torno das hifas onde se encontram disponíveis enzimas e metabólitos durante o ciclo de vida do fungo (SANCHEZ et al., 2017).

Em primeiro momento, o processo biodegradativo de *P. ostreatus* se relaciona ao método de cultivo que envolve a fermentação em estado sólido (FES). De acordo com Barrios-Gonzalez (2012), a FES trata-se de uma técnica onde um ou vários microrganismos se desenvolvem na superfície e no interior de uma matriz sólida na ausência de água livre, imitando o habitat natural do microrganismo (Ex.: fungos basidiomicetos) que permite a secreção de enzimas de valor comercial, assim como da reciclagem de resíduos agrônômicos ao metabolizar seus compostos fenólicos e glicoses provenientes, por exemplo, da degradação da lignina e celulose, respectivamente (Quadro 3, Eq. 1 e 3).

A degradação da lignina é uma característica quase exclusiva dos fungos Basidiomicetos da podridão branca como os do gênero *Pleurotus* (DEACON, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), devido ao sinergismo do seu coquetel enzimático (oxidativo e peroxidativo) (Quadro 3, Eq. 1) capaz de atacar pelo menos 15 tipos diferentes de ligações intrínsecas existentes neste polímero, liberando radicais livres de oxigênio altamente reativos e transitórios, que bombardeiam e reagem com partes da molécula de lignina, causando uma cadeia de oxidações químicas que geram uma gama de produtos fenólicos (MARTINEZ et al., 2005; JANUSZ et al., 2020; ARREGUI et al., 2019) (Figura 17). Em seguida e paralelamente são degradados os compostos de celulose e hemicelulose (Quadro 3, Eq. 2 e 3) liberando carboidratos solúveis como sacarose e amido, os quais são usados como fonte imediata de energia por meio da respiração celular fúngica que começa na glicólise, seguida do ciclo do ácido cítrico, a cadeia de transporte de elétrons e a fosforilação oxidativa (Quadro 3, Eq. 4 e 5)

**Figura 17:** Esquema de biodegradação de lignina, incluindo reações enzimáticas e ativação do oxigênio. Letras minúsculas em itálica representam processos e reações que envolvem atividade enzimática.



Fonte: Adaptado de Sanchez (2010).

Desde o ponto de vista do saldo líquido da glicólise (Quadro 3, Eq. 4), além do consumo indispensável de carbono (glicose), podemos identificar por um lado, a exigência no consumo de fósforo, elemento que é extraído desde o resíduo *in natura* pela sua atividade micelial e, logo absorvido para satisfazer a demanda energética de ATP do fungo, fenômeno este que permitiria explicar, parcialmente, o porquê observamos uma redução percentual desse elemento nos substratos em folhas de bananeira, casca de arroz e bagaço de cana após o cultivo de cogumelos. Por outro lado, o aumento de fósforo observado em brotos de abacaxi, restolho de milho e fibra de coco pode estar associado ao aporte de fósforo oriundo do ciclo do glioxilato visto em outros fungos basidiomicetos (MUNIR, 2001a; 2001b) (Quadro 3, Eq. 8) ou pela ação de microrganismos benéficos que estariam presentes na micosfera (SANCHEZ et al., 2017) solubilizando e disponibilizando o fósforo em forma de fosfatos tal como acontece no solo em benefício das plantas (NAKAYAN et al., 2013; RICHARDSON et al., 2011, RODRÍGUEZ et al., 2009).

O aumento ou redução de alguns elementos nos substratos, embora possa ser atribuída à quantidade de cogumelo produzido, o parâmetro produtivo não deve ser uma variável comparativa entre os substratos pois a duração de um ciclo produtivo de cogumelos pode variar dependendo da característica do material lignocelulósico (VARNERO et al., 2010; YAMAUCHI et al., 2019). Nesta pesquisa, o cultivo foi padronizado em 45 dias independentemente do número de colheitas e quantidade produzida. No entanto, verificamos que isso não limitou o desempenho degradativo do fungo sob os resíduos agronômicos.

O aumento relativo do teor de carbono orgânico observado na casca de arroz mesmo apresentando degradação de compostos lignocelulósicos e matéria orgânica, pode responder à composição química que este substrato apresenta, pois de acordo com Lopes et al. (2017) e Korotkova et al. (2016), a casca de arroz pode apresentar mais de 80% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), fato que pode dificultar a assimilação do carbono solúvel promovendo outras vias metabólicas como a gliconeogênese (WALKER et al., 2017), transformando piruvato em glicose, sendo este último armazenado na biomassa micelial ou depositados na micosfera como açúcares solúveis.

Por meio da oxidação completa da glicose (Quadro 3, Eq. 7), podemos deduzir que do aporte de  $\text{H}^+$  provenientes da glicólise, do ciclo de Krebs, fosforilação oxidativa e processos intermediários seriam responsáveis por reduzir o pH dos substrato pós-cultivo em comparação com o resíduo agronômico *in natura* tal como foi observado, por exemplo, no bagaço de cana que passou de pH 5,53 (*in natura*) a pH 4,60 (SMS).

A liberação de fósforo nas formas de Pi (fósforo inorgânico) e  $H_2PO_3$  (Quadro 3, Eq. 8) a partir do ciclo do glioxilato, conjunto de reações anapleróticas que reabastecem os intermediários úteis na biossíntese de aminoácidos (monômeros das proteínas) e nucleotídeos (monômeros do DNA e RNA), nos ajudaria a compreender parcialmente o enriquecimento do teor de fósforo encontrado nos substratos pós-cultivo de cogumelos. Por outro lado, o enriquecimento de fósforo e nitrogênio também pode responder à presença de microrganismos benéficos solubilizadores de fósforo e fixadores de nitrogênio que podem estar presentes na micosfera (SANCHEZ et al., 2017).

De acordo ao grau de correlação de Pearson e da análise de componentes principais, os fatos encontrados neste experimento nos indicam que o aumento do teor de nitrogênio foi decorrente da degradação da celulose, lignina e matéria orgânica, uma vez que é o nitrogênio um dos fatores mais importantes na produção de enzimas degradativas (SINGH et al., 2008). Ao mesmo tempo, a maior disponibilidade de nitrogênio aumentou os teores de fósforo e potássio, fato observado na correlação positiva desses elementos, respectivamente. Segundo Nahas (2007), a solubilização de fósforo, por exemplo, tende a aumentar com a fonte de nitrogênio disponível, a qual neste caso proveem da degradação do substrato. Por outro lado, como o potássio (K) participa da atividade enzimática do metabolismo de carboidratos e do balanço iônico (GRIFFIN, 1994), a deficiência deste nutriente (verificada nos substratos *in natura*) pode provocar maior liberação de ácidos orgânicos (PARIS et al., 1996), ácidos que, ao serem acumulados e liberados no meio, favorecem a solubilização de fosfatos que, ao mesmo tempo, favorecem a absorção de nitrogênio (MARSCHNER, 1995).

Em relação à possibilidade de fixação de nitrogênio em cultivos de cogumelos comestíveis, este ainda é um tema para ser discutido e pesquisado, e mesmo que esse fenômeno não teria como ser demonstrado nesta pesquisa, porém encontramos evidências de que existe um aumento percentual de nitrogênio, visto que a diferença do carbono orgânico, foi a única variável que apresentou uma alta correlação significativa e negativa ( $r = -0,79$ ,  $P < 0,05$ ) com a relação C/N, sugerindo que existe um aporte externo deste elemento, de modo que deveria ser corroborado com avaliações enzimáticas como relatado em outros experimentos. A exemplo, Jayasinghearachchi e Seneviratne (2004) evidenciaram a presença de atividade da enzima nitrogenase como indício da fixação de nitrogênio em associação entre *Bradyrhizobium elkanii* e *P. ostreatus*, mas não encontraram evidência suficiente que demonstre que o fungo fosse capaz de produzir essa enzima por si só. Cruz-Guillén (2015) determinou que 8 de 21 cepas de

microrganismos isoladas desde a microsfera de *P. ostreatus* foram capazes de produzir a enzima nitrogenase tal como o *Bacillus megaterium*, *B. subtilis* e *Enterobacter cloacae*, microrganismos estes que são capazes de fixar nitrogênio pela ação enzimática do nitrato redutase ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ ) e nitrito redutase ( $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ ).

Por outro lado, trabalhos desenvolvidos por Koutrotsios et al. (2014), Dundar e Yildiz (2009), Obodai et al. (2003) e Sánchez e Royse (2002) discutiram a possibilidade que as espécies do gênero *Pleurotus* possam estar relacionadas com a fixação de nitrogênio uma vez que estes fungos são capazes de produzir cogumelos ricos em proteínas mesmo cultivados em substratos com baixos teores de nitrogênio (Ex.:  $\text{N} < 1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), acontecimento também discutido por Ginterova e Maxianova (1975) quando avaliaram o balanço de nitrogênio de *P. ostreatus* cultivado em palha e restolho de milho, observaram um aumento significativo de 0,3% de nitrogênio em relação ao conteúdo inicial dos substratos.

O enriquecimento mineral dos resíduos agronômicos *in natura* nos levaria a demonstrar a aplicação tecnológica do cultivo de cogumelos na reciclagem dos resíduos lignocelulósicos da Paraíba, resultando na revalorização do que denominamos de “resíduo” e começar a considerá-lo como um ‘novo recurso produtivo’, uma vez que por meio do cultivo de cogumelos os substratos se tornam mais lábeis e ricos em nitrogênio, fósforo e potássio, como foi observado e demonstrado nesta pesquisa. Além disso, com a adequada gestão tornaria esta atividade em uma grande e completa satisfação para a agricultura familiar, embora no momento ainda o valor aparente desses resíduos seja menor do que o custo de coleta, transporte e processamento.

A vantagem intrínseca da região nordestina, ao implementar o cultivo de cogumelos como atividade produtiva inserida em um sistema de economia circular (GRIMM E WÖSTEN, 2018), comparada com regiões da Europa e sul brasileiro, é que não dependeria de palhas de cereais como substratos para o cultivo de cogumelos do gênero *Pleurotus*. Sabe-se que a dependência de substratos de cereais eleva o preço de mercado quando são adquiridos de lugares distantes além disso a sua indisponibilidade se acentuam com as mudanças climáticas. Portanto, na região nordestina, resultaria viável a utilização dos substratos locais pela sua alta disponibilidade e baixo custo (inclusive até gratuitos), o qual nos permitiria contribuir com o meio ambiente e gerar um potencial de retorno econômico significativo.

## 5. CONCLUSÕES

Os resíduos agronômicos *in natura* após o cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* mostram enriquecimento em seus teores de nitrogênio, fósforo e potássio em resposta à biodegradação de seus compostos lignocelulósicos que influenciam a diminuição da relação C/N proporcionando ao substrato características mais lábeis e maior aplicabilidade agrícola.

Os resíduos agronômicos *in natura* locais devem ser contemplados como um novo recurso produtivo como substratos para o cultivo de cogumelos comestíveis, pois esta atividade, além de oferecer um alimento nutritivo, pode contribuir com a gestão de resíduos vegetais secos, ampliar a atividade econômica da agricultura familiar e fomentar a alimentação saudável.

Estudos enzimáticos e de reconhecimento de organismos benéficos na micosfera dos substratos pós-cultivo de cogumelos devem ser realizados em pesquisas similares que permitam correlacionar e confirmar o efeito sinérgico deles no cultivo de cogumelos.

## REFERÊNCIAS

- ALANANBEH, K. M.; BOUQELLAH, N. A.; AL KAFF, N. S. Cultivation of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* on date-palm leaves mixed with other agro-wastes in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(6), 616–625. doi: 10.1016/j.sjbs.2014.08.001, 2014.
- ALBERTÓ, E. Cultivo Intensivo de los Hongos Comestibles: cómo cultivar champiñones, gírgolas, shiitake y otras especies. (Hemisferio Sur S.A., Ed.) (1a ed.). Buenos Aires, 2008.
- ÁLVAREZ-MARTÍN, A.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; ORDAX, J. M.; MARÍN-BENITO, J. M.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Leaching of two fungicides in spent mushroom substrate amended soil: Influence of amendment rate, fungicide ageing and flow condition. *Science of The Total Environment*, 584–585, 828–837. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.126>, 2017.
- ARREGUI, L.; AYALA, M.; GÓMEZ-GIL, X.; GUTIÉRREZ-SOTO, G.; HERNÁNDEZ-LUNA, C. E.; HERRERA DE LOS SANTOS, M.; VALDEZ-CRUZ, N. A. Laccases: structure, function, and potential application in water bioremediation. *Microbial Cell Factories*, 18(1), 1–33, 2019.
- BALDRIAN, P.; VALÁŠKOVÁ, V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS microbiology reviews*, 32(3), 501–521, 2008.
- BARRIOS-GONZALEZ J. Fermentação em estado sólido: fisiologia do meio sólido, suas bases moleculares e aplicações. *Bioquímica de Processos*. 2012; 47 :175-185.
- BROMAN, K. W.; WOO, K. H. Data organization in spreadsheets. *The American Statistician*, 72(1), 2–10, 2018.
- CARRASCO, J.; ZIED, D. C.; PARDO, J. E.; PRESTON, G. M.; PARDO-GIMÉNEZ, A. Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8(1), 146. <http://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>, 2018.
- CARRASCO-CABRERA, C. P.; BELL, T. L.; KERTESZ, M. A. Caffeine metabolism during cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with spent coffee grounds. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(14), 5831–5841, 2019.
- CARVALHO, C. S. M.; AGUIAR, L. V. B.; SALES-CAMPOS, C.; MINHONI, M. T.; ANDRADE, M. C. N. Applicability of the use of waste from different banana cultivars for the cultivation of the oyster mushroom. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(2), 819–826. <http://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200048>, 2012.
- CORRÊA, R. C. G.; DA SILVA, B. P.; CASTOLDI, R.; KATO, C. G.; DE SÁ-NAKANISHI, A. B.; PERALTA, R. A.; PERALTA, R. M. Spent mushroom substrate of *Pleurotus pulmonarius*: a source of easily hydrolyzable lignocellulose. *Folia Microbiologica*, 61(5), 439–448. <http://doi.org/10.1007/s12223-016-0457-8>, 2016.
- CRUZ-GUILLÉN, Y. I. Aislamiento e identificación de microorganismos fijadores de nitrógeno de la micosfera de *Pleurotus ostreatus*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas, 2015.

DARRAH, P. R. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 155/156, p. 1-20, 1993.

DEACON, J. D. *Fungal biology*. Blackwell Publishing Ltd, 2006.

DONG, X. Q.; YANG, J. S.; ZHU, N.; WANG, E. T.; YUAN, H. L. Sugarcane bagasse degradation and characterization of three white-rot fungi. *Bioresource technology*, 131, 443-451, 2013.

DUNDAR, A. A comparative study on *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. cultivated on different agricultural lignocellulosic wastes. *Turkish Journal of Biology*. 33:171-179, 2009.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. (G. K. Donagema, D. V. B. de Campos, S. B. Calderano, W. G. Teixeira, & J. H. M. Viana, Eds.). Embrapa Solos (3a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019.

ESTRADA, A. E.; PECCHIA, J. Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. Edible and medicinal mushrooms: technology and applications, 339-360, 2017.

FANG, W.; YE, J.; ZHANG, P.; ZHU, X.; ZHOU, S. Solid-state anaerobic fermentation of spent mushroom compost for volatile fatty acids production by pH regulation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(29), 295–300. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.148>, 2017.

FAZAEI, H.; SHAFYEE-VARZENEH, H.; FARAHPOOR, A.; MOAYYER, A. Recycling of mushroom compost wheat straw in the diet of feedlot calves with two physical forms. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(3). <http://doi.org/10.1007/s40093-014-0065-z>, 2014.

GINTEROVA A.; MAXIANOVA, A. The balance of Nitrogen and the composition of proteins in *Pleurotus ostreatus* grown on natural substrates. *Folia Microbiology*. 20:246-250, 1975.

GRIFFIN, D. H. *Fungal physiology*. 2. ed. New York: Wiley-Liss, 458 p., 1994.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(18), 7795-7803. 2018.

GUNJAL, A. B.; PATIL, N. N.; SHINDE, S. S. *Enzymes in Degradation of the Lignocellulosic Wastes*. Springer International Publishing, 2020.

HANAFI, F. H. M.; REZANIA, S.; TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; YAMAUCHI, M., SAKAMOTO, M.; EBRAHIMI, S. S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1383–1396. <http://doi.org/10.1007/s10163-018-0739-0>, 2018.

HERRERO-HERNÁNDEZ, E.; ANDRADES, M. S.; MARÍN-BENITO, J. M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Field-scale dissipation of tebuconazole in a vineyard soil amended with spent mushroom substrate and its potential environmental impact. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1480–1488. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.04.023>, 2011.

IQBAL, H. M. N.; KYAZZE, G.; KESHAVARZ, T. Advances in the valorization of lignocellulosic materials by biotechnology: an overview. *BioResources*, 8(2), 3157-3176, 2013.

- IRFAN, M.; ASGHAR, U.; NADEEN, M.; NELOFER, R.; SYED, Q. Optimization of process parameters for xylanase production by *Bacillus sp.* in submerged fermentation science direct optimization of process parameters for xylanase production by *Bacillus spp.* in submerged. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, v. 9, n. 2, p. 139-147, doi: 10.1016/j.jrras.2015.10.008, 2016.
- IZYAN, N.; JAMULUDIN, A.; MAHMOOK, N. Potential of spent mushroom substrate in vermicomposting. *Vermitechnology I. Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 3, 87-90, 2009.
- JANUSZ, G.; PAWLIK, A.; ŚWIDERSKA-BUREK, U.; POLAK, J.; SULEJ, J.; JAROSZ-WILKOŁAZKA, A.; PASZCZYŃSKI, A. Laccase properties, physiological functions, and evolution. *International journal of molecular sciences*, 21(3), 966, 2020.
- JASIŃSKA, A. J.; WOJCIECHOWSKA, E.; KRZESIŃSKI, W.; SPIŻEWSKI, T.; STOKENS, K.; KRAJEWSKA, K. Mushroom cultivation on substrates with addition of anaerobically digested food waste. *Acta Horticulturae*, (1123), 199–206. <http://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1123.28>, 2016.
- JAYASINGHEARACHCHI, H. S.; SENEVIRATNE, G. Can mushrooms fix atmospheric nitrogen? *Journal of biosciences*, 29(3), 293-296, 2004.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=factoextra>, 2020.
- KOROTKOVA, T. G.; KSANDOPULO, S. J.; DONENKO, A. P.; BUSHUMOV, S. A.; DANILCHENKO, A. S. Physical properties and chemical composition of the rice husk and dust. *Orient. J. Chem*, 32(6), 3213-3219, 2016.
- KOUTROTSIOS, G.; MOUNTZOURIS, K. C.; CHATZIPAVLIDIS, I.; ZERVAKIS, G. I. Bioconversion of lignocellulosic residues by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom. Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties. *Food Chemistry*. 161:127-135, 2014.
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. of Statistical Software*, 25(1), 1–18. <http://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>, 2020.
- LEHNINGER, T. M.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de Bioquímica*. 6ª Edição, Ed. Artmed, 2014.
- LOPES, E. R.; MEDINA, A. L.; RIBEIRO, A. S.; BRANDALISE, J. N.; NUNES, A. M. Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por MIP OES após decomposição ácida com sistema de refluxo. *Química Nova*, 40, 1009-1017, 2017.
- LUO, X.; YUAN, X.; WANG, S.; SUN, F.; HOU, Z.; HU, Q.; ZOU, Y. Methane production and characteristics of the microbial community in the co-digestion of spent mushroom substrate with dairy manure. *Bioresource Technology*, 250, 611–620. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.088>, 2018.
- MA, Y.; WANG, Q.; SUN, X.; WANG, X.; SU, W.; SONG, N. A study on recycling of spent mushroom substrate to prepare chars and activated carbon. *BioResources*, 9(3), 3939–3954. <http://doi.org/10.15376/biores.9.3.3939-3954>, 2014.

- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 889 p., 1995.
- MARTÍNEZ, Á. T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUEÑAS, F. J.; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; RÍO ANDRADE, J. C. D. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin, 2005.
- MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=agricolae>, 2021.
- MNKANDLA, S. M.; OTOMO, P. V. Effectiveness of mycofiltration for removal of contaminants from water: a systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 10(1), 1-8, 2021.
- MOREAUX, K. Spawn production. *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, 89-128, 2017.
- MOTTA, F. L.; ANDRADE, C. C. P.; SANTANA, M. H. A. A Review of xylanase production by the fermentation of xylan: classification, characterization, and applications. In: CHANDEL, A. (ed.). *Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass - Techniques, Applications and Commercialization*. doi: 10.5772/1490, 2013.
- MUKAKA, M. J. M. M. J. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation in medical research. *Malawi Med J*, 24(3), 69-71, 2012.
- MUNIR, E.; YOON, J. J.; TOKIMATSU, T.; HATTORI, T.; SHIMADA, M. A physiological role for oxalic acid biosynthesis in the wood-rotting basidiomycete *Fomitopsis palustris*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11126-11130, 2001b.
- MUNIR, E.; YOON, J. J.; TOKIMATSU, T.; HATTORI, T.; SHIMADA, M. New role for glyoxylate cycle enzymes in wood-rotting basidiomycetes in relation to biosynthesis of oxalic acid. *Journal of wood science*, 47(5), 368-373, 2001a
- NAHAS, E. Phosphate solubilizing microorganisms: Effect of carbon, nitrogen, and phosphorus sources. In *First international meeting on microbial phosphate solubilization* (pp. 111-115). Springer, Dordrecht, 2007.
- NAKAYAN, P.; HAMEED, A.; SINGH, S.; YOUNG, L. S.; HUNF, M.H.; YOUNG, C. C. Phosphate-solubilizing soil yeast *Meyerozyma guilliermondii* CC1 improves maize (*Zea mays* L.) productivity and minimizes requisite chemical fertilization. *Plant Soil*. 373:301-315, 2013.
- NOONSONG, V.; PUTTAKUN, N.; TINSIRISUK, M.; SEEPHUEAK, P. Recycling of spent *Pleurotus* compost for production of the *Agrocybe cylindracea*. *Mycosphere*, 7(1), 36-43. <http://doi.org/10.5943/mycosphere/7/1/4>, 2016.
- OBODAI, M.; CLELAND, J.; VOWOTOR, K. A. Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 30:146-149, 2003.
- ORTEGA, G. M.; MARTINEZ, E. O.; BETANCOURT, D.; GONZALEZ, A. E.; OTERO, M. A. Bioconversion of sugar cane crop residues with white-rot fungi *Pleurotus* sp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8(4), 402-405, 1992.

- OWAID, M. N.; ABED, I. A.; AL-SAEEDI, S. S. S. Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 78–82. <http://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.01.001>, 2017.
- PARIS, F.; BOTTON, B.; LAPEYRIE, F. In vitro weathering of phlogopite by ectomycorrhizal fungi II: effect of K<sup>+</sup> and Mg<sup>++</sup> deficiency and N sources on accumulation of oxalate and H<sup>+</sup>. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 179, n. 1, p. 141-150, 1996.
- PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied microbiology and biotechnology*, 96(4), 863-873, 2012.
- PHILIPPOUSSIS, A. N. Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. In *Biotechnology for agro-industrial residues utilization* (pp. 163-196). Springer, Dordrecht, 2009.
- PICORNELL, M. R.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; NAVARRO, M. J.; GEA, F. J. Actualizaciones sobre la preparación del sustrato para cultivar setas *Pleurotus* spp. La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, El Colegio de la Frontera Sur, 83-104, 2017.
- POPPE, J. Substrate: Part II Oyster Mushroom Cultivation in *Mushroom Growers' Handbook 1*, pag. 75:83, 2004.
- R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>, 2022.
- RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology*, 156(3), 989-996, 2011.
- RINKER, D. L. Spent Mushroom Substrate Uses. *Edible and Medicinal Mushrooms*, 427–454. <http://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>, 2017.
- RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, Z. M. S.; ÁLVAREZ, C. H. Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica*, 21(2), 13-20, 2010.
- SAHA, B. C. Hemicellulose bioconversion. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 30(5), 279-291, 2003.
- SAINI, J. K.; SAINI, R.; TEWARI, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. *3 Biotech*, 5(4), 337-353, 2015.
- SÁNCHEZ, C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(5), 1321-1337, 2010.
- SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology advances*, 27(2), 185-194, 2009.

SANCHEZ, J. E.; ANDRADE, R. H.; MORENO, L.; ROYSE, D. J. La protección del sustrato para el cultivo de *Pleurotus spp.* y otros hongos comestibles. La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus spp.*, 107-126, 2017.

SANCHEZ, J. E.; ROYSE, D. J. Producción mundial de setas *Pleurotus spp.* con énfasis en países Iberoamericanos. In D. J. Royse & J. E. Sánchez (Eds.), La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus spp.* (pp. 17–24). Chiapas, México D. F.: ECOSUR, 2017.

SINGH, M.P.; PANDEY, V. K.; PANDEY, A. K.; SRIVASTAVA, A. K.; VISHWAKARM, N. K.; SINGH, V. K. Production of xylanase by white rot fungi on wheat straw. *Asian J. Microbiol. Biotechnic. Environ. Sci.* 4, 859–862, 2008.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 15, n. 5, p. 587–597, 1984.

THOMAS, R. L.; SHEARD, R. W.; MOYER, J. R. Comparison of Conventional and Automated Procedures for Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Analysis of Plant Material Using a Single Digestion. *Agronomy Journal*, v. 59, n. 3, p. 240–243, 1967.

VAN SOEST, P. J. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin. *Journal of AOAC International*, v. 46, n. 5, p. 829–835, out. 1963.

WALKER, G. M., & WHITE, N. A. Introduction to fungal physiology. *Fungi: biology and applications*, 1-35, 2017.

YAMAUCHI, M.; SAKAMOTO, M.; YAMADA, M.; HARA, H.; TAIB, S. M.; REZANIA, S.; HANAFI, F. H. M. Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on fermented moso bamboo sawdust. *Journal of King Saud University-Science*, 31(4), 490-494, 2019.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; SANTOS, M. N.; CABALLERO, E. N. M.; MARTINS, O. G.; HERRERA, Á. A. P. Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-10, 2020.

ZHANG, J.; MENG, G.; ZHAI, G.; YANG, Y.; ZHAO, H.; JIA, L. Extraction, characterization, and antioxidant activity of polysaccharides of spent mushroom compost of *Ganoderma lucidum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 432–439. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.016>, 2016.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N. A protocol for conducting and presenting results of regression-type analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(6), 636-645, 2016.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in ecology and evolution*, 1(1), 3-14, 2010.

### CAPÍTULO III

---

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) NA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO CRÔMICO DEGRADADO

## INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS DE *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) NA FERTILIDADE DE UM LUVISSOLO CRÔMICO DEGRADADO

### RESUMO

O interesse na reciclagem e reutilização de resíduos lignocelulósicos como corretivos orgânicos tem aumentado nos últimos anos pois mostraram melhorar as características intrínsecas do solo em condições de campo e laboratório. Neste estudo, o substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) de *Pleurotus ostreatus* é proposto como um corretivo orgânico adequado para a restauração das propriedades químicas do solo e discutimos o seu uso com ênfase na economia circular. Nesse sentido, objetivamos avaliar os efeitos da aplicação do SMS, obtidos desde a biodegradação de resíduos agrônômicos das lavouras mais importantes da Paraíba, nos parâmetros da fertilidade de Luvisolo Crômico coletado no semiárido paraibano com indícios de degradação antrópica. Incorporamos seis substratos pós-cultivo de cogumelos nas doses de 0 (controle); 0,7; 0,14; 0,21; 0,28 e 0,35 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono orgânico em 500 g de Luvisolo Crômico os quais foram incubados a 80% da capacidade de campo em condições de casa de vegetação durante 120 dias. O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 6 × 5 + 1, considerando seis SMS em cinco doses mais um tratamento adicional (solo sem incorporação ou dose zero) com 3 repetições, totalizando 93 unidades experimentais, onde cada unidade experimental foi constituída de um vaso de 500 mL, que continha o solo incorporado com pelo menos uma dose de SMS. Ao finalizar a incubação, os solos foram analisados nos seus parâmetros químicos da fertilidade do solo e a significância das regressões lineares com as doses de cada SMS foram testadas de acordo ao teste F a 5% de significância ( $P < 0,05$ ) após as confirmações dos supostos de normalidade e homoscedasticidade com os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em geral, a aplicação das doses de SMS mostrou influência significativa ( $P < 0,05$ ) sobre os parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), soma de bases trocáveis (SB), acidez potencial (Al+H), capacidade de troca catiônica do solo (CTC<sub>pH 7,0</sub>) e saturação por bases (V). A incorporação das doses do SMS de folhas de bananeira, brotos de abacaxi, borra de café e bagaço de cana promoveram o aumento do pH. O SMS das folhas de bananeira e brotos de abacaxi reduziram a CE e Al+H do solo, respectivamente. O SMS do bagaço de cana, folhas de bananeira, restolho de milho e brotos de abacaxi induziram o incremento de SB com destaque nos cátions de Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis assim como influenciaram o aumento da CTC<sub>pH 7,0</sub>. Os teores de carbono orgânico total do solo foram aumentados pela dosificação do SMS de borra de café e folhas de bananeira, esta última, complementarmente, junto com o SMS dos brotos de abacaxi incrementou a saturação por bases (V). Os resultados deste estudo sugerem que o uso de fungos comestíveis de *P. ostreatus* como pré-tratamento biológico dos resíduos agrônômicos para obtenção de SMS pode abrir novas perspectivas na reciclagem de resíduos que, inseridos em um sistema de economia circular, pode melhorar a fertilidade do solo beneficiando agricultores estimulando o empreendedorismo, além de oferecer benefícios ambientais e econômicos.

**Palavras-chave:** sistema integrado agrícola; economia circular; biodegradação.

INFLUENCE OF THE APPLICATION OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE OF *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) ON THE FERTILITY OF A DEGRADED LUVISOL

**ABSTRACT**

Interest in recycling and reusing lignocellulosic wastes as organic amendments has increased in recent years as they have been shown to improve the intrinsic characteristics of soil under field and laboratory conditions. In this study, spent mushroom substrate (SMS) of *Pleurotus ostreatus* is proposed as a suitable organic amendment for the restoration of soil chemical properties and we discuss its use with an emphasis on circular economy. In this sense, we aim to evaluate the effects of the SMS application, obtained from the biodegradation of agronomic wastes from the most important crops in Paraíba, on the fertility parameters of Luvisol collected in the semi-arid region of Paraíba with signs of anthropic degradation. We incorporated six mushroom spent mushroom substrate at doses of 0 (control); 0.7; 0.14; 0.21; 0.28 and 0.35 Mg ha<sup>-1</sup> of organic carbon in 500 g of Luvisol which were incubated at 80% of field capacity under greenhouse conditions for 120 days. The experiment was carried out in a completely randomized design with a 6 × 5 + 1 factorial arrangement, considering six SMS in five doses plus one additional treatment (soil without incorporation or zero dose) with 3 replications, totaling 93 experimental units, where each experimental unit was consisting of a 500 mL plastic pot, which contained the soil incorporated with at least one dose of SMS. At the end of incubation, the soils were analyzed for their chemical parameters of soil fertility and the significance of the linear regressions with the doses of each SMS were tested according to the F test at 5% significance ( $P < 0.05$ ) after the confirmation of the assumptions of normality and homoscedasticity with the Shapiro-Wilk and Bartlett tests, respectively. In general, the application of SMS doses showed a significant influence ( $P < 0.05$ ) on the parameters of pH, electrical conductivity (EC), sum of exchangeable bases (SB), potential acidity (Al+H), cation exchange capacity (CEC<sub>pH 7.0</sub>) and base saturation (V). The incorporation of SMS doses of banana leaves, pineapple shoots, coffee grounds and sugarcane bagasse promoted an increase in pH. The SMS of banana leaves and pineapple shoots reduced EC and Al+H in the soil, respectively. The SMS of sugarcane bagasse, banana leaves, corn stubble and pineapple sprouts induced an increase in SB, with emphasis on exchangeable Mg<sup>+2</sup> and K<sup>+</sup> cations, as well as influencing the increase in CEC<sub>pH 7.0</sub>. Soil total organic carbon contents were increased by dosing the SMS of coffee grounds and banana leaves, the latter, in addition, together with the SMS of pineapple shoots, increased base saturation (V). The results of this study suggest that the use of fungi edibles of *P. ostreatus* as a biological pretreatment of agronomic wastes to obtain SMS can open new perspectives in the recycling of wastes that, inserted in a circular economy system, can improve soil fertility, benefiting farmers, stimulating entrepreneurship, and offering environmental benefits and economic.

**Keywords:** integrated agricultural system; circular economy; biodegradation.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento das atividades agrícolas intensivas é umas das ameaças constantes que afetam a qualidade e serviços ecossistêmicos do solo (FAO, 2015) apresentando uma relação inversamente proporcional com a degradação do solo, fenômeno este que é definido como a perda e diminuição da produtividade potencial da terra impulsionadas direta ou indiretamente por agentes econômicos, políticos e climáticos (PEREZ-MARIN et al., 2022; BISWAS et al., 2018; YU; JIA, 2014; LAL, 1997).

A degradação do solo é um problema observado particularmente em áreas com padrões climáticos de terras áridas, semiáridas e subúmidas que, com frequência, apresentam períodos prolongados de seca onde os processos de erosão e redução da fertilidade do solo se agravam por consequência das atividades antrópicas (NABIOLLAHI et al., 2018; RODRIGO-COMINO et al., 2017; HUÉSO-GONZÁLEZ et al., 2014). Entenda-se que a degradação do solo implica também a degradação da vegetação local associada à mudança no uso da terra que causam perdas de carbono e nitrogênio no solo (GARCÍA-DÍAZ et al., 2017; MORENO et al., 2016). Dentre as causas dessa degradação, o cultivo intensivo do solo, por exemplo, é um dos fatores que reduzem os teores de matéria orgânica do solo, resultando na formação de crostas, diminuição da estabilidade dos agregados, ciclagem de nutrientes e penetração de raízes (ANNABI et al., 2011; GÜMÜŞ; ŞEKER, 2017; BRONICK; LAL, 2005).

O semiárido nordestino não está isento da degradação dos solos, pois apesar de ser umas das regiões ecológicas mais ricas e biodiversas do Brasil (Caatinga, 11% do território brasileiro) (SILVA et al., 2017), é uma região afetada por uma problemática histórica e cultural relacionada com um modelo de produção agrícola (ainda vigente) regida pela exploração dos recursos e degradação do solo pelo extrativismo da madeira (IBGE, 2020; MMA, 2010; SIQUEIRA-FILHO, 2012; COSTA; BUENO, 2004) que afetam negativamente os solos mais representativos do Estado da Paraíba, como Neossolos (47,91%) e Luvisolos (17,20%) (EMBRAPA, 2018; SARAIVA et al., 2020) que apresentam pequena profundidade efetiva e forte impedimento à mecanização (FRANCISCO, 2010).

De acordo com Cherubin et al. (2018) e a FAO (2015), na última década, a degradação do solo e produção de resíduos agronômicos aumentaram no mundo em 50% e 33%, respectivamente, deixando em evidência a estreita relação desses eventos entre si. Ademais, nesse mesmo período os resíduos agronômicos brasileiros representaram 8,44% no mundo e

28,93% no continente americano, cenário este que pode incluir ao nordeste brasileiro que é um dos maiores produtores de coco-da-baía (*Cocos nucifera*), abacaxi (*Ananas comosus*), entre outras lavouras temporárias e permanentes (IBGE, 2020; EMBRAPA, 2020). Desse modo ao existir disponibilidade de resíduos vegetais agrícolas, eles poderiam ser utilizados como um recurso para mitigar o avanço da degradação do solo. Sabe-se que muitas práticas agrícolas ainda incorporam ou deixam em campo os resíduos de colheitas, como palhas que servem como adubos orgânicos ou proteção contra a erosão do solo (FRANZLUEBBERS, 2015), no entanto, quando acumulados em excesso se constituem em fontes de emissão de gases do efeito estufa (CARMO et al., 2012), proliferação de pragas (DINARDO; MIRANDA; FRACASSO, 2013) e de indisponibilidade de nutrientes para as plantas (FERREIRA et al., 2016). Nessa ordem de ideias, buscar novas alternativas podem permitir uma gestão mais diversificada dos resíduos agronômicos.

Uma alternativa social, econômica e ambientalmente correta para gerar materiais orgânicos seria transformar resíduos agronômicos *in natura* por meio da produção de cogumelos comestíveis (GRIMM; WOSTEN, 2018) — sistema capaz de biodegradar por ação enzimática fúngica diversos resíduos lignocelulósicos como folhas de bananeira (CARVALHO et al., 2012), palha de arroz (ZÁRATE-SALAZAR et al., 2020) ou borra de café (CARRASCO-CABRERA et al., 2019) entre outras — que permite obter um alimento com reconhecidas propriedades nutritivas e medicinais (MAHARI et al., 2020). Além disso, permite retornar ao meio ambiente um material orgânico biodegradado conhecido como substrato pós-cultivo de cogumelos ou SMS, do inglês *Spent Mushroom Substrate* (RINKER, 2017).

Compreendendo que a utilização de corretivos orgânicos ajuda a melhorar a fertilidade geral e estabilidade química do solo (MUKHERJEE et al., 2014; ÖZDEMIR et al., 2007). A aplicação ao solo de SMS poderia aumentar os teores de matéria orgânica e restaurar suas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (LOU et al., 2017; PEREGRINA et al., 2012), de modo que, considerando o anterior, o cultivo de cogumelos pode ser recomendado para auxiliar a gestão de resíduos agronômicos aliada à recuperação de solos agrícolas.

O cultivo de cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* (Jacq.), ‘Shimeji-preto’, ocupa o segundo lugar na produção mundial (SANCHEZ; ROYSE, 2017), pode ser cultivada sob um sistema de economia circular com uma tecnologia de produção amigável com o meio ambiente (*ecofriendly*) (PÉREZ-CHÁVEZ et al., 2019) e mais barata comparada a outras espécies de cogumelos comestíveis (FERRARI et al., 2020) e graças a sua alta produção de enzimas

hidrolíticas e oxidativas (PHAN et al., 2012) permite obter um substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) mais lábil, isto é, de maior decomposição pela microbiota do solo (HANAFI et al., 2018) observado pelo aumento da taxa respirométrica do solo e da atividade da enzima fosfatase (MEDINA et al., 2012), enzima fundamental na dinâmica do fósforo no solo e da disponibilidade desse elemento para as plantas.

Entre outras aplicações, o SMS tem sido relatado útil como adubo orgânico do solo (OWAID et al., 2017), fonte de nitrogênio (HACKETT, 2015), condicionador físico e químico de solos degradados (GÜMÜŞ; ŞEKER, 2017) e, inclusive, melhorando a agregação do solo ao induzir a formação de plectênquimas (falso tecido por fusão de hifas na parede celular) a nível micromorfológico do solo (NAKATSUKA et al., 2016), agir como biossorvente de fungicidas, pesticidas e metais pesados (ÁLVAREZ-MARTÍN et al., 2017; MASAPHY et al., 1996; HERRERO-HERNÁNDEZ et al., 2011), contribuir com a remoção de contaminantes da água por micofiltração (MNKANDLA et al., 2021), assim como servir de insumo para a produção de biogás (MUSTAFA et al., 2019) e compostagem (CARRASCO et al., 2018).

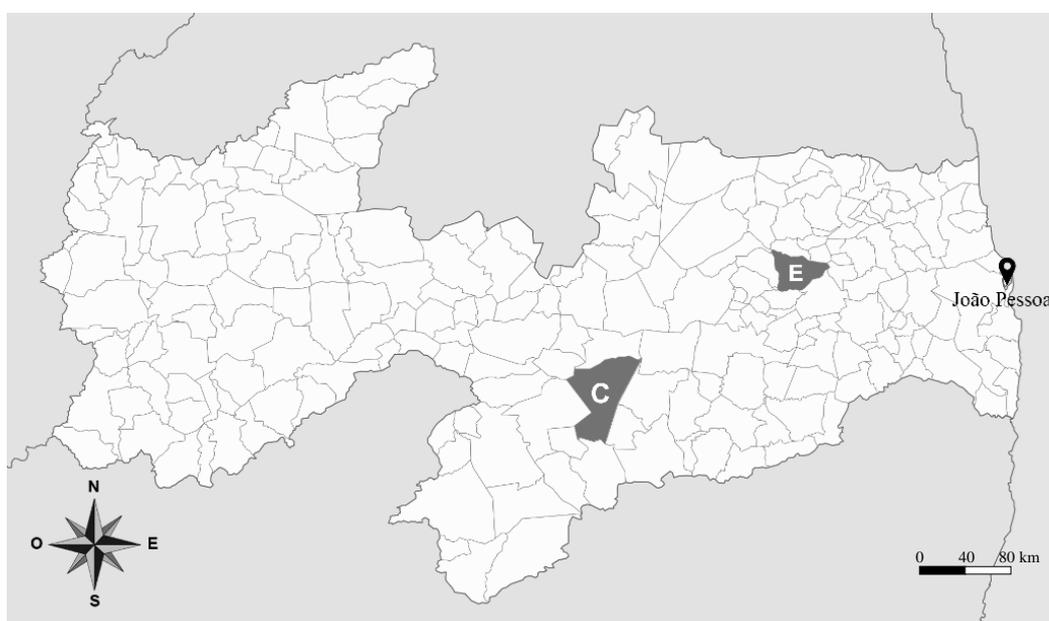
Perante as evidências supracitadas, este estudo avaliou os efeitos da adição de seis substratos pós-cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* aplicados em seis níveis de carbono orgânico em Luvisolo Crômico com indícios de degradação física coletado no Cariri paraibano.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Programa de Pós-graduação de Ciências do Solo (PPGCS), Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) situado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no Campus II de Ciências Agrárias (CCA) na cidade de Areia - PB de coordenadas: 6°57'42"S, 35°41'43"W, a 143 km de distância de João Pessoa, capital paraibana (Figura 18).

**Figura 18:** Mapa do Estado da Paraíba. Coleta do Luvissole Crômico em São João do Cariri (C) e condução do experimento em Areia (E).



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

### 2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO LUVISSOLO CRÔMICO

O Luvissole Crômico foi coletado por amostragem composta de 12 amostragens simples a uma profundidade de 0,20 m e distanciamento de 30 m entre cada ponto de amostragem em uma área da Estação Experimental de São João do Cariri da UFPB localizada no semiárido paraibano com indícios de degradação física do solo por ação antrópica (Figura 17). De acordo com Saraiva et al. (2020), a área é caracterizada por apresentar um clima seco com precipitação média de 400 mm ano<sup>-1</sup>, umidade relativa de 70%, evapotranspiração de 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, altitude média de 500 m com coordenadas de 7°22'45,1"S e 36°31'47,2"W. Após amostragem,

o Luvissole Crômico foi preparado de acordo à metodologia da Embrapa (2019) passando por um processo de secagem a temperatura ambiente, destorroamento, peneirado em malha de 2 mm (10 Mesh) para obtenção do TFSA, armazenadas em ambiente seco e analisado quimicamente, caracterizado como solo não salino e não sódico ( $CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $PST < 15\%$  e  $pH < 8,5$ ) (Tabela 12).

**Tabela 8** – Análise química do Luvissole Crômico coletado *in natura* no Cariri paraibano no período 2020.2.

Análises químicas	<sup>1</sup> Valores
pH <sub>H2O</sub>	6,36 ± 0,03
pH <sub>KCl</sub>	5,07 ± 0,02
pH <sub>CaCl2</sub>	5,77 ± 0,01
Δ pH (pH <sub>H2O</sub> – pH <sub>KCl</sub> )	-1,29 ± 0,05
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,29 ± 0,01
Carbono orgânico total (g kg <sup>-1</sup> )	4,19 ± 0,22
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	3,39 ± 0,04
Cinzas (dag kg <sup>-1</sup> )	96,61 ± 0,04
Fósforo disponível (mg kg <sup>-1</sup> )	22,21 ± 1,48
Ca <sup>+2</sup> trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,91 ± 0,06
Mg <sup>+2</sup> trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,35 ± 0,23
Na <sup>+</sup> trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,35 ± 0,01
K <sup>+</sup> trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,23 ± 0,01
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7,84 ± 0,18
Acidez potencial (Al + H) (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,93 ± 0,10
CTC <sub>pH 7,0</sub> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	10,76 ± 0,27
Porcentagem de saturação de bases (%)	72,82 ± 0,22
Porcentagem de sódio total (%)	3,25 ± 0,13
Razão de adsorção de sódio	0,18 ± 0,01

pH<sub>H2O</sub> = pH em água, relação água: solo 2,5:1 v/m; pH<sub>KCl</sub> = pH em KCl 1M, relação solução: solo 2,5:1 v/m; pH<sub>CaCl2</sub> = pH em CaCl<sub>2</sub> 10 mM, relação solução: solo 2,5:1; CTC<sub>pH 7,0</sub> = capacidade de troca catiônica potencial. <sup>1</sup>Média ± SD de uma triplicata (n = 3).

### 2.3 PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

Os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram obtidos a partir da fermentação em estado sólido de seis resíduos agrônômicos *in natura* para o cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* de acordo com a metodologia de Estrada e Pecchia (2017) e Zárate-Salazar et al. (2020) no módulo do Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) da UFPB. Todos os SMS foram produzidos após 45 dias de fermentação em estado sólido, com exceção do SMS da borra de café que foi com 80 dias.

A caracterização química (Tabela 9) dos SMS do bagaço de cana, brotos de abacaxi, folhas de bananeira, fibra de coco e restolho de milho, respectivamente, foi apresentada no Cap. II intitulado “Enriquecimento mineral de resíduos agrônômicos *in natura* por fermentação em estado sólido no cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)”. A caracterização química do SMS da borra de café para a o carbono orgânico, pH e CE é apresentada no trabalho de Monteiro (2022), as demais análises foram realizadas posteriormente.

**Tabela 9** – Características químicas dos substratos pós-cultivo de cogumelos de *P. ostreatus*.

Substrato pós-cultivo de cogumelos	pH	CE	CO	N
		(dS m <sup>-1</sup> )	———— % ————	
Folhas de bananeira	5,46 ± 0,02	0,407 ± 0,008	32,12 ± 1,93	1,33 ± 0,10
Fibra de coco	5,60 ± 0,01	0,174 ± 0,003	31,43 ± 1,13	0,44 ± 0,03
Restolho de milho	5,58 ± 0,04	0,274 ± 0,015	33,11 ± 2,17	1,61 ± 0,07
Brotos de abacaxi	5,92 ± 0,02	0,271 ± 0,006	35,46 ± 2,60	0,88 ± 0,04
Bagaço de cana	4,60 ± 0,02	0,128 ± 0,005	37,87 ± 1,59	0,48 ± 0,02
<sup>1</sup> Borra de café	4,14 ± 0,01	0,715 ± 0,026	44,19 ± 0,52	2,13 ± 0,07

pH = potencial hidrogeniônico em relação substrato: água 1:20 m/v; CE = condutividade elétrica em relação substrato: água 1:20 m/v; CO = teor de carbono orgânico (Yeomans e Bremner, 1988); N = teor de nitrogênio (Método Kjeldahl). <sup>1</sup> As análises de pH, CE e CO reportadas em Monteiro (2022). Média ± SE, *n* = 3.

**Tabela 9** – Continuação.

Substrato pós-cultivo de cogumelos	C/N	Cel	Hem	Lig
		———— % ————		
Folhas de bananeira	24,83 ± 3,22	21,23 ± 0,76	16,79 ± 0,62	2,98 ± 0,08
Fibra de coco	72,69 ± 6,84	42,99 ± 0,75	9,67 ± 0,62	28,15 ± 1,21
Restolho de milho	20,63 ± 1,41	32,60 ± 1,17	17,44 ± 0,27	4,78 ± 0,21
Brotos de abacaxi	40,87 ± 4,01	28,98 ± 0,34	17,77 ± 0,54	4,42 ± 0,17
Bagaço de cana	78,42 ± 2,70	45,07 ± 0,52	18,10 ± 0,64	8,89 ± 0,26
Borra de café	20,74 ± 2,28	26,71 ± 0,23	17,99 ± 1,00	17,17 ± 0,68

C/N = relação carbono-nitrogênio; Cel = teor de celulose (FDA – lignina); Hem = teor de hemicelulose (FDN – FDA); Lig = teor de lignina (Método Klason). Fibra detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA) ambas determinadas pelo método Van Soest (1967). Média ± SE, *n* = 3.

Por outro lado, o critério de seleção dos SMS foi baseado nos resultados de dois experimentos prévios. No primeiro experimento, identificamos os SMS que favoreceram significativamente o condicionamento químico da fertilidade do solo em cinco períodos de incubação (15, 30, 45, 60 e 75 dias) (SOUZA, 2020). No segundo ensaio, selecionamos os SMS que contribuíram com o aumento do condicionamento biológico do solo (atividade microbiológica) por meio de avaliações respirométricas de acordo com Curl e Rodriguez-Kabana (1972) com algumas modificações. Para esse fim foram utilizados potes com vedação

total para incubar o solo com os substratos lignocelulósicos (Figura 19) durante 75 dias. A captura, titulação e cálculo do carbono evoluído dos substratos pós-cultivo de cogumelos foi realizado em períodos de cinco dias até completar 15 avaliações em todo o período de incubação.

**Figura 19:** Ensaio respirométrico. Luvissoilo Crômico incubado em vaso com vedação total (esquerda), mistura de NaOH 0,5M e BaCl<sub>2</sub> 0,5M antes (meio) e depois (direita) da titulação com HCl 0,1M.



Fonte: Zárte-Salazar, J. R. (2022).

O condicionamento químico e biológico observado em ambos os experimentos foram definitivos para a seleção dos SMS, os quais utilizamos para dosagem e incubação no solo em condições de casa de vegetação apresentadas neste capítulo. Até antes da aplicação no solo, os SMS selecionados foram mantidos em recipientes de plástico vedados hermeticamente em ambiente escuro e seco.

#### 2.4 DOSAGEM DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

Os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram aplicados nas doses de 0,7; 1,4; 2,1; 2,8 e 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono orgânico (CO) equivalentes aos teores encontrados em 2; 4; 6; 8 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de restolho de milho *in natura* (35,36% de CO, ver Tabela 5 – Cap. II), respectivamente. Por relação de grandezas considerando 1 ha de Luvissoilo Crômico, 0,20 m de profundidade e 1,46 Mg m<sup>-3</sup> de densidade aparente, foram calculadas as biomassas dos SMS incorporados em 500 g de TFSA de Luvissoilo Crômico contidos em vasos de 500 mL de capacidade (Tabela 10, Figura 20).

Após a incorporação dos SMS, a umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de campo com irrigações intercaladas em períodos de um dia. O registro das condições ambientais da casa de vegetação foi realizado diariamente com auxílio de um termo-higrômetro,

registrando-se  $22,40 \pm 1,34^{\circ}\text{C}$  de temperatura atual,  $17,30 \pm 0,31^{\circ}\text{C}$  de temperatura mínima,  $41,94 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima e  $62,85 \pm 8,23\%$  de umidade relativa durante 120 dias de incubação.

**Tabela 10** – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos pós-cultivo de cogumelos incorporados em Luvisolo Crômico.

<sup>1</sup> Dose padrão		<sup>2</sup> Biomassa dos substratos pós-cultivo de cogumelos					
Biomassa de referência	Carbono orgânico	BG	BA	FC	FB	RM	BC
_____ Mg ha <sup>-1</sup> _____		_____ g vaso <sup>-1</sup> _____					
0	-	-	-	-	-	-	-
2	0,707	0,363	0,392	0,433	0,421	0,418	0,292
4	1,415	0,727	0,783	0,866	0,842	0,836	0,583
6	2,122	1,090	1,175	1,298	1,263	1,254	0,875
8	2,829	1,453	1,567	1,731	1,684	1,672	1,167
10	3,536	1,816	1,959	2,164	2,105	2,090	1,458

BG = Bagaço de cana (CO = 37,87%); BA = brotos de abacaxi (CO = 35,46%); FC = fibra de coco (CO = 31,43%); FB = folhas de bananeira (CO = 32,12%); RM = restolho de milho (CO = 33,11%) e BC = borra de café (CO = 45,20%). <sup>1</sup>Calculado com a biomassa de referência vezes o teor de carbono orgânico, onde a biomassa de referência trata-se do resíduo agrônomo de restolho de milho *in natura* (CO = 35,36%); <sup>2</sup>Determinado para 10.000 m<sup>2</sup>, 0,20 m de profundidade, 1,46 Mg m<sup>-3</sup> de densidade aparente e 500 g de TFSA de Luvisolo Crômico em vaso de 500 mL de capacidade.

**Figura 20:** Luvisolo Crômico incubado em vaso após incorporação de um substrato pós-cultivo de cogumelo durante o período de incubação em casa de vegetação.



Fonte: Zárate-Salazar, J. R. (2022).

## 2.5 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Ao finalizar os 120 dias de incubação, os solos de cada vaso foram retirados e secos em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  até atingir peso constante, peneirado em malha de 2 mm (10 Mesh) e armazenado

em recipientes fechados e mantidos em ambiente escuro e seco. De acordo com a metodologia da Embrapa (2019) foram realizadas as análises de fertilidade do solo determinando pH em água ( $pH_{H_2O}$ ), pH em KCl 1M ( $pH_{KCl}$ ), pH em  $CaCl_2$  10mM ( $pH_{CaCl_2}$ ),  $\Delta pH$  ( $pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ ), condutividade elétrica (CE), fósforo disponível (P), potássio trocável ( $K^+$ ), sódio trocável ( $Na^+$ ), cálcio trocável ( $Ca^{+2}$ ), magnésio trocável ( $Mg^{+2}$ ), soma de bases (SB), acidez ativa ( $Al^{+3}$ ) (se,  $pH_{H_2O} < 5,8$ ), acidez potencial (H+Al) (se,  $pH_{H_2O} < 7,0$ ), capacidade de troca catiônica potencial (T), porcentagem de saturação por bases (V), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total do solo (COT), porcentagem de sódio total (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS).

## 2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial  $6 \times 5 + 1$ , seis substratos pós-cultivo de cogumelos de *P. ostreatus* (bagaço de cana, brotos de abacaxi, borra de café, fibra de coco, folhas de bananeira e restolho de milho), cinco doses de carbono orgânico (0,7; 1,4; 2,1; 2,8 e 3,5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) e tratamento controle, solo sem incorporação de material orgânico externo (dose zero), com três repetições totalizando 93 unidades experimentais. Uma unidade experimental foi constituída de um vaso de 500 mL com 500 g de TFSA de Luvisolo Crômico com a incorporação de um tipo de substrato pós-cultivo de cogumelos de *P. ostreatus*.

## 2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram executadas no ambiente estatístico do software R versão 4.2.1 (R CORE TEAM, 2022) empregando os pacotes *agricolae* (MENDIBURU, 2021), *tydiverse* (WICKHAM et al., 2019) e *ExpDesp* (FERREIRA et al., 2021). Os resultados foram analisados seguindo os protocolos de diagnóstico Zuur et al. (2010) e Zuur e Leno (2016), assim verificamos os supostos de distribuição normal e homogeneidade das variâncias de resíduos de acordo aos testes de Shapiro-Wilk e teste de Bartlett ao 5% de significância ( $P \geq 0,05$ ), respectivamente. Cumprindo esses pressupostos, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) e, quando significativos ( $P < 0,05$ ), as médias dos tratamentos foram analisadas por meio do teste de Scott-Knott ao 5% de nível de significância ( $P < 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS

Os efeitos da incubação do solo sobre as características da fertilidade do solo da dose zero (tratamento controle) foram revisadas (Tabela 11) antes de realizar as análises de regressão. Nela observamos que a condutividade elétrica (CE), sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ), porcentagem de sódio total (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) foram as únicas variáveis que apresentaram aumento significativo ( $P < 0,05$ ), em relação ao Luvisolo Crômico *in natura* (solo não incubado). Esta observação sugere que a variação dessas variáveis é resposta do aporte da água de irrigação ( $\text{CE} = 0,01 \text{ dS m}^{-1}$ ) que foi realizada para manter o solo em 80% da sua capacidade de campo durante o período de incubação (120 dias). Esta verificação previa foi necessária para antecipar qualquer erro de interpretação por fatores externos que não são próprios do solo ou dos SMS em estudo.

**Tabela 11** – Análise química do Luvisolo Crômico sem incorporação do SMS (dose zero) incubado durante 120 dias.

Análise química	<sup>1</sup> Valores
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	$6,25 \pm 0,04$
$\text{pH}_{\text{KCl}}$	$5,02 \pm 0,02$
$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	$5,64 \pm 0,03$
$\Delta \text{pH} (\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}})$	$-1,23 \pm 0,06$
Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )	$0,42 \pm 0,02 \uparrow$
Carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$4,60 \pm 0,32$
Matéria orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ )	$3,36 \pm 0,09$
Cinzas ( $\text{dag kg}^{-1}$ )	$96,64 \pm 0,09$
Fósforo disponível ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	$23,00 \pm 3,03$
$\text{Ca}^{+2}$ trocável ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$3,55 \pm 0,14$
$\text{Mg}^{+2}$ trocável ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$3,30 \pm 0,06$
$\text{Na}^+$ trocável ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$0,42 \pm 0,01 \uparrow$
$\text{K}^+$ trocável ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$0,24 \pm 0,01$
Soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$7,52 \pm 0,12$
Acidez potencial (A1 + H) ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$2,82 \pm 0,00$
$\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$10,33 \pm 0,12$
Porcentagem de saturação de bases (%)	$72,74 \pm 0,31$
Porcentagem de sódio total (%)	$4,08 \pm 0,05 \uparrow$
Razão de adsorção de sódio	$0,23 \pm 0,00 \uparrow$

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  = pH em água, relação água: solo 2,5:1 v/m;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  = pH em KCl 1M, relação solução: solo 2,5:1 v/m;  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  = pH em  $\text{CaCl}_2$  10 mM, relação solução: solo 2,5:1;  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  = capacidade de troca catiônica potencial.  $\uparrow$  Aumento significativo do solo na dose zero (tratamento controle) em relação ao solo coletado *in natura* de acordo ao teste *t* a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). <sup>1</sup>Média  $\pm$  SE,  $n = 3$ .

Os efeitos das seis doses de carbono orgânico (considerando a dose zero) sobre o pH e condutividade elétrica (CE) do solo após 120 de incubação são apresentadas na Tabela 12. Verificamos que todos os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS), com exceção da fibra de coco, apresentaram regressão significativa ( $P < 0,05$ ) com pelo menos uma das três medidas analisadas de pH do solo ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ). Além disso, descritivamente, em média, sem considerar a dose aplicada, foi possível notar que os SMS de brotos de abacaxi ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,38$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,15$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,78$ ), SMS de bagaço de cana ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,35$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,15$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,79$ ) e SMS das folhas de bananeira ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,40$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,09$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,72$ ) apresentaram sempre os maiores valores de pH até em mais de 1% do que os SMS da borra de café ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,29$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,05$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,67$ ), SMS do restolho de milho ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,24$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,06$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,68$ ) e SMS da fibra de coco ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,26$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,02$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,65$ ).

Em relação ao  $\Delta\text{pH}$ , o SMS das folhas de bananeira ( $\Delta\text{pH} = -1,31$ ) foi único SMS que apresentou influência significativa ( $P < 0,05$ ) na eletronegatividade do solo em relação às doses de carbono aplicadas, inclusive, tornando até 6,5% mais eletronegativo o solo em relação da dose zero ( $\Delta\text{pH} = -1,23$ ) e os outros SMS (Tabela 12). Paralelamente, analisando a resposta da CE do solo em função das doses de carbono incorporado, foram os SMS das folhas das bananeiras, SMS da fibra de coco, SMS da borra de café e SMS dos brotos de abacaxi, que apresentaram regressão linear significativa ( $P < 0,05$ ), no entanto, em média, dentre esses SMS, foi apenas o SMS das folhas de bananeira ( $\text{CE} = 0,34 \text{ dS m}^{-1}$ ) que provocou a redução em 13% da CE em relação aos demais SMS, incluindo também a dose zero ( $\text{CE} = 0,42 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Tabela 12).

**Tabela 12** – Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica após 120 dias de incubação no solo com diferentes dosificações dos substratos pós-cultivo de cogumelos (incluindo a dose zero).

Substrato pós-cultivo	Dose CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>CaCl2</sub>	ΔpH	CE
						(dS m <sup>-1</sup> )
Folhas de bananeira	0,7	6,31 ± 0,04	5,07 ± 0,01	5,71 ± 0,03	-1,24 ± 0,05	0,387 ± 0,013
	1,4	6,33 ± 0,04	5,05 ± 0,03	5,73 ± 0,03	-1,27 ± 0,04	0,360 ± 0,016
	2,1	6,44 ± 0,03	5,12 ± 0,01	5,70 ± 0,03	-1,33 ± 0,03	0,317 ± 0,012
	2,8	6,43 ± 0,02	5,10 ± 0,02	5,73 ± 0,02	-1,32 ± 0,03	0,331 ± 0,008
	3,5	6,47 ± 0,05	5,10 ± 0,05	5,74 ± 0,02	-1,37 ± 0,05	0,327 ± 0,006
<i>Regressão linear</i>		*	*	n.s.	*	*
Fibra de coco	0,7	6,23 ± 0,02	5,06 ± 0,05	5,65 ± 0,01	-1,17 ± 0,06	0,403 ± 0,013
	1,4	6,21 ± 0,01	4,99 ± 0,04	5,63 ± 0,04	-1,21 ± 0,05	0,407 ± 0,008
	2,1	6,26 ± 0,04	5,01 ± 0,02	5,66 ± 0,01	-1,25 ± 0,03	0,408 ± 0,032
	2,8	6,35 ± 0,04	5,03 ± 0,04	5,69 ± 0,03	-1,32 ± 0,01	0,389 ± 0,013
	3,5	6,27 ± 0,03	4,99 ± 0,04	5,63 ± 0,01	-1,28 ± 0,02	0,381 ± 0,012
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Borra de café	0,7	6,25 ± 0,04	5,04 ± 0,01	5,61 ± 0,02	-1,21 ± 0,03	0,396 ± 0,017
	1,4	6,30 ± 0,04	5,03 ± 0,01	5,65 ± 0,03	-1,27 ± 0,03	0,412 ± 0,005
	2,1	6,28 ± 0,01	5,02 ± 0,02	5,71 ± 0,02	-1,26 ± 0,01	0,374 ± 0,023
	2,8	6,30 ± 0,01	5,05 ± 0,01	5,72 ± 0,06	-1,24 ± 0,01	0,387 ± 0,018
	3,5	6,34 ± 0,01	5,08 ± 0,01	5,69 ± 0,01	-1,26 ± 0,00	0,327 ± 0,009
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	n.s.	n.s.	*
Restolho de milho	0,7	6,28 ± 0,03	5,02 ± 0,03	5,67 ± 0,02	-1,26 ± 0,03	0,407 ± 0,009
	1,4	6,20 ± 0,02	5,06 ± 0,01	5,66 ± 0,01	-1,15 ± 0,03	0,449 ± 0,017
	2,1	6,19 ± 0,06	5,07 ± 0,01	5,65 ± 0,02	-1,12 ± 0,05	0,432 ± 0,016
	2,8	6,26 ± 0,01	5,10 ± 0,02	5,71 ± 0,02	-1,16 ± 0,01	0,393 ± 0,014
	3,5	6,25 ± 0,04	5,07 ± 0,01	5,71 ± 0,02	-1,18 ± 0,03	0,433 ± 0,007
<i>Regressão linear</i>		n.s.	*	*	n.s.	n.s.
Brotos de abacaxi	0,7	6,29 ± 0,04	5,05 ± 0,03	5,72 ± 0,02	-1,24 ± 0,04	0,412 ± 0,008
	1,4	6,36 ± 0,02	5,09 ± 0,05	5,69 ± 0,05	-1,27 ± 0,03	0,359 ± 0,005
	2,1	6,46 ± 0,01	5,19 ± 0,03	5,82 ± 0,02	-1,27 ± 0,03	0,336 ± 0,008
	2,8	6,40 ± 0,03	5,20 ± 0,01	5,83 ± 0,00	-1,20 ± 0,03	0,346 ± 0,005
	3,5	6,41 ± 0,04	5,24 ± 0,01	5,84 ± 0,02	-1,16 ± 0,05	0,352 ± 0,007
<i>Regressão linear</i>		*	*	*	n.s.	*
Bagaço de cana	0,7	6,21 ± 0,01	5,02 ± 0,03	5,68 ± 0,02	-1,19 ± 0,02	0,446 ± 0,011
	1,4	6,34 ± 0,04	5,12 ± 0,01	5,77 ± 0,04	-1,23 ± 0,05	0,387 ± 0,012
	2,1	6,40 ± 0,04	5,18 ± 0,00	5,79 ± 0,03	-1,22 ± 0,05	0,381 ± 0,008
	2,8	6,38 ± 0,03	5,21 ± 0,01	5,84 ± 0,01	-1,17 ± 0,03	0,397 ± 0,010
	3,5	6,43 ± 0,01	5,24 ± 0,01	5,88 ± 0,02	-1,18 ± 0,03	0,395 ± 0,008
<i>Regressão linear</i>		*	*	*	n.s.	n.s.

Dose CO = dose de carbono orgânico incorporado. pH<sub>H2O</sub> = pH em água, relação água:solo 2,5:1 v/m; pH<sub>KCl</sub> = pH em KCl 1M, relação solução:solo 2,5:1 v/m; pH<sub>CaCl2</sub> = pH em CaCl<sub>2</sub> 10 mM, relação solução:solo 2,5:1 v/m; ΔpH = (pH<sub>H2O</sub> — pH<sub>KCl</sub>); CE = condutividade elétrica em relação água:solo 2,5:1 v/m. Regressão linear significativa (\*) e não significativa (n.s.) a 5% de significância de acordo ao teste F ( $P < 0,05$ ). Média ± SE,  $n = 3$ .

Os efeitos dos tratamentos aplicados no solo (considerando a dose zero) no carbono total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível e bases trocáveis ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) após 120 de incubação foram analisadas (Tabela 13). Observou-se que apenas os modelos lineares dos SMS das folhas de bananeira e SMS da borra de café foram significativos ( $P < 0,05$ ) para o carbono total do solo e, praticamente, invariáveis (sem regressão linear) em relação aos outros parâmetros da fertilidade do solo. De forma descritiva, em média de todas as doses, como era de esperar, em todos os SMS aumentaram em mais de 40% o teor de carbono total do solo, sendo o SMS dos brotos de abacaxi ( $\text{COT} = 6,70 \text{ g kg}^{-1}$ ) o maior valor.

Os SMS do restolho de milho e SMS dos brotos de abacaxi mostraram regressões significativas ( $P < 0,05$ ) para o potássio trocável, no entanto, apenas o SMS do restolho de milho foi significativo para o magnésio trocável (Tabela 13). Descritivamente, ambos SMS, restolho de milho ( $\text{K}^+ = 0,26 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e brotos de abacaxi ( $\text{K}^+ = 0,27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), em média para todas as doses, aumentaram o teor de potássio trocável do solo em mais de 8% da dose zero ( $\text{K}^+ = 0,24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Em relação ao magnésio trocável do solo, em média, o SMS de restolho de milho ( $\text{Mg}^{+2} = 3,47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e SMS borra de café ( $\text{Mg}^{+2} = 3,51 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) aumentaram em mais de 5% do que foi quantificado na dose zero ( $\text{Mg}^{+2} = 3,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (Tabela 13).

Para a matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível, cálcio e sódio trocável, todos os SMS mostraram-se inconsistentes, invariáveis e não significativos ( $P \geq 0,05$ ) nas suas respectivas regressões lineares em função das doses de carbono orgânico incorporado no solo (Tabela 13). No entanto, descritivamente os SMS em cada variável apresentaram comportamentos distintos ao considerar os seus maiores valores. Assim, para a matéria orgânica do solo (MOS), os SMS de fibra de coco (MOS =  $3,90 \text{ dag kg}^{-1}$ ), SMS do restolho de milho (MOS =  $3,90 \text{ dag kg}^{-1}$ ), SMS dos brotos de abacaxi (MOS =  $3,91 \text{ dag kg}^{-1}$ ) e SMS do bagaço de cana (MOS =  $3,94 \text{ dag kg}^{-1}$ ) aumentaram os valores de MOS em mais de 18% em comparação à dose zero (MOS =  $3,30 \text{ dag kg}^{-1}$ ) (Tabela 13).

Para o fósforo disponível, os SMS de borra de café ( $\text{P} = 23,20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e SMS do restolho de milho ( $\text{P} = 22,93 \text{ mg kg}^{-1}$ ), se mantiveram constante o valor de fósforo disponível em relação à dose zero ( $\text{P} = 23,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 13). Em todos os demais SMS observou-se uma queda de pelo menos 10% de P. Para o cálcio trocável, o SMS do bagaço de cana ( $\text{Ca}^{+2} = 3,83 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) foi o substrato que aumentou em 7,88% o teor deste elemento em relação à dose zero ( $\text{Ca}^{+2} = 3,55 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Para o sódio trocável, em média, todos os SMS, sem distinção, aumentaram em até 12% os seus valores em relação ao solo que não recebeu dosificação ( $\text{Na}^+ = 0,38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (Tabela 13).

**Tabela 13** – Carbono total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível e bases trocáveis após 120 dias de incubação no solo com diferentes dosificações dos substratos pós-cultivo de cogumelos (incluindo a dose zero).

Substrato pós-cultivo	Dose CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	COT	MOS	Cz	P	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
		(g kg <sup>-1</sup> )	— dag kg <sup>-1</sup> —		(mg kg <sup>-1</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
Folhas de bananeira	0,7	6,41 ± 0,61	3,86 ± 0,09	96,14 ± 0,09	19,49 ± 0,58	3,71 ± 0,07	3,35 ± 0,06	0,219 ± 0,005	0,407 ± 0,009
	1,4	5,32 ± 0,51	3,75 ± 0,20	96,25 ± 0,20	26,46 ± 6,32	3,85 ± 0,07	3,27 ± 0,19	0,221 ± 0,009	0,390 ± 0,009
	2,1	5,96 ± 1,08	3,58 ± 0,16	96,42 ± 0,16	20,79 ± 1,96	3,75 ± 0,18	3,43 ± 0,08	0,250 ± 0,020	0,410 ± 0,006
	2,8	6,61 ± 1,05	3,61 ± 0,19	96,39 ± 0,19	19,82 ± 1,17	3,65 ± 0,14	3,47 ± 0,26	0,221 ± 0,005	0,398 ± 0,010
	3,5	7,31 ± 0,57	3,91 ± 0,24	96,09 ± 0,24	22,37 ± 2,10	3,91 ± 0,14	3,33 ± 0,14	0,238 ± 0,005	0,424 ± 0,010
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fibra de coco	0,7	5,48 ± 0,80	3,64 ± 0,49	96,36 ± 0,49	22,71 ± 1,13	3,68 ± 0,06	3,37 ± 0,05	0,229 ± 0,007	0,410 ± 0,019
	1,4	5,91 ± 0,13	3,86 ± 0,08	96,14 ± 0,08	20,94 ± 0,82	3,71 ± 0,07	3,21 ± 0,06	0,238 ± 0,002	0,433 ± 0,000
	2,1	6,58 ± 1,46	3,96 ± 0,08	96,04 ± 0,08	20,94 ± 0,92	3,85 ± 0,09	3,31 ± 0,14	0,239 ± 0,002	0,430 ± 0,008
	2,8	7,09 ± 1,13	4,38 ± 0,24	95,62 ± 0,24	19,97 ± 0,43	3,58 ± 0,00	3,62 ± 0,15	0,234 ± 0,005	0,424 ± 0,000
	3,5	5,50 ± 0,36	3,68 ± 0,17	96,32 ± 0,17	24,75 ± 1,72	3,65 ± 0,09	3,37 ± 0,06	0,251 ± 0,008	0,444 ± 0,014
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Borra de café	0,7	5,44 ± 0,53	3,70 ± 0,19	96,30 ± 0,19	20,53 ± 0,23	3,71 ± 0,18	3,56 ± 0,21	0,236 ± 0,000	0,424 ± 0,005
	1,4	5,83 ± 0,81	3,85 ± 0,11	96,15 ± 0,11	27,19 ± 5,71	3,85 ± 0,09	3,51 ± 0,12	0,246 ± 0,006	0,424 ± 0,000
	2,1	6,37 ± 0,13	3,80 ± 0,19	96,20 ± 0,19	19,93 ± 0,06	3,71 ± 0,03	3,41 ± 0,12	0,236 ± 0,000	0,430 ± 0,010
	2,8	6,63 ± 0,28	3,58 ± 0,07	96,42 ± 0,07	19,09 ± 0,31	3,58 ± 0,06	3,55 ± 0,12	0,234 ± 0,007	0,416 ± 0,013
	3,5	6,41 ± 0,68	3,82 ± 0,16	96,18 ± 0,16	29,24 ± 7,40	3,75 ± 0,03	3,52 ± 0,12	0,251 ± 0,005	0,433 ± 0,013
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Dose CO = dose de carbono orgânico incorporado. COT = carbono orgânico total; MOS = matéria orgânica do solo; Cz = cinzas; P = fósforo disponível; Ca<sup>+2</sup> = cálcio trocável; Mg<sup>+2</sup> = magnésio trocável; K<sup>+</sup> = potássio trocável; Na<sup>+</sup> = sódio trocável. Regressão linear significativa (\*) e não significativa (n.s.) de acordo ao teste Fisher a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). Média ± SE,  $n = 3$ .

**Tabela 13** – Continuação.

Substrato pós-cultivo	Dose CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	COT	MOS	Cz	P	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
		(g kg <sup>-1</sup> )	— dag kg <sup>-1</sup> —		(mg kg <sup>-1</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
Restolho de milho	0,7	4,90 ± 0,56	3,77 ± 0,30	96,23 ± 0,30	24,24 ± 3,99	3,75 ± 0,12	3,33 ± 0,23	0,243 ± 0,011	0,442 ± 0,023
	1,4	6,57 ± 0,70	3,68 ± 0,05	96,32 ± 0,05	20,99 ± 1,10	3,81 ± 0,12	3,30 ± 0,07	0,248 ± 0,009	0,444 ± 0,017
	2,1	6,97 ± 0,38	4,06 ± 0,18	95,94 ± 0,18	21,42 ± 1,12	3,52 ± 0,13	3,55 ± 0,12	0,265 ± 0,007	0,450 ± 0,013
	2,8	5,99 ± 0,52	4,16 ± 0,14	95,84 ± 0,14	24,31 ± 0,80	3,71 ± 0,09	3,62 ± 0,12	0,263 ± 0,015	0,456 ± 0,045
	3,5	6,83 ± 0,27	3,84 ± 0,04	96,16 ± 0,04	23,67 ± 0,48	3,71 ± 0,09	3,55 ± 0,06	0,275 ± 0,005	0,436 ± 0,008
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.
Brotos de abacaxi	0,7	6,73 ± 0,28	3,76 ± 0,12	96,24 ± 0,12	19,21 ± 0,12	3,68 ± 0,10	3,23 ± 0,14	0,236 ± 0,003	0,419 ± 0,016
	1,4	6,00 ± 0,61	3,97 ± 0,30	96,03 ± 0,30	18,80 ± 1,18	3,85 ± 0,20	3,30 ± 0,17	0,255 ± 0,005	0,450 ± 0,026
	2,1	7,19 ± 0,24	3,90 ± 0,16	96,10 ± 0,16	19,17 ± 0,58	3,68 ± 0,15	3,42 ± 0,12	0,272 ± 0,005	0,430 ± 0,003
	2,8	7,28 ± 0,80	3,95 ± 0,21	96,05 ± 0,21	19,21 ± 0,57	3,85 ± 0,09	3,30 ± 0,21	0,291 ± 0,002	0,442 ± 0,009
	3,5	6,30 ± 0,23	3,98 ± 0,05	96,02 ± 0,05	19,42 ± 1,03	3,75 ± 0,20	3,56 ± 0,15	0,302 ± 0,003	0,436 ± 0,011
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
Bagaço de cana	0,7	6,70 ± 0,53	3,97 ± 0,22	96,03 ± 0,22	20,49 ± 0,58	3,91 ± 0,13	3,08 ± 0,11	0,224 ± 0,002	0,401 ± 0,008
	1,4	5,29 ± 0,73	3,93 ± 0,41	96,07 ± 0,41	20,06 ± 1,06	3,81 ± 0,07	3,37 ± 0,11	0,255 ± 0,005	0,444 ± 0,021
	2,1	6,84 ± 1,22	3,91 ± 0,11	96,09 ± 0,11	19,71 ± 0,48	3,85 ± 0,09	3,50 ± 0,07	0,239 ± 0,003	0,433 ± 0,005
	2,8	6,91 ± 0,70	3,89 ± 0,00	96,11 ± 0,00	19,58 ± 1,24	3,81 ± 0,13	3,42 ± 0,03	0,248 ± 0,003	0,407 ± 0,005
	3,5	7,16 ± 0,17	3,97 ± 0,26	96,03 ± 0,26	19,72 ± 0,65	3,75 ± 0,03	3,66 ± 0,12	0,263 ± 0,007	0,433 ± 0,005
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Dose CO = dose de carbono orgânico incorporado. COT = carbono orgânico total; MOS = matéria orgânica do solo; Cz = cinzas; P = fósforo disponível; Ca<sup>+2</sup> = cálcio trocável; Mg<sup>+2</sup> = magnésio trocável; K<sup>+</sup> = potássio trocável; Na<sup>+</sup> = sódio trocável. Regressão linear significativa (\*) e não significativa (n.s.) de acordo ao teste Fisher a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). Média ± SE,  $n = 3$ .

Os efeitos dos tratamentos em relação à acidez potencial (Al + H), capacidade de troca catiônica potencial (T), a percentagem de saturação de bases (V), a percentagem de sódio total (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) após 120 de incubação estão resumidas na Tabela 14. Nela verifica-se que os SMS de folhas de bananeira, SMS do restolho de milho, SMS dos brotos de abacaxi e SMS do bagaço de cana apresentaram regressões significativas ( $P < 0,05$ ) com a soma de bases. Nesse aspecto, descritivamente, em média para todas as doses, foram os SMS do bagaço de cana ( $SB = 7,90 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), SMS da borra de café ( $SB = 7,90 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e SMS do restolho de milho ( $SB = 7,88 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) que elevaram em 5% a soma de bases do solo em relação à dose zero ( $SB = 7,52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

O SMS dos brotos de abacaxi foi o único SMS que apresentou influência significativa ( $P < 0,05$ ) na acidez potencial, neste caso, isto representou que à medida que as doses de carbono orgânico ocorrente deste SMS foram incorporadas ao solo, este reduziu os níveis de acidez potencial do solo (Tabela 14). Isto também foi observado descritivamente, pois o SMS dos brotos de abacaxi ( $Al + H = 2,60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), independente da dose incorporada, em média, reduziram em até 7,80% a acidez potencial do solo em relação da dose zero ( $Al + H = 2,82 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

Os SMS de folhas de bananeira, SMS do restolho de milho e SMS do bagaço de cana evidenciaram efeito significativo ( $P < 0,05$ ) nas suas respectivas regressões em relação à capacidade de troca catiônica potencial do solo (T) (Tabela 14). Deste o ponto de vista descritivo, considerando a médias em todas as doses, foram os SMS do restolho de milho ( $T = 10,72 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e SMS da borra de café ( $T = 10,79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) que elevaram a capacidade de troca catiônica em 3,77% em relação à dose zero ( $T = 10,33 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

Os SMS de folhas de bananeira e SMS dos brotos de abacaxi foram identificados como os SMS que apresentaram regressões positivas e significativas ( $P < 0,05$ ) sobre a percentagem de saturação de bases (Tabela 14). Este efeito foi confirmado descritivamente para os SMS dos brotos de abacaxi ( $V = 75,11\%$ ) que aumentou, em média, 3,25% a percentagem de saturação de bases do solo em relação da dose zero ( $V = 72,74\%$ ). No entanto, é importante destacar que todos os SMS, sem exceção, em média elevaram o V (%) em pelo menos 1,5%. Entretanto, os SMS, sem exceção, não apresentaram regressões significativas ( $P \geq 0,05$ ) com a percentagem de sódio total (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) e, praticamente, os valores não foram alterados em relação ao solo da dose zero (PST = 4,08% e RAS = 0,23) (Tabela 14).

**Tabela 14** – Soma de bases, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial, porcentagem de saturação de bases, porcentagem de sódio total e razão de adsorção de sódio após 120 dias de incubação no solo com diferentes dosagens dos substratos pós-cultivo de cogumelos (incluindo a dose zero).

Substrato pós-cultivo	Dose C (Mg ha <sup>-1</sup> )	SB	Al + H	CTC <sub>pH 7,0</sub>	V	PST	RAS
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			%		
Folhas de bananeira	0,7	7,69 ± 0,13	2,82 ± 0,10	10,51 ± 0,04	73,20 ± 0,99	3,87 ± 0,08	0,217 ± 0,004
	1,4	7,73 ± 0,14	2,76 ± 0,06	10,49 ± 0,20	73,69 ± 0,03	3,71 ± 0,01	0,207 ± 0,003
	2,1	7,84 ± 0,16	2,76 ± 0,06	10,60 ± 0,15	73,94 ± 0,62	3,87 ± 0,11	0,217 ± 0,005
	2,8	7,74 ± 0,12	2,76 ± 0,15	10,50 ± 0,08	73,72 ± 1,29	3,80 ± 0,11	0,211 ± 0,007
	3,5	7,91 ± 0,12	2,82 ± 0,10	10,72 ± 0,22	73,75 ± 0,35	3,96 ± 0,09	0,223 ± 0,005
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
Fibra de coco	0,7	7,69 ± 0,11	2,98 ± 0,10	10,68 ± 0,19	72,08 ± 0,47	3,84 ± 0,16	0,218 ± 0,009
	1,4	7,59 ± 0,07	2,71 ± 0,06	10,30 ± 0,07	73,72 ± 0,49	4,20 ± 0,03	0,233 ± 0,001
	2,1	7,82 ± 0,06	2,87 ± 0,06	10,69 ± 0,12	73,16 ± 0,24	4,02 ± 0,07	0,227 ± 0,004
	2,8	7,86 ± 0,14	2,98 ± 0,17	10,84 ± 0,30	72,54 ± 0,81	3,92 ± 0,11	0,224 ± 0,002
	3,5	7,72 ± 0,02	2,82 ± 0,10	10,53 ± 0,11	73,28 ± 0,62	4,22 ± 0,14	0,237 ± 0,008
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Borra de café	0,7	7,94 ± 0,35	2,87 ± 0,15	10,81 ± 0,47	73,44 ± 0,65	3,94 ± 0,18	0,223 ± 0,007
	1,4	8,02 ± 0,11	2,82 ± 0,00	10,84 ± 0,11	74,01 ± 0,26	3,91 ± 0,04	0,221 ± 0,002
	2,1	7,79 ± 0,12	2,82 ± 0,00	10,60 ± 0,12	73,43 ± 0,30	4,05 ± 0,05	0,228 ± 0,004
	2,8	7,79 ± 0,11	2,76 ± 0,11	10,55 ± 0,02	73,82 ± 1,04	3,94 ± 0,12	0,220 ± 0,006
	3,5	7,95 ± 0,11	3,20 ± 0,06	11,16 ± 0,07	71,29 ± 0,59	3,88 ± 0,09	0,227 ± 0,006
<i>Regressão linear</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Dose CO = dose de carbono orgânico incorporado. SB = soma de bases; Al + H = acidez potencial; CTC<sub>pH 7,0</sub> = capacidade de troca catiônica potencial; V = porcentagem de saturação de bases; PST = porcentagem de sódio total e RAS = razão de adsorção de sódio. Regressão linear significativa (\*) e não significativa (n.s.) de acordo ao teste Fisher a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). Média ± SE,  $n = 3$ .

**Tabela 14** – Continuação.

Substrato pós-cultivo	Dose C (Mg ha <sup>-1</sup> )	SB	Al + H	CTC <sub>pH 7,0</sub>	V	PST	RAS
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			%		
Restolho de milho	0,7	7,76 ± 0,19	2,87 ± 0,06	10,63 ± 0,17	72,98 ± 0,73	4,16 ± 0,24	0,235 ± 0,013
	1,4	7,80 ± 0,10	2,82 ± 0,10	10,62 ± 0,15	73,49 ± 0,67	4,19 ± 0,23	0,236 ± 0,011
	2,1	7,78 ± 0,25	2,71 ± 0,15	10,49 ± 0,39	74,24 ± 0,45	4,30 ± 0,20	0,240 ± 0,008
	2,8	8,06 ± 0,06	2,87 ± 0,15	10,93 ± 0,21	73,75 ± 0,84	4,17 ± 0,36	0,238 ± 0,024
	3,5	7,98 ± 0,04	2,93 ± 0,06	10,91 ± 0,08	73,17 ± 0,35	4,00 ± 0,05	0,229 ± 0,003
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Brotos de abacaxi	0,7	7,57 ± 0,09	2,71 ± 0,15	10,27 ± 0,09	73,68 ± 1,24	4,08 ± 0,19	0,225 ± 0,008
	1,4	7,85 ± 0,09	2,71 ± 0,06	10,56 ± 0,10	74,37 ± 0,43	4,26 ± 0,23	0,238 ± 0,013
	2,1	7,80 ± 0,07	2,60 ± 0,11	10,40 ± 0,09	75,05 ± 0,89	4,14 ± 0,05	0,228 ± 0,003
	2,8	7,88 ± 0,17	2,48 ± 0,10	10,36 ± 0,24	76,03 ± 0,62	4,26 ± 0,08	0,234 ± 0,003
	3,5	8,05 ± 0,07	2,48 ± 0,10	10,53 ± 0,06	76,42 ± 0,82	4,14 ± 0,09	0,228 ± 0,007
<i>Regressão linear</i>		*	*	n.s.	*	n.s.	n.s.
Bagaço de cana	0,7	7,62 ± 0,07	2,82 ± 0,10	10,44 ± 0,11	73,03 ± 0,71	3,85 ± 0,10	0,215 ± 0,004
	1,4	7,88 ± 0,18	2,60 ± 0,11	10,47 ± 0,22	75,22 ± 0,86	4,24 ± 0,19	0,235 ± 0,009
	2,1	8,02 ± 0,06	2,54 ± 0,06	10,56 ± 0,08	75,94 ± 0,42	4,10 ± 0,03	0,226 ± 0,002
	2,8	7,89 ± 0,15	2,76 ± 0,06	10,65 ± 0,17	74,08 ± 0,44	3,82 ± 0,10	0,214 ± 0,005
	3,5	8,11 ± 0,09	2,54 ± 0,11	10,65 ± 0,11	76,15 ± 0,90	4,07 ± 0,09	0,225 ± 0,003
<i>Regressão linear</i>		*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.

Dose CO = dose de carbono orgânico incorporado. SB = soma de bases; Al + H = acidez potencial; CTC<sub>pH 7,0</sub> = capacidade de troca catiônica potencial; V = porcentagem de saturação de bases; PST = porcentagem de sódio total e RAS = razão de adsorção de sódio. Regressão linear significativa (\*) e não significativa (n.s.) de acordo ao teste Fisher a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). Média ± SE,  $n = 3$ .

De acordo com as regressões lineares significativas ( $P < 0,05$ ) (supracitadas acima) entre as doses de carbono orgânico dos SMS e as variáveis da fertilidade do solo, na Tabela 15 agrupamos os coeficientes intercepção ( $a$ ) e inclinação ( $b$ ) das regressões lineares que apresentaram coeficientes de determinação acima de 60% ( $r^2 > 0,60$ ), no entanto, acima de 80% ( $r^2 > 0,80$ ) foram consideradas adequadas para a sua seleção.

**Tabela 15** – Coeficientes das <sup>1</sup>regressões lineares significativas dos parâmetros da fertilidade do solo em função de seis doses de carbono orgânico dos substratos pós-cultivo de cogumelos, incluindo a dose zero, incubados durante 120 dias.

Parâmetro	Substrato pós-cultivo	$a$	$b$	$r^2$
pH <sub>H2O</sub>	Bagaço de cana	6,23	0,058	0,7987
	Borra de café	6,35	0,022	0,8217
	Brotos de abacaxi	6,27	0,049	0,6799
	Folhas de bananeira	6,26	0,063	0,9116
pH <sub>KCl</sub>	Bagaço de cana	5,01	0,069	0,9480
	Brotos de abacaxi	5,02	0,066	0,9560
	Folhas de bananeira	5,04	0,023	0,7220
	Restolho de milho	5,02	0,021	0,7403
pH <sub>CaCl2</sub>	Bagaço de cana	5,65	0,068	0,9770
	Brotos de abacaxi	5,65	0,058	0,8584
	Restolho de milho	5,64	0,020	0,6975
CE	Borra de café	0,42	-0,020	0,6959
	Brotos de abacaxi	0,41	-0,022	0,6911
	Fibra de coco	0,42	-0,009	0,7671
	Folhas de bananeira	0,40	-0,026	0,8142
COT	Borra de café	4,94	0,530	0,8458
	Folhas de bananeira	4,98	0,598	0,6701
Mg <sup>+2</sup>	Restolho de milho	3,27	0,096	0,7376
K <sup>+</sup>	Brotos de abacaxi	0,23	0,019	0,9286
	Restolho de milho	0,24	0,010	0,9023
SB	Bagaço de cana	7,60	0,160	0,8373
	Brotos de abacaxi	7,52	0,143	0,8889
	Folhas de bananeira	7,58	0,088	0,7697
	Restolho de milho	7,59	0,128	0,8106
Al + H	Brotos de abacaxi	2,81	-0,098	0,9433
CTC <sub>pH 7,0</sub>	Bagaço de cana	10,35	0,093	0,9571
	Folhas de bananeira	10,38	0,082	0,7051
	Restolho de milho	10,39	0,146	0,6929
V	Brotos de abacaxi	72,80	1,050	0,9914
	Folhas de bananeira	73,00	0,276	0,6668

pH<sub>H2O</sub> = pH em água, relação água:solo 2,5:1 v/m; pH<sub>KCl</sub> = pH em KCl 1M, relação solução:solo 2,5:1 v/m; pH<sub>CaCl2</sub> = pH em CaCl<sub>2</sub> 10 mM, relação solução:solo 2,5:1 v/m; ΔpH = (pH<sub>H2O</sub> — pH<sub>KCl</sub>); CE = condutividade elétrica (dS m<sup>-1</sup>) em relação água:solo 2,5:1 v/m; Mg<sup>+2</sup> = magnésio trocável (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>); COT = carbono total do solo (g kg<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup> = potássio trocável (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>); SB = soma de bases (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>); Al + H = acidez potencial (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>); CTC<sub>pH 7,0</sub> = capacidade de troca catiônica potencial (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e V = saturação de bases (%). <sup>1</sup>Regressões lineares significativas ( $P < 0,05$ ) com coeficiente de determinação superior a 60% ( $r^2 \geq 0,60$ ).  $a$  = coeficiente de intercepção;  $b$  = coeficiente de inclinação;  $r^2$  = coeficiente de determinação.

A partir da Tabela 15 observa-se o poder de predição ou estimativa das doses de carbono orgânico incorporado com cada substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) nas variáveis analisadas da fertilidade do solo. Desse modo, identifica-se que o SMS das folhas de bananeira foi capaz de estimar o aumento do  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ( $r^2 = 0,91$ ) e redução da CE no solo ( $r^2 = 0,81$ ). O SMS da borra de café, foi o único SMS capaz de estimar com maior predição, o aumento do COT ( $r^2 = 0,84$ ). O SMS do bagaço de cana foi identificado para estimar o aumento do  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  ( $r^2 = 0,95$ ),  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  ( $r^2 = 0,98$ ), SB ( $r^2 = 0,84$ ) e  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  ( $r^2 = 0,96$ ). O SMS dos brotos de abacaxi foi considerado adequado para estimar o aumento do  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  ( $r^2 = 0,96$ ),  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  ( $r^2 = 0,86$ ),  $\text{K}^+$  trocável ( $r^2 = 0,93$ ), SB ( $r^2 = 0,89$ ) e V ( $r^2 = 0,99$ ), além disso foi o único SMS apropriado para estimar a redução da Al + H do solo ( $r^2 = 0,94$ ). Por último, identificou-se que o SMS do restolho de milho pode estimar o aumento da SB ( $r^2 = 0,81$ ),  $\text{K}^+$  trocável ( $r^2 = 0,90$ ) e, excepcional e unicamente, estimar o aumento do  $\text{Mg}^{+2}$  trocável ( $r^2 = 0,74$ ).

#### 4. DISCUSSÃO

O condicionamento químico do solo provocado pela aplicação de doses substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS), do ponto de vista agrônômico, confirma a sua utilidade como condicionador orgânico ao promover o aumento da fertilidade do solo conforme relatado por Gümüş e Şeker (2017), Lou et al. (2017) e Medina et al. (2012) onde evidenciaram, além do aspecto químico, também o condicionamento físico e biológico da incorporação do SMS, inclusive em solos com indícios de degradação.

Uma das principais análises realizadas para avaliar o efeito da incorporação do SMS no solo é determinar o seu pH, pois a sua variação interfere na disponibilidade de vários elementos essenciais na solução do solo que estão disponíveis na faixa de 6,0 e 6,5 onde esses elementos são absorvidos pelas raízes das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Nesta pesquisa com a intensão de capturar diferenças significativas entre os substratos pós-cultivo de cogumelos, foi determinado o pH em três métodos: pH em água destilada (método acessível e alta variabilidade na concentração de  $H^+$  entre repetições), pH em  $CaCl_2$  10mM (com valores próximos à concentração de  $H^+$  no solo em condições de campo, geralmente 0,5 menor do que no pH em água) e pH em KCl 1M (útil na determinação da carga elétrica líquida do solo medida pelo  $\Delta pH$ ) (TIECHER et al., 2018; SOUZA et al., 2007),

Nesse sentido, a mensuração do pH em  $CaCl_2$  e pH em KCl mostraram-se úteis em mostrar as diferenças significativas provocadas pela aplicação das doses dos seis diferentes substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS). Assim, os resultados mostraram que a incorporação das doses de SMS aumenta o pH do solo dentro da faixa de maior disponibilidade de nutrientes, mesmo que, em princípio, esperava-se que no período de incubação do solo, a decomposição da biomassa orgânica do SMS pela microbiota torne mais ácido o solo pela liberação de  $H^+$  na reação (MCBRIDE, 1994):



No entanto, o aumento do pH observado, pode responder à neutralização da atividade de  $H^+$  provocada pela rápida liberação de cátions trocáveis do SMS ao solo como  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  (XAVIER et al., 2018). Dessa forma, os resultados sugerem que a liberação de cátions trocáveis de  $Ca^{+2}$  tenham contribuído no aumento do pH deixando disponíveis o  $K^+$  e  $Mg^{+2}$  na solução do solo, tal como foi observado no solo incubado com SMS do restolho de milho e

SMS dos brotos de abacaxi que apresentaram regressões significativas com pelo menos uma medida de pH ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  ou  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) e os cátions trocáveis  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , respectivamente.

O  $\Delta\text{pH}$ , determinado pela diferença do  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  e  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , é considerado um bom indicador do balanço de cargas elétricas do solo, onde valores negativos ( $0 > \Delta\text{pH}$ ) promovem a capacidade de troca de cátions, e valores positivos ( $0 < \Delta\text{pH}$ ) induzem a capacidade de troca de ânions (TIECHER et al., 2018; SOUZA et al., 2007; FERREIRA et al., 1999). Em relação do que observamos, em geral, a eletronegatividade do solo não sofreu efeitos significativos provocados pelas doses dos SMS, com exceção do SMS das folhas de bananeiras, que apresentou regressão significativa para esta variável, porém o seu coeficiente de determinação não foi o suficientemente alto ( $r^2 > 0,60$ ) que nos permita interpretar um alto poder de estimação sobre a influência desse SMS na eletronegatividade do solo.

Em regiões de climas áridos e semiáridos, devido aos baixos índices pluviométricos e longos períodos de secas (SARAIVA et al., 2020; BATISTA et al., 2019; CURI; KÄMPF, 2012), o solo pode apresentar altas concentrações de sais, como cátions de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  assim como ânions de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , os quais afetam o desenvolvimento dos cultivos (KITCHEN et al., 2013). Além disso, sabe-se que incorporação de resíduos orgânicos como lodo de esgoto (Borba et al., 2017) ou SMS do Champignon (*Agaricus bisporus*) (AHLAWAT; SAGAR, 2007) tendem a aumentar os níveis de sais do solo. Então, para verificar possíveis indícios de salinização desde os SMS incorporados, neste experimento verificamos a condutividade elétrica (CE) do solo. Desse modo, os nossos resultados revelaram que as CE dos solos após aplicação das doses de SMS sempre foram inferiores a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ , muito abaixo do limite de CE que dificulta o crescimento radicular das lavouras ( $\text{CE} > 3 \text{ dS m}^{-1}$ ) (SPOSITO, 2016; CHONG, 1994).

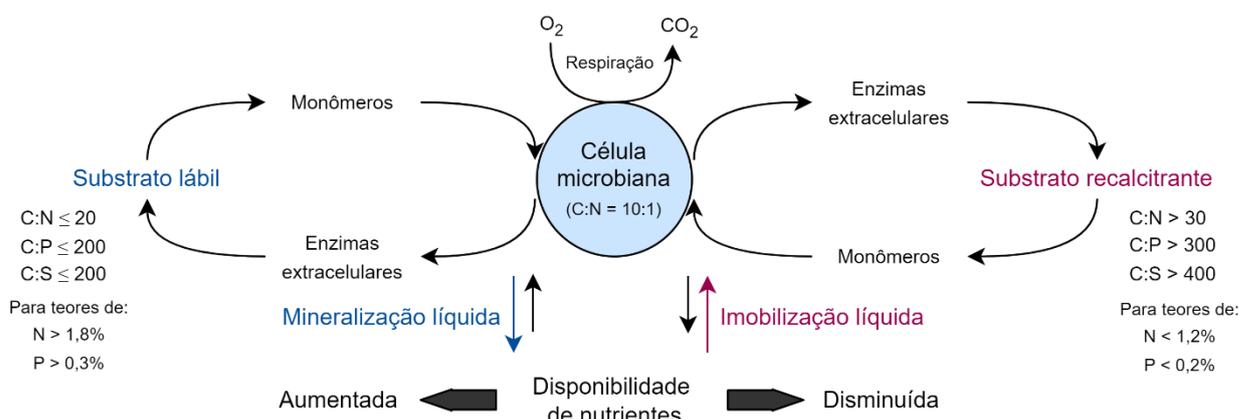
Dos seis substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) em estudo, quatro mostraram regressões lineares negativas significativas com a condutividade elétrica (CE) do solo, onde apenas o SMS do restolho de milho apresentou coeficiente de regressão superior a 80%. Observado de outra forma, a aplicação das doses de SMS estimulou a redução da CE do solo, a qual poderia ser explicada pela precipitação de sais minerais provocadas pelo aporte de matéria orgânica ao solo desde os SMS que os neutralizaram por adsorção em complexos orgânicos na solução do solo (VENTURA et al., 2018; DICK et al., 2009).

Por outro lado, o aporte de carbono orgânico total do solo identificada pela regressão linear significativa ( $r^2 > 0,80$ ,  $P < 0,05$ ) das doses de SMS da borra de café, reforça a importância da aplicação e aproveitamento deste recurso lignocelulósico urbano que deriva de uma das agroindústrias mais importantes do Brasil, colocando ao país como o maior produtor de café no mundo, que registou no primeiro semestre do 2022 mais de 53 milhões de sacas beneficiadas (60 kg por saca) (CONAB, 2022). O aumento de carbono orgânico total no solo também foi observado para as doses do SMS das folhas de bananeira ( $r^2 > 0,60$ ,  $P < 0,05$ ) que resulta interessante para este estudo, pois as folhas de bananeira são oriundas da Lavoura Permanente mais importante do Estado da Paraíba reportando mais de 121 mil toneladas produzidas e 9.873 ha (IBGE, 2020). Em ambos os casos, estes resultados são relevantes pois trata-se de resíduos agronômicos disponíveis e acessíveis na região e, sobretudo, de comprovada utilidade no cultivo de cogumelos a exemplo dos trabalhos realizados por Carvalho et al. (2012) testando folhas de diferentes cultivares de banana e Carrasco-Cabrera et al. (2019) que ao cultivar cogumelos em borra de café verificaram biodegradação da cafeína em compostos menos nocivos para o meio ambiente.

Um fato importante observado no percurso das análises do solo incubado foi que as doses dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) não apresentaram as mesmas relações funcionais nem o mesmo poder de estimação linear com as variáveis da fertilidade do solo. Comportamento que pode ser atribuído à composição química intrínseca do SMS que herdou da natureza do resíduo agronômico *in natura*, assim como do tempo de fermentação em estado sólido do qual foi submetido durante o cultivo de cogumelos. Sabe-se que a composição química do material orgânico que é incorporado no solo determina o nível de atividade dos microrganismos e o balanço líquido entre os processos de mineralização e imobilização dos nutrientes durante a sua oxidação completa no solo (VENTURA et al., 2018; DICK et al., 2009; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Stevenson e Cole (1999), o balanço edáfico da mineralização e imobilização é controlado pela “qualidade do substrato” incorporado. Se a composição química do SMS, por exemplo, apresentasse uma relação C:N menor ou igual a 20 e relação C:P menor e igual a 200 (“substrato lábil”), este aumentará a disponibilidade de nutrientes no solo, mas se o substrato apresentasse uma relação C:N superior a 30 e relação C:P superior a 300 (“substrato recalcitrante”), o SMS não conseguiria atender a demanda nutricional da microbiota mineralizadora do solo, provocando assim a imobilização de nutrientes como fósforo ou nitrogênio (Figura 21). Este efeito, sugere e, parcialmente, explicaria a ausência de

regressões lineares significativas dos SMS no fósforo disponível no solo, o qual se manteve invariável em relação às doses de SMS incorporadas.

**Figura 21:** Mineralização e imobilização de nutrientes em função da qualidade do substrato em condições aeróbias e sua relação com a disponibilidade de nutrientes no solo.



Fonte: Adaptado de Moreira e Siqueira (2006).

A saturação por bases (V), indica a participação das bases catiônicas trocáveis no complexo sortivo do solo que se expressa pela relação percentual da soma de bases (SB) constituída de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, e a capacidade de troca catiônica (CTC), representada por T para CTC a pH 7,0 (GIROTO et al., 2017; NOVAIS; MELLO, 2007). Dessa forma, trata-se de um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo pois quando os valores são baixos ou distróficos (V < 50%) indica que a maioria das cargas negativas dos colóides estão sendo neutralizadas por H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>. O Luvissoilo Crômico utilizado na presente pesquisa, por exemplo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS, 2018), classifica este solo como eutrófico (V > 50%) e, como era de esperar isso foi verificado independentemente do SMS incorporado, mantendo valores na faixa entre 70 e 80 % de V que, permite a atividade agrícola (ANGHINONI et al., 2021; LOPES; GUILHERME, 2007).

Em relação ao efeito das doses de SMS sobre V, identificamos que apenas os SMS das folhas de bananeira e SMS dos brotos de abacaxi mostraram regressões positivas e significativas ( $P < 0,05$ ), sendo apenas as doses do SMS dos brotos de abacaxi que mostraram relação funcional com V capturadas pelo coeficiente de determinação superior a 90% ( $r^2 > 0,90$ ), resultado que consideramos interessante uma vez que se trata do segundo cultivo mais importante do estado da Paraíba, estado que, ao mesmo tempo é o segundo estado brasileiro que representa o 16% da produção de abacaxi só por embaixo do estado do Pará com 21% de

uma produção total de 1.637.126 frutos de abacaxi no Brasil (EMBRAPA, 2022). Dessa forma propomos uma nova alternativa de reaproveitamento e duplo benefício para os resíduos agrônômicos gerados desta lavoura, que podem ser utilizadas para o cultivo de cogumelos (geração de renda), produzir o substrato pós-cultivo (SMS) (adubo orgânico), incorporá-lo ao solo e assim aumentar a saturação por bases.

Além da saturação de bases, neste estudo observamos que a adição das doses de SMS tem permitido alterar outras propriedades da fertilidade do solo. Na soma de bases (SB), por exemplo, os resultados sugerem que os SMS das folhas de bananeira, SMS do restolho de milho, SMS dos brotos de abacaxi e SMS do bagaço de cana tenham contribuído no aumento de cátions à solução do solo. Já para a CTC potencial (T), os SMS das folhas de bananeira, SMS do restolho de milho e SMS do bagaço de cana tenham estimularam a retenção de cátions do solo. No entanto, para a acidez potencial ( $H + Al$ ) verificamos que apenas o SMS dos brotos de abacaxi estimulou a redução desta variável, sugerindo que foi possível neutralizar íons de H e Al solvidos nos sítios de troca da argila presentes no Luvisolo Crômico (CARMO et al., 2016; ALLEONI et al., 2009).

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação de doses dos substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) da espécie de *Pleurotus ostreatus* influenciam positivamente o condicionamento químico do Luvisolo Crômico nos seus parâmetros de fertilidade ao promover o aumento do carbono orgânico total, saturação por bases e pH dentro da faixa de maior disponibilidade de nutrientes assim como reduzir a acidez potencial e a condutividade elétrica do solo.

O SMS da borra de café, SMS das folhas de bananeira e SMS dos brotos de abacaxi foram os substratos orgânicos que apresentam maior influência nas propriedades químicas do solo no aporte de carbono orgânico total assim como na disponibilidade de cátions trocáveis de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$  que afetam positivamente a capacidade de troca catiônica e saturação por bases do solo. Demonstrando que a reutilização desses resíduos agrônômicos como substratos para o cultivo de cogumelos pode trazer benefícios ambientais e econômicos substanciais para região que permitiria reabilitar a qualidade química do solo no semiárido paraibano.

Devido às suas diversas aplicações, o SMS tem grande potencial para ser empregado nos setores agrícola e hortícola, além de contribuir com a redução do uso de recursos não renováveis, por isso com este estudo estimulamos aos futuros fungicultores da região que as suas produções tenham como fundamento um enfoque agroecológico inserido em um sistema de economia circular de modo que permita aproveitar de forma mais eficiente os recursos e dessa forma mitigar os impactos ambientais que com um mal manejo pode provocar este sistema produtivo.

## REFERÊNCIAS

- AHLAWAT, O. P.; & SAGAR, M. P. Management of spent mushroom substrate. National Research Centre for Mushroom, Indian Council of Agricultural Research, 2007.
- ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V. D.; ROCHA, W. S. D. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. Química e mineralogia do solo-Parte I: Conceitos básicos; Parte 2: Aplicações, 2009.
- ÁLVAREZ-MARTÍN, A.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; ORDAX, J. M.; MARÍN-BENITO, J. M.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Leaching of two fungicides in spent mushroom substrate amended soil: Influence of amendment rate, fungicide ageing and flow condition. *Science of The Total Environment*, 584–585, 828–837. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.126>, 2017.
- ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. Systemic Soil Fertility as product of system self-organization resulting from management. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, 2021.
- BATISTA, P. V.; LACEBY, J. P.; SILVA, M. L.; TASSINARI, D.; BISPO, D. F.; CURI, N.; QUINTON, J. N. Using pedological knowledge to improve sediment source apportionment in tropical environments. *Journal of Soils and Sediments*, v. 19, n. 9, p. 3274-3289, 2019.
- BISWAS, S.; HAZRA, G. C.; PURAKAYASTHA, T. J.; SAHA, N.; MITRAN, T.; ROY, S. S.; MANDAL, B. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. *Geoderma*, 292, 34-48, 2017.
- BORBA, R. P.; RIBEIRINHO, V. S.; DE CAMARGO, O. A.; DE ANDRADE, C. A.; KIRA, C. S.; COSCIONE, A. R. Ion leaching and soil solution acidification in a vadose zone under soil treated with sewage sludge for agriculture. *Chemosphere*, 192, 81-89, 2018.
- CARMO, D. L. D.; SILVA, C. A.; LIMA, J. M. D.; PINHEIRO, G. L. Electrical conductivity and chemical composition of soil solution: comparison of solution samplers in tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016.
- CARRASCO, J.; ZIED, D. C.; PARDO, J. E.; PRESTON, G. M.; PARDO-GIMÉNEZ, A. Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8(1), 146. <http://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>, 2018.
- CARRASCO-CABRERA, C. P.; BELL, T. L.; KERTESZ, M. A. Caffeine metabolism during cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with spent coffee grounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(14), 5831-5841, 2019.
- CARVALHO, C. S. M.; AGUIAR, L. V. B.; SALES-CAMPOS, C.; MINHONI, M. T.; ANDRADE, M. C. N. Applicability of the use of waste from different banana cultivars for the cultivation of the oyster mushroom. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(2), 819–826. <http://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200048>, 2012.
- CEBULA, J.; PELCZAR, J.; LOSKA, K.; WIDZIEWICZ, K. The effect of Spent Mushroom Substrate field storage conditions on its leachate composition. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 16, 2013.

CHERUBIN, M. R.; MÁRCIO, D.; OLIVEIRA, S.; FEIGL, B. J.; PIMENTEL, L. G.; LISBOA, I. P.; SENTELHAS, P. C. Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil. *Scientia Agricola*, 75(3), 255–272. <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0459>, 2018.

CHONG, C.; RINKER, D. L. Use of spent mushroom substrate for growing containerized woody ornamentals: an overview. *Compost Science & Utilization*, 2(3), 45-53, 1994.

COLLELA, C. F.; COSTA, L. M. A. S.; MORAES, T. S. J. D.; ZIED, D. C.; RINKER, D. L.; DIAS, E. S. Potential utilization of spent *Agaricus bisporus* mushroom substrate for seedling production and organic fertilizer in tomato cultivation. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, 2019.

CORRÊA, R. C. G.; SILVA, B. P.; CASTOLDI, R.; KATO, C. G.; DE SÁ-NAKANISHI, A. B.; PERALTA, R. A.; PERALTA, R. M. Spent mushroom substrate of *Pleurotus pulmonarius*: a source of easily hydrolyzable lignocellulose. *Folia Microbiologica*, 61(5), 439–448. <http://doi.org/10.1007/s12223-016-0457-8>, 2016.

CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. *Pedologia: fundamentos*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 147-70, 2012.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. *Química e mineralogia do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1-67, 2009.

EL-RAMADY, H.; ABDALLA, N.; FAWZY, Z.; BADGAR, K.; LLANAJ, X.; TÖRÖS, G.; PROKISCH, J. Green Biotechnology of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A Sustainable Strategy for Myco-Remediation and Bio-Fermentation. *Sustainability*, 14(6), 3667, 2022.

EMBRAPA. Produção brasileira de abacaxi. Retrieved from [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/abacaxi/b1\\_abacaxi.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/abacaxi/b1_abacaxi.pdf), 2022.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 3, 2018.

FAO, I. Status of the world's soil resources (SWSR)--main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bc590e.pdf>, 2015.

FERRARI, A. B. S.; AZEVEDO DE OLIVEIRA, G.; MANNOCHIO RUSSO, H.; CARVALHO BERTOZO, L.; SILVA BOLZANI, V.; CUNHA ZIED, D.; ZERAIK, M. L. *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus subrufescens*: Investigation of chemical composition and antioxidant properties of these mushrooms cultivated with different handmade and commercial supplements. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(1), 452-460, 2020.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs Package. R package version 1.2.2, <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>, 2021.

FERREIRA, W. D. A.; BOTELHO, S. M. Capacidade de troca de cátions das principais classes de solos da Amazônia, determinada a diferentes valores de pH, 1999.

- GIROTO, A. S.; GUIMARÃES, G. G.; FOSCHINI, M.; RIBEIRO, C. Role of slow-release nanocomposite fertilizers on nitrogen and phosphate availability in soil. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.
- GÜMÜŞ, İ.; ŞEKER, C. Effects of spent mushroom compost application on the physicochemical properties of a degraded soil. *Solid Earth*, v. 8, n. 6, p. 1153-1160, 2017.
- HANAFI, F. H. M.; REZANIA, S.; TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; YAMAUCHI, M., SAKAMOTO, M.; EBRAHIMI, S. S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1383–1396. <http://doi.org/10.1007/s10163-018-0739-0>, 2018.
- IBGE. Pesquisa Nacional para o Estado da Paraíba. Retrieved from <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>, 2020.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture*, 12(4), 607-617, 1999.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. *Fertilidade do solo*, 2-64, 2007.
- MA, Y.; WANG, Q.; SUN, X.; WANG, X.; SU, W.; SONG, N. A study on recycling of spent mushroom substrate to prepare chars and activated carbon. *BioResources*, 9(3), 3939–3954. <http://doi.org/10.15376/biores.9.3.3939-3954>, 2014.
- MCBRIDE, M. B. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, Inc., New York, 1994.
- MENDIBURU, F. *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=agricolae>, 2021.
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *Engenharia Agrícola*, 31, 90-101, 2011.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Biotecnologia do Solo*. Editora UFLA (Vol. ed. 2), 2006.
- MORENO, J. L.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Effects of a cadmium contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. *Biol. Fertil. Soils* 28:230–237. doi:10.1007/s003740050487, 1999.
- MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R.; HAMDAN, R.; COOPER, W. T. Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging, *Solid Earth*, 5, 693–704, <https://doi.org/10.5194/se-5-693-2014>, 2014.
- NABIOLLAHI, K.; GOLMOHAMADI, F.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; KERRY, R.; DAVARI, M. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. *Geoderma*, 318, 16-28, 2018.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. D. *Relação solo-planta. Fertilidade do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, (eds. Novais, R.F., Alvarez V., V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B. e Neves, J.C.L.), 2007.

PEREGRINA, F.; LARRIETA, C.; COLINA, M.; MARISCAL-SANCHO, I.; MARTÍN, I.; MARTÍNEZ-VIDAURRE, J. M.; GARCÍA-ESCUADERO, E. Spent mushroom substrates influence soil quality and nitrogen availability in a semiarid vineyard soil. *Soil Science Society of America Journal*, 76(5), 1655-1666, 2012.

PÉREZ-CHÁVEZ, A. M.; MAYER, L.; ALBERTÓ, E. Mushroom cultivation and biogas production: A sustainable reuse of organic resources. *Energy for Sustainable Development*, 50, 50–60. <http://doi.org/10.1016/J.ESD.2019.03.002>, 2019.

PEREZ-MARIN, A. M.; VENDRUSCOLO, J.; ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; ARAÚJO QUEIROZ, H. A.; MAGALHÃES, D. L.; MENEZES, R. S. C.; FERNANDES, I. M. Monitoring Desertification Using a Small Set of Biophysical Indicators in the Brazilian Semiarid Region. *Sustainability* 2022, 14, 9735. <https://doi.org/10.3390/su14159735>, 2022.

PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied microbiology and biotechnology*, 96(4), 863-873, 2012.

POPPE, J. Substrate: Part II Oyster Mushroom Cultivation in *Mushroom Growers' Handbook* 1, pag. 75:83, 2004.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>, 2022.

RAMAN, J.; JANG, K. Y.; OH, Y. L.; OH, M.; IM, J. H.; LAKSHMANAN, H.; SABARATNAM, V. Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus spp.*: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14, 2021.

RINKER, D. L. Spent Mushroom Substrate Uses. *Edible and Medicinal Mushrooms*, (August), 427–454. <http://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>, 2017.

ROS, M. M. T.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 35:463–469. doi:10.1016/S0038-0717(02)00298-5, 2003.

ROYSE, D.J.; BAARS, J.; TAN, Q. Current overview of mushroom production in the world. In: Zied, D.C., Pardo-Gimenez, A. (Eds.), *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*. Wiley, New York, pp. 5–13, 2017.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology advances*, 27(2), 185-194, 2009.

SÁNCHEZ, J. E.; ROYSE, D. J. Producción mundial de setas *Pleurotus spp.* con énfasis en países Iberoamericanos. In D. J. Royse & J. E. Sánchez (Eds.), *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus spp.** (pp. 17–24). Chiapas, México D. F.: ECOSUR, 2017.

SARAIVA, S. M.; DA SILVA FRAGA, V.; DE ARAÚJO FILHO, J. C.; DOS SANTOS, R. F.; DOS SANTOS FELIX, E.; CARNEIRO, K. A. A. Mineralogia de Luvisolos formados sob gradiente pluviométrico no semiárido Paraibano. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4), 4416-4433, 2020.

SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos, H. G. et al. 5. ed., Rev. e Ampl. – Brasília, DF: Embrapa, p. 27, 2018.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the Challenges. In J. M. C. da Silva, L. C. F. Barbosa, I. R. Leal, & M. Tabarelli (Eds.), *Caatinga* (1a ed., pp. 3–19). Springer International Publishing. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3\\_1](http://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_1), 2017.

SINGH, C.; PATHAK, P.; CHAUDHARY, N.; RATHI, A.; DEHARIYA, P.; VYAS, D. Mushrooms, and mushroom composts in integrated farm management. *Res J Agric Sci*, 11, 1436-1443, 2020.

SIQUEIRA, F. G.; MARTOS, E. T.; SILVA, E. G. D.; SILVA, R. D.; DIAS, E. S. Biological efficiency of *Agaricus brasiliensis* cultivated in compost with nitrogen concentrations. *Horticultura Brasileira*, 29(2):157-161, 2011.

SOUSA, D. D.; MIRANDA, L. D.; OLIVEIRA, S. D. Acidez do solo e sua correção. Fertilidade do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, (eds. Novais, R.F., Alvarez V., V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B. e Neves, J.C.L.), 2007.

SPOSITO, G. Soil salinity in: The chemistry of soils. Oxford university press. Third Edition, p.239, 2016.

STEVENSON, F. J. ; COLE, M. A. Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 2017.

TIECHER, T.; PIAS, O. H. D. C. ; BAYER, C. ; MARTINS, A. P. ; DENARDIN, L. G. D. O.; ANGHINONI, I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: A systematic review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, 2018.

VENTURA, B. S.; LOSS, A.; GIUMBELLI, L. D.; FERREIRA, G. W.; BUENO, A. C.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G. Carbon, nitrogen and humic substances in biogenic and physiocogenic aggregates of a soil with a 10-year history of successive applications of swine waste. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 21, n. 2, 2018.

WALKER, R. F. Comparison of organic and chemical soil amendments used in the reforestation of a harsh Sierra Nevada site. *Restor. Ecol.* 11:466–474. doi:10.1046/j.1526-100X.2003.rec0216.x, 2003.

WANG, F.; XU, L.; ZHAO, L.; DING, Z.; MA, H.; TERRY, N. Fungal Laccase Production from Lignocellulosic Agricultural Wastes by Solid-State Fermentation: A Review. *Microorganisms*. 7(12):665. doi: 10.3390/microorganisms7120665, 2019.

WICKHAM, H., AVERICK, M., BRYAN, J., CHANG, W., MCGOWAN, L. D., FRANÇOIS, R.; GROLEMUND, G.; HAYES, A.; HENRY, L.; HESTER, J.; KUHN, M.; PEDERSEN, T. L.; MILLER, E.; BACHE, S. M.; MÜLLER, K.; OOMS, J.; ROBINSON, D.; SEIDEL, D. P.; SPINU, V.; TAKAHASHI, K.; VAUGHAN, D.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H. “Welcome to the tidyverse.” *Journal of Open Source Software*, \*4\*(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686, 2019.

WU, Y.; XU, G.; SHAO, H. B.: Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil, *Solid Earth*, 5, 665–671, <https://doi.org/10.5194/se-5-665-2014>, 2014.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; SANTOS, M. N.; CABALLERO, E. N. M.; MARTINS, O. G.; HERRERA, Á. A. P. Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-10, 2020.

ZHANG, J.; MENG, G.; ZHAI, G.; YANG, Y.; ZHAO, H.; JIA, L. Extraction, characterization, and antioxidant activity of polysaccharides of spent mushroom compost of *Ganoderma lucidum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 432–439. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.016>, 2016.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

De acordo com este estudo consideramos que:

A transferência de tecnologia no cultivo de cogumelos para a região agreste da Paraíba, torna-se uma alternativa viável no aproveitamento dos resíduos agrônômicos como brotos de abacaxi e folhas de bananeira disponíveis na localidade, pois permitiria dar um duplo benefício ao agricultor proporcionando alimento proteico e retornando ao meio ambiente um substrato mais lábil em relação a sua decomposição dentro do solo.

O Brasil, segundo produtor em Ibero-América, com mais de 5 mil toneladas por ano de cogumelos produzidos do gênero *Pleurotus*, se enfrenta à incógnita do que fazer com os substratos pós-cultivo gerados. Inclusive é um dos países que mais resíduos agrônômicos secos produz representando o 8% no mundo.

Nesse sentido, compreender o potencial do uso do SMS através do seu estudo e pesquisa, facilitaria a diversificação de produtos como biocombustíveis para produção de energia ou fertilizantes orgânicos para o cultivo de hortaliças. Inclusive, existe evidência que os SMS podem ser utilizados no tratamento de águas residuais urbanas, biorremediação do solo e, inclusive, como ração animal entre outras aplicações tecnológicas.

Assim, em conjunto com os conceitos da economia circular, seremos capazes de produzir de forma sustentável permitindo que os resíduos retornem à natureza com menor impacto ambiental, fechando um ciclo de desenvolvimento positivo-contínuo que preserve o capital natural, otimizando a produção de recursos e minimizando os riscos que, em longo prazo, afetam o nosso planeta.

No contexto das mudanças climáticas, perda da biodiversidade e imponente crescimento populacional precisamos ficar atentos e renovar conceitos anacrônicos. Sabemos que os fungos contam com maior experiência evolutiva que os seres humanos, então resta aproveitar esse conhecimento para tentar sobreviver como espécie.