



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

JOSEILTON DOS SANTOS NASCIMENTO

**USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE
NUTRIENTES DE PÓ DE ROCHA APLICADO EM ARGISSOLO BRUNO-
ACINZENTADO**

AREIA

2023

JOSEILTON DOS SANTOS NASCIMENTO

**USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS NA SOLUBILIZAÇÃO
DE NUTRIENTES DE PÓ DE ROCHA APLICADO EM ARGISSOLO BRUNO-
ACINZENTADO**

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na área de concentração em Solos em Agroecossistemas familiares e Naturais e linha de pesquisa em Ciclos Biogeoquímicos

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Vânia da Silva Fraga

**AREIA
2023**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N244u Nascimento, Joseilton dos Santos.

 Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos na solubilização de nutrientes de pó de rocha aplicado em argissolo bruno-acinzentado / Joseilton dos Santos Nascimento. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

 81 f. : il.

 Orientação: Bruno de Oliveira Dias.

 Coorientação: Vânia da Silva Fraga.

 Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

 1. Ciência do Solo. 2. Intemperismo biológico. 3. Fertilizantes. 4. Economia circular. I. Dias, Bruno de Oliveira. II. Fraga, Vânia da Silva. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.2)

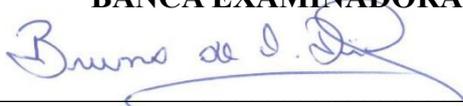
JOSEILTON DOS SANTOS NASCIMENTO

USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE
NUTRIENTES DE PÓ DE ROCHA APLICADO EM ARGISSOLO BRUNO-
ACINZENTADO

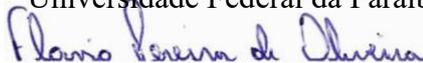
Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na área de concentração em Solos em Agroecossistemas Familiares e Naturais e linha de pesquisa em Ciclos Biogeoquímicos

Aprovada em: 28/02/2023

BANCA EXAMINADORA



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



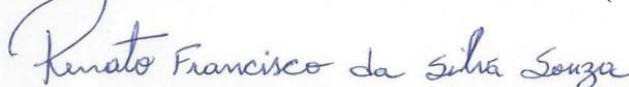
Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



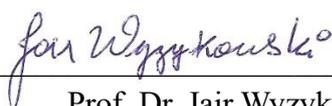
Dr.^a Hilderlande Florêncio da Silva
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr.^a Euzelina dos Santos Borges Inácio
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)



Dr. Renato Francisco da Silva Souza
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof. Dr. Jair Wyzkowski
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por estar sempre presente na minha vida e não fazer nunca desistir dos meus objetivos e sonhos, e nos momentos mais difíceis e incertezas dando-me forças e esperança, para enfrentar as dificuldades encontradas.

A professora Dr. Vânia da Silva Fraga, pela atenção, paciência, dedicação, incentivo e orientação em toda a execução dos experimentos e sempre acreditando no meu potencial.

Ao Professor Dr. Bruno de Oliveira Dias, pela atenção, paciência, dedicação, incentivo e orientação no meu trabalho de Tese.

Aos meus pais, Maria José dos Santos e Francisco Silva do Nascimento, por terem me dado força, coragem, acreditando sempre no meu potencial, com dedicação, apoio e confiança.

Aos meus irmãos, Francilene dos Santos Nascimento, Francinaldo dos Santos Nascimento, Francivaldo dos Santos Nascimento, Josivaldo dos Santos Nascimento, Josinaldo dos Santos Nascimento e Severina dos Santos Nascimento, pela amizade e por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

A todos os meus sobrinhos, Heloísa do Nascimento (onça), Milene Sales, Josué dos Santos, Lívia Sales, Beatriz dos Santos (Bia), Vinicius Sales (velho)

Aos amigos, Carlos Magno Fernandes, Francimeri da Silva (meroca), Gilberto Miguel (Gil), Valdir, que sempre me motivaram dando forças para a conclusão do meu curso.

Aos amigos e companheiros do Solos (Bruno Soares, Diogo da Silva, Raimundo de Oliveira, Renato da Silva, Anderson Vasconcelos).

À Janeclide Gomes, pelo longo tempo de amizade, principalmente nossas conversas no período da pandemia, foram muito importantes para mim.

A equipe de trabalho do IBGE do Censo Agro2017: Leonardo Medeiros (chefe), Cassiana Felipe, Heryson, Eduardo Ramos e Lucas Almeida, e os companheiros que supervisionei: Valdeir de Souza, Jéssica da Silva, Carolina Veras e Rubens, pelo companheirismo e amizade durante toda a execução do trabalho, pois foram momentos incríveis que passamos juntos. Em especial para Cassiana Felipe que me incentivou para me inscrever na seleção do PPGCS.

À todos da comunidade da Chã de Jardim, que sempre me deram apoio, principalmente a associação ADESCO, em especial para Luciana Balbino.

A todos da turma do PPGCS-UFPB de 2018, pela companhia durante esses anos e que levarei por toda vida.

A Rafael Zárate, pela amizade e grande ajuda na realização dos experimentos da Tese, desde a condução até nas análises estatísticas, teve participação direta no desenvolvimento da mesma (aplicar à lei meu amigo).

A Vanessa Araújo, pela parceria na execução do experimento, por ter me ajudado bastante durante toda as etapas experimentais, foram muitos dias de trabalho duro (coleta de solo, peneirar, montagem/desmontagem dos experimentos, irrigações, análises, etc), mas no

final conseguimos terminar todas as atividades e alcançar nossos objetivos. Não posso deixar de agradecer também a seu noivo Randson Henrique e sua irmã Vanderléia Araújo (leinha), pela grande ajuda em algumas atividades do experimento.

Ao GPEC (Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis), pelo acolhimento, pelos maravilhosos momentos juntos com todos os integrantes e a equipe de trabalho (Háimiky Nóbrega, Sabrina Alves, Robson Monteiro, Vanessa Araújo, Nayara Costa, e Rafael Zárte) que auxiliaram bastante nas atividades.

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 Flavio Cruz, Helton Silva e Juraci Suassuna, Jota Sales, Ramon Freire, Rodolpho Almeida, Tereziana Silva Costa, Deydeby Illan, Hilderlande Florêncio, Adna Bandeira, Priscila Pessoa funcionários da UFPB pelo constante apoio.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Renato Francisco da Silva, Dra. Hilderlande Florêncio, Dr. Flávio Pereira, Dra. Euzelina Inácio e Dr. Jair Wyzykowski por me prestigiar com a sua participação na banca examinadora.

Ao professor Dr. Flávio Pereira, por permitir fazer o estágio docência na disciplina de Física do Solo, e conceder a utilização de equipamento do laboratório de física.

Ao professor Dr. Adailson, pela ajuda na liberação do laboratório para as análises

Ao professor Dr. Raphael Beirigo, Vitor Felix e Helena pela grande ajuda nas coletas de solo

Aos amigos e companheiros do Instituto Nacional do Semiárido – INSA pela ajuda e parceria (Emanuel Martins, Francisco Mesquita e Salomão Medeiros).

Ao Professor Dr. Rodrigo Macedo, pelos conhecimentos adquiridos e sua forma simples de passar seu conhecimento.

À Universidade Federal da Paraíba – UFPB, a coordenação e professores do Programa de Pós-graduação em Ciência do solo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos

A todos que tiveram alguma contribuição para o término deste trabalho.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e
persistência em se chegar a um objetivo.

Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos,
no mínimo fará coisas admiráveis” (José de Alencar).

USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE PÓ DE ROCHA APLICADO EM ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

RESUMO GERAL

O substrato gasto por cogumelos (SMS) apresenta potencialidades para o seu uso como condicionador do solo, pois é um produto que foi degradado biologicamente. Já o pó de rocha são subprodutos advindos das mineradoras, sendo fontes alternativas e mais baratas que os fertilizantes convencionais, além de fornecer nutrientes que são essenciais a diversas culturas agrícolas. O aproveitamento desses subprodutos na agricultura é uma forma de minimizar o descarte desses rejeitos ao meio ambiente. Além disso, o uso simultâneo de substrato pós-cultivo com o pó de rocha pode acelerar a solubilização dos nutrientes contidos no pó de rocha no solo, pois os fungos liberam ácidos orgânicos no processo de crescimento microbiano, consequentemente podem favorecer o biointemperismo. Nesse contexto, os objetivos do presente estudo foram: I) avaliar os efeitos da incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) nos atributos químicos e fertilidade do solo; II) avaliar os efeitos da incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelos no biointemperismo de pó de rocha. 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 o uso de pó de rocha como fertilizante agrícola; 2. Efeito da incorporação de substrato pós-cultivo (SMS) quando aplicado em Argissolo Bruno-Azinzentado; e 3. Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) no biointemperismo de pó de rocha aplicados em Argissolo Bruno-Acinzentado. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado. Dos resultados observados, conclui-se que: no primeiro estudo, a incorporação de substratos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS) promoveram o aumento significativo no teor de magnésio, bem como, descritivamente reduziu a acidez ativa e potencial e a saturação por alumínio. Já no segundo estudo, a incorporação de resíduos agronômicos juntamente com pó de rocha promove o aumento do delta pH (ΔpH) (favorecendo a capturação de cátions trocáveis), matéria orgânica do solo (promovendo a liberação de nutrientes) e saturação por bases trocáveis. Neste sentido, o uso desses subprodutos na agricultura pode gerar economia por serem fontes mais baratas frente aos fertilizantes convencionais.

Palavras-chave: intemperismo biológico; fertilizantes; economia circular.

USE OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE IN THE SOLUBILIZATION OF NUTRIENTS FROM ROCK POWDER APPLIED IN ACRISOL

GENERAL ABSTRACT

The spent mushroom substrate (SMS) is a potential soil conditioner because is a lignocellulosic waste that has been biologically degraded. On the other hand, the rock powder is a by-product is an alternative and cheaper source from mining companies in addition to providing nutrients that are essential for agricultural crops. The use of these by-products in agriculture is a way to minimize the disposal of these wastes into the environment. The simultaneous use of spent mushroom substrate with rock powder can accelerate the solubilization of nutrients contained in rock powder in the soil, as fungi release organic acids in the microbial growth process, consequently favoring biological weathering. In this context, the objectives of the present study were, I) to evaluate the effects of the incorporation of SMS on chemical attributes and soil fertility; II) to evaluate the effects of the incorporation of SMS on the biological weathering of rock powder. The research was divided into 3 stages: 1. General bibliographic review of the theoretical and scientific bases in relation to the application of SMS in the soil and the use of rock powder as an agricultural fertilizer; 2. Effect of incorporation of SMS when applied in Acrisol; and 3. Use of SMS in the biological weathering of rock powder applied in Acrisol. A completely randomized experimental design with $4 \times 2 \times 2 + 1$ factorial arrangement was used. From the observed results, it is concluded that: in the first study, the incorporation of substrates in natura and spent mushroom substrate promoted a significant increase in the magnesium content, as well as descriptively reduced the active and potential acidity and the saturation by aluminum. In the second study, the incorporation of agronomic residues together with rock dust promotes an increase in ΔpH (favoring the capture of exchangeable cations), soil organic matter (promoting the release of nutrients) and saturation by exchangeable bases. In this sense, the use of these by-products in agriculture can generate savings because they are cheaper sources compared to conventional fertilizers.

Keywords: biological weathering; fertilizer; economy circular.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da célula vegetal e seus compostos lignocelulósicos.....	20
Figura 2 – Argissolo Bruno-Acinzentado incubado em sacos, após incorporação de substratos lignocelulósicos (in natura e SMS), durante o período de incubação em casa de vegetação.....	41
Figura 3 – Temperatura e umidade relativa durante os 140 dias de incubação do solo.	42
Figura 4 – Argissolo Bruno-Acinzentado incubado em sacos de polietileno após incorporação de substratos lignocelulósicos e pó de rocha em casa de vegetação.	63
Figura 5 – Temperatura e umidade relativa durante os 270 dias de incubação do solo	64
Figura 6 – Altura de plantas do sorgo incorporado com substratos lignocelulósicos (in natura e SMS) e pó de rocha, durante o período vegetativo.....	73
Figura 7 – Matéria seca do sorgo incorporado com substratos lignocelulósicos (in natura e SMS) e pó de rocha, durante o período vegetativo.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos resíduos lignocelulósicos que regulam o cultivo de cogumelos comestíveis.	20
Tabela 2 - Caracterização química do Argissolo Bruno-Acinzentado.	39
Tabela 3 – Caracterização química da água de irrigação.	40
Tabela 4 – Caracterização química dos substratos lignocelulósicos.	40
Tabela 5 – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos lignocelulósicos incorporados em Argissolo Bruno-Acinzentado.	41
Tabela 6 – Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica durante 140 dias de experimento.	45
Tabela 7 – Carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível durante 140 dias de experimento.	46
Tabela 8 – Cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez trocável e acidez potencial durante 140 dias de experimento.	49
Tabela 9 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, saturação por alumínio, razão de adsorção do sódio, porcentagem de sódio trocável durante 140 dias de experimento.	51
Tabela 10 – Caracterização química do Argissolo.	61
Tabela 11 – Caracterização química do pó de rocha.	62
Tabela 12 – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos lignocelulósicos e pó de rocha incorporados em Argissolo Bruno-Acinzentado.	63
Tabela 13 – Caracterização química da água de irrigação.	64
Tabela 14 – Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias de experimento.	67
Tabela 15 – Carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias de experimento.	69
Tabela 16 – Bases trocáveis, acidez trocável e acidez potencial com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.	71
Tabela 17 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, saturação por alumínio, razão de adsorção do sódio, porcentagem de sódio trocável com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al + H	Acidez potencial do solo
BA	Brotos de abacaxi
BC	Borra de café
C/N	Relação carbono e nitrogênio do substrato lignocelulósico
CA	Casca de arroz
Ca ⁺²	Cálcio trocável do solo
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CE	Condutividade elétrica
cmolc kg ⁻¹	Centimol de carga por quilograma de solo
CO	Carbono orgânico do substrato lignocelulósico
COT	Carbono orgânico total do solo
CP	com pó de rocha
CTCpH 7,0	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
Cz	Cinzas
dag kg ⁻¹	Decagramas por quilograma de solo
FC	Fibra de coco
INN	resíduo agrônômico <i>in natura</i>
K ⁺	Potássio trocável do solo
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma ou mil gramas
M	Molar
Mg	Megagrama ou mil quilogramas
Mg ⁺²	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
N	Número de repetições ou amostras ou unidades experimentais
n.s.	Não significativo
Na ⁺	Sódio trocável do solo
P	Fósforo disponível do solo

pH	Potencial hidrogeniônico
PST	Percentagem de sódio total
RAS	Razão de adsorção de sódio
SB	Soma de bases trocáveis
SD	Desvio padrão
SE	Erro padrão
SMS	Substrato pós-cultivo de cogumelos
SP	Sem pó de rocha
T	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
TFSA	Terra fina seca ao ar
UR	Umidade relativa do ambiente (%)
V	Saturação por bases (%)

LISTA DE SÍMBOLOS

*	Significativo
×	Interação
%	Porcentagem
°C	Graus centígrados
Δ pH	Delta pH, equilíbrio de cargas do solo

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	15
1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. HIPÓTESE.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS	19
3.2 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS	21
3.3 USO DO PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA	22
3.4 ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO	24
3.5 INTEMPERISMO BIOGEOQUÍMICO	25
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO II.....	33
RESUMO.....	34
ABSTRACT	35
1 INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	38
2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E DE FERTILIDADE	38
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	39
2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS	40
2.5 DOSAGEM DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS	41
2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	42
2.7 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	43
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4. CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO III	55
RESUMO.....	56
ABSTRACT	57
1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	60

2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ARGISSOLO BRUNO- ACINZENTADO	60
2.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA	64
2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	65
2.6 ANÁLISES DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO	65
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4. CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os cogumelos são cultivados em substratos orgânicos, que são naturalmente apropriados para seu crescimento (RINKER, 2017). Após o cultivo de cogumelos obtém o substrato pós-cultivo (SMS), uma vez que os compostos foram biodegradados pelos fungos durante o seu período de frutificação (FINNEY et al., 2009; MA et al., 2014). O material residual produzido após o cultivo de cogumelos pode ser utilizado para diversas finalidades e aplicações, como: adubo orgânico, biofertilizante, enzimas para biorremediação, ração animal e a matéria-prima (PHAN; SABARATNAM, 2012; PICORNELL-BUENDÍAET et al., 2016; RINKER, 2017). Outra alternativa que está sendo bastante utilizada é a reciclagem do próprio material gasto na produção de cogumelos, onde caracteriza-se como sendo um segundo cultivo com o resíduo inicial (GIMÉNEZ, 2008; SÁNCHEZ, 2010).

O substrato gasto por cogumelo é composto por um material lignocelulósico, rico em celulose, hemicelulose e lignina, os quais são provenientes dos resíduos agrícolas como: bagaço de cana, casca de arroz, restolho de milho, casca de semente de algodão, polpa de café, casca de cacau, inclusive esterco de animais, dentre outros (JORDAN, 2018; GRIMM; WOSTEN, 2018). Quando aplicado ao solo o SMS melhora a estrutura do solo, aumentando a quantidade de matéria orgânica no solo, capacidade de troca de cátions (CTC), capacidade de retenção de água, atividade microbiana, temperatura do solo e diminuindo a compactação do solo (COURTNEY; MULLEN, 2008; GRIMM; WOSTEN, 2018).

A aplicação de 100 toneladas de SMS por hectare, na profundidade de 0,15 m em solo com textura franco-siltoso, resultou em um aumento de 50% no rendimento da cevada, sendo semelhante ao do fertilizante sintético (67,5 kg/ha N, 22,5 kg/ha P e 45,0 kg/ha K). Apresentando um aumento de 2,3 vezes no teor de fósforo no solo e um aumento de 40% e 20% no carbono orgânico e nitrogênio do solo, respectivamente, após a sua colheita. Além disso, os níveis de cálcio, potássio e magnésio aumentaram até 3 vezes quando comparado com o fertilizante inorgânico que não aumentou nenhum desses níveis (COURTNEY; MULLEN, 2008).

O substrato pós-cultivo de cogumelos pode ser classificado como um condicionador do solo, pois contém uma boa estrutura física, nutrientes e é uma excelente fonte de matéria orgânica. Por ser um composto poroso, o substrato gasto de cogumelos ajuda a manter o solo mais aerado, promovendo uma maior facilidade no crescimento e penetração das raízes (RAJAVAT et al., 2022). No solo proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes para as

plantas através da humificação e da mineralização do substrato durante sua decomposição, principalmente para os solos mais intemperizados.

Os Argissolos são solos intemperizados normalmente apresentando solos ácido, com uma baixa fertilidade natural, onde utiliza-se adubações convencionais com bastante frequência para manter uma boa produtividade das culturas agrícolas (MARQUES et al., 2014; SIBCS, 2018). Neste contexto, o pó de rocha são fontes alternativas e mais baratas quando comparados aos fertilizantes convencionais e o aproveitamento de resíduos advindos das mineradoras na agricultura evitaria que esses rejeitos fossem depositados ao meio ambiente, além de fornecer nutrientes que são essenciais as diversas culturas agrícolas (MACHADO et al., 2020).

O pó de rocha, representa uma alternativa viável frente aos fertilizantes solúveis convencionais, no que se refere ao fornecimento de nutrientes para a agricultura, e o seu baixo custo por tratar-se de um subproduto da mineração, além disso está disponível em quase todo o território nacional (TAVARES, 2017).

A sua utilização pode diminuir a dependência de importação de fertilizantes convencionais, uma vez que o pó de rocha pode ser aplicado isolado ou combinado com fertilizantes convencionais, adubos orgânicos, compostagens, dentre outras maneiras de aplicações no solo (SOUZA, 2014; TAVARES, 2017; TOSCANI; CAMPOS, 2017).

A incorporação do SMS ao solo, juntamente com o pó de rocha pode favorecer as propriedades físicas e químicas do solo. Além disso, a aplicação conjunta pode contribuir para a solubilização dos nutrientes contidos no pó de rocha, favorecendo o aumento da produtividade das culturas agrícolas. Assim, os objetivos do presente trabalho foram: i) avaliar os efeitos da incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) nos atributos químicos e fertilidade do solo; ii) avaliar os efeitos da incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelos no biointemperismo de pó de rocha.

2. HIPÓTESE

Hipótese 1: O substrato *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS) pode promover a fertilidade do solo por meio da disponibilidade de nutrientes.

Hipótese 2: A utilização do substrato *in natura* e de pós-cultivo de cogumelos (SMS) pode reduzir o tempo de solubilização do pó de rocha no solo, pois os fungos liberam ácidos orgânicos no processo de crescimento microbiano, conseqüentemente podem favorecer o biointemperismo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

O avanço do crescimento da população mundial culmina com o maior consumo de produtos agroindustriais, necessitando aumentar a produção agrícola que resultam em grande quantidade e diversidade de resíduos gerados destas atividades. Os resíduos lignocelulósicos são materiais orgânicos, ricos em componentes como celulose, hemicelulose e lignina, compostos estes que tem como principal característica por serem bastante recalcitrantes (PEREIRA et., 2019).

Os resíduos lignocelulósicos mais utilizados na agricultura são: bagaço de cana, borra de café, brotos de abacaxi, casca de arroz, fibra de coco, folhas de bananeiras, restolho de milho, serragem, dentre outros (MODA et al., 2005; TESFAW et al., 2015). Desta forma, o aproveitamento desses resíduos surgiu como alternativa atraente para a agricultura, pois oferece uma valiosa fonte de nutrientes, tais como: nitrogênio, fósforo e potássio (SOUZA et al., 2014).

Os resíduos gerados em atividades agrícolas podem se enquadrar na economia circular, por meio do uso desses subprodutos na agricultura de forma racional, como fonte de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, não somente reduzindo a pressão sobre os fertilizantes minerais, como também amenizando os impactos negativos no ambiente (GAITAN-HERNANDEZ, 2017). Os resíduos agrícolas e agroindustriais podem ser aproveitados na produção de cogumelos, os quais vêm conquistando mercado em função do reconhecimento de suas propriedades nutricionais e farmacológicas, além do seu valor gastronômico (CARVALHO et al., 2021; HANAFI et al., 2018).

As propriedades dos resíduos lignocelulósicos são o resultado da disposição dos seus principais componentes, celulose, hemicelulose e lignina (TAVARES; BUCKERIDGE, 2015). A Tabela 1, lista a composição de alguns materiais lignocelulósicos, expressa em suas três principais frações.

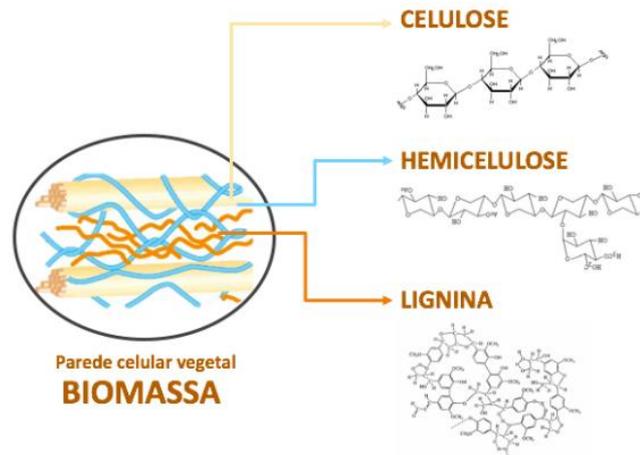
Tabela 1 – Composição dos resíduos lignocelulósicos que regulam o cultivo de cogumelos comestíveis.

Resíduo lignocelulósico	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Referências
	%			
Borra de café	8,80	37,30	22,50	Burniol-Figols et al. (2016)
Bagaço de cana	37,92	25,40	11,00	Soares et al. (2015)
Fibra de coco	24,70	12,26	40,10	Cabral et al. (2017)
Palha de milho	32,00	17,00	13,00	Liu et al. (2013)
Folhas de bananeira	61,20	14,10	5,20	Nery e José (2018)
Coroa do abacaxi	43,12	19,15	12,55	Santos (2018)
Casca de arroz	37,40	11,20	25,5	Menezes (2018)

Fonte: Adaptado de Silva (2016).

O uso dos resíduos lignocelulósicos é impulsionado pelos processos de conversão química e bioquímica dos carboidratos que estão presentes nos resíduos, através da separação de seus principais componentes. Desse modo, faz-se necessário conhecer as principais características dos resíduos lignocelulósicos, pois os resíduos lignocelulósicos representam uma fonte natural de preço acessível e bastante abundante (SHAFIEI; KUMAR; KARIMI, 2015). A Figura 1 representa a célula vegetal e seus respectivos compostos lignocelulósicos.

Figura 1: Representação da célula vegetal e seus compostos lignocelulósicos.



Fonte: Cunha (2020).

O aproveitamento dos resíduos orgânicos na agricultura tem sido a principal opção, minimizando o descarte de uma grande quantidade de resíduos que são jogados em lixões a céu aberto ou utilizando a prática da queima, beneficiando assim a reciclagem de nutrientes, com melhoria da produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Diante deste cenário de

produção, há uma grande quantidade de resíduos que são descartados no meio ambiente sem nenhuma utilização (BARH et al., 2018).

3.2 SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

O Brasil é o maior produtor de cogumelos da América Latina, porém no contexto mundial a produção ainda é bastante escassa em relação aos principais países produtores, necessitando de importação para abastecer a demanda interna que está em crescimento nos últimos anos. Em 2017 o Brasil importou 10 mil toneladas da espécie champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) em conserva (GOMES, 2018). O Champion de Paris e o Shimeji são os cogumelos comestíveis mais produzidos do Brasil, juntos produzem cerca de 13,5 toneladas anuais (URBEN, 2018).

No processo de produção, os cogumelos convertem os resíduos de baixa qualidade e transforma em alimentos rico em nutrientes, agregando valor ao produto (RINKER, 2017). Após a produção de cogumelos, o substrato gerado pós-cultivo, conhecido do inglês como Spent Mushroom substrat (SMS), uma vez que este composto foi biodegradado pelos fungos durante o seu período de frutificação (MA et al., 2014; FINNEY et al., 2009).

As características químicas e biológicas dos SMSs variam de acordo com a espécie de cogumelo cultivada, os substratos e sistema de preparo, como também o modelo de cultivo. A espécie de cogumelos cultivada influencia nas suas características nutricionais dos corpos de frutificação dos cogumelos e conseqüentemente na qualidade do SMS. É muito comum na espécie Champion de Paris o uso de substrato com suplementos nutricionais, já na espécie de pleurotos pode-se utilizar diferentes resíduos lignocelulósicos influenciando assim na qualidade do final do SMS (HANAFI et al., 2018).

Os diferentes tipos de substrato utilizados na produção de cogumelos podem influenciar na qualidade nutricional do SMS. O substrato pós-cultivo de cogumelos provenientes da adição de resíduos de atividades agrícolas apresenta maiores teores de carbono e nitrogênio em relação ao substrato de serragem que apresenta alta quantidade de FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido), hemicelulose, celulose, lignina, carboidrato (HARITH et al., 2014; KWAK et al., 2008)

O sistema de produção dos cogumelos geralmente é produzido por meio de preparos de substratos lignocelulósicos ou em toras de madeira, que através da sua composição físico-

química influencia nos teores nutricionais dos corpos de frutificação dos cogumelos (BARH et al., 2018). O sistema de produção em toras de madeira e substrato são preparados, acondicionados e esterilizados, e posteriormente inoculados com a espécie fúngica desejada.

No cultivo de cogumelos comestíveis gera uma grande quantidade de resíduos (SMS), pois um quilograma de cogumelo produzido, gera em média cinco a seis quilograma de substrato gasto por cogumelo (FINNEY et al., 2009). No mundo são gerados e descartados grandes quantidades de substratos pós-cultivos de cogumelos, com destaque para a china estima-se que o país descarta aproximadamente quatro milhões de toneladas que são descartados no meio ambiente (OEI et al., 2008).

O material residual gerado no cultivo de cogumelos podem ser utilizados para diversas finalidades e aplicações, como: adubo orgânico, biofertilizante, enzimas para biorremediação, ração animal, matéria-prima energética e tratamento de águas residuárias (GRIMM; WÖSTEN, 2018; HANAFI et al., 2018; PHAN; SABARATNAM, 2012; PICORNELL-BUENDÍAET et al., 2016; RINKER, 2017). Outra alternativa que está sendo bastante utilizada é a reciclagem do próprio material gasto na produção de cogumelos, onde caracteriza-se como sendo um segundo cultivo com o resíduo inicial (GIMÉNEZ, 2008; SÁNCHEZ, 2010).

Diante dessa problemática o substrato gasto por cogumelos (SMS) surgem como alternativa de utilização dos seus resíduos como substrato na agricultura, pois pode ser utilizado na preparação de fertilizantes, melhorando assim, as características físicas e químicas e biológicas do solo para a exploração de culturas agrícolas (SILVA et al., 2021).

3.3 USO DO PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA

O Brasil tem destaque mundial em produtos voltados para a mineração, mas quando se refere aos fertilizantes agrícolas, o país não consegue suprir a demanda interna, ficando dependentes do mercado internacional da maioria dos fertilizantes agrícolas (IBRAM, 2020). O estado da Paraíba apresenta grande potencial pra utilização do pó de rocha, pois contempla várias indústrias mineradoras ou pedreiras, com isso surge uma ótima alternativa de utilização desses subprodutos voltados para seu uso na agricultura (MACHADO et al., 2020).

A Paraíba tem um cenário bastante favorável quando se refere ao uso de rochas e minerais, apresentando de minerais bastante diversificado e com grande potencial para

descoberta de grupos de minerais. A Paraíba como outros estados Nordestinos têm destaque pela ausência de metais pesado em seus constituintes minerais. O estado se destaca pela exploração de granito e vermiculita (SANTOS et al., 2002). Neste caso, são produzidos uma grande quantidade de rejeitos pelas mineradoras, que podem causar impactos maléficos ao meio ambiente (MACHADO et al., 2020).

O uso de fertilizantes alternativos, como os pós de rocha, tem efeito direto na redução de utilização de fertilizantes químicos e conseqüentemente terá um menor gasto por importação dos produtos. Alguns estudos concluíram que a economia no custo de produção pode chegar a até 50% com o uso de remineralizados no solo (TEODORO, 2000).

Os efeitos gerados pela aplicação com pó de rocha podem prolongar-se por até cinco anos consecutivos, atribuída à lenta liberação de nutrientes, pois o pó de rocha é um produto derivado de rochas moídas e peneiradas, mas não sofreu nenhum processamento químico. Uso do pó de rocha atua como remineralizador do solo, pois é uma forma de acelerar a liberação de nutrientes das rochas, adicionando macro e micronutrientes e promovendo melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológica (MACHADO et al., 2020).

O principal problema associado aos remineralizados é a grande quantidade acumulada dos seus resíduos que são gerados das indústrias de mineração, com isso os pós de rochas surgem como fontes alternativas aos fertilizantes convencionais para ser utilizado na agricultura, pois o aproveitamento desses resíduos advindos das mineradoras na agricultura evitaria que esses rejeitos fossem descartados ao meio ambiente. Nesse contexto, a aplicação de remineralizadores no solo tem uma contribuição direta de redução de contaminantes ao meio ambiente, além de fornecer nutrientes que são essenciais as culturas agrícolas. De acordo com Ramos et al. (2015), o pó de rocha de origem vulcânica pode ser utilizado como fonte de macro e micronutrientes para o solo, pois apresenta em sua composição minerais de silicato, como plagioclásio, piroxênio e minerais ferro-magnésio que são facilmente intemperizados, conseqüentemente haverá aumento do potencial de liberação de cátions que podem contribuir para a remineralização do solo da região.

A utilização do pó de rocha no Brasil para ser comercializado como remineralizador deve apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas: relação à especificação de natureza física, a soma de bases deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso, óxido de potássio (K_2O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso e em relação ao potencial hidrogeniônico o valor conforme declarado pelo registrante (BRASIL, 2016).

De acordo com Toscani e Campos (2017), com estudo com pó de rocha obteve resultados positivos na fertilidade do solo com o fornecimento alguns nutrientes, como o fósforo, cálcio e magnésio, bem como de um melhor desenvolvimento da área foliar. Corroborando Silva et al. (2012), ao aplicar pó de rocha no solo, obteve melhoria no pH do solo, além de fornecer potássio e outros nutrientes.

O uso de pós rocha na agricultura ajudaria a manter um manejo sustentável de solos agrícolas de baixa fertilidade atuando na redução de importação de fertilizantes minerais e minimizar os problemas ambientais decorrentes do acúmulo de rejeitos de mineração (MACHADO et al., 2020).

3.4 ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

Os Argissolos são bastante representativos no cenário nacional, pois compõem 26,84% dos solos brasileiros, é considerado assim a segunda maior classe de solo atrás apenas dos Latossolos (EMBRAPA, 2006; MARQUES et al., 2014). A sua representatividade no contexto do Nordeste é 16,7%, já no contexto da Paraíba os Argissolos representam uma área de mais de 7.000 km², com cerca de 13% (MEDEIROS et al., 2018).

Os Argissolos em sua maioria são formados sob a vegetação de floresta contendo materiais originais com poucos cátions básicos. A biociclagem da vegetação nativa é uma característica importante deste solo e por conter cátions básicos concentrados em horizontes de superfície e porcentagem de saturação de base diminui com a profundidade. Os Argissolos se formam em materiais originais ácidos em locais onde a precipitação excede a evapotranspiração durante uma parte do ano. Embora as árvores estendam enraíza-se profundamente nos Argissolos, é comum encontrar a proliferação mais intensa de raízes nos horizontes A, mais ricos em nutrientes (BUOL, 2015).

Os Argissolos caracterizam-se por serem solos minerais, bem desenvolvidos, drenados e muito profundos. Apresenta um conjunto de cores representativa dos Argissolos, como: vermelho, vermelho-amarelo, amarelas, brunadas e acinzentadas (MARQUES et al., 2014). Em adição apresentam grande capacidade de armazenamento de água, com grande potencial para ser utilizado na mecanização agrícola e agricultura irrigada, quando predomina o relevo plano a suave ondulado, o que exige práticas intensivas de controle de erosão quando sob manejo agrícola. No entanto, quando está associado ao relevo movimentado com fortes declividades

apresenta alta suscetibilidade a erosão, neste caso não se recomenda o uso para a agricultura, mas pode ser empregado para pastagem, reflorestamento e preservação da flora e da fauna (CUNHA et al., 2008).

A principal limitação dos Argissolos é a baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica (MARQUES et al., 2014; SIBCS, 2018). Outro fator limitante dos Argissolos para o uso na agricultura, é a alta acidez do solo com a presença do alumínio trocável (FITRIATIN et al., 2014). No entanto, esta limitação pode ser corrigida pela agricultura moderna com a utilização de práticas de calagem e fertilização através desse manejo adequado de fertilizantes, calcário e matéria orgânica. (BRADY; WEIL, 2015; BUOL, 2015).

Os Argissolos podem ser bastante produtivos para a agricultura, adaptando muito bem para as culturas que necessitam de clima quente como o sorgo. Ainda mais, o sorgo é uma planta anual da família da poácea, apresenta o comportamento do grupo das plantas com metabolismo C4, adaptando assim a diferentes ambientes, principalmente em regiões tropicais de clima quente e déficit hídrico, sendo as condições favoráveis para o desenvolvimento a maioria das espécies de sorgo (OLIVEIRA, 2021). Na Paraíba, o sorgo é mais cultivado na região do semiárido, por resistir bem a períodos de estiagem, e tem sua destinação principal na produção de silagem para alimentação dos seus rebanhos. No contexto, os Argissolos podem ser utilizados também para culturas de subsistência, tais como mandioca, milho, feijão e culturas comerciais como cana-de-açúcar e cajueiro, dentre outras culturas (RESENDE et al., 2015).

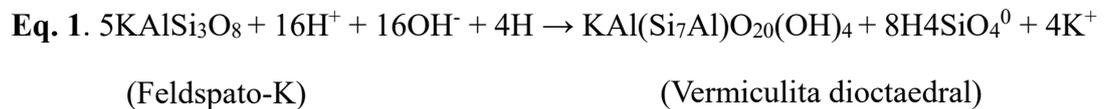
3.5 INTEMPERISMO BIOGEOQUÍMICO

A transformação dos minerais instáveis por ação da temperatura na superfície da Terra, por alguns agentes do intemperismo, é uma etapa fundamental na ciclagem de elementos no planeta. É através desse processo que ocorre a formação de solos que é dependente de toda forma de vida terrestre, e também, proporciona a fertilidade dos solos, onde há o crescimento da maioria das espécies vegetais (PRESS et al., 2006).

O intemperismo é a desintegração e ou transformação de rochas e minerais através de processos físicos, químicos e biológicos. O intemperismo inicia com a alteração das rochas e minerais, pela ação física (desintegração física) e a ação química (decomposição química). A partir da desintegração física que ocorre a fragmentação das rochas em pedaços menores, mas não causa mudanças na constituição, que são as partículas individualizadas de areia e silte. Já a intemperização química, acontece na medida que os minerais se dissociam quimicamente, com

mudanças na constituição química, ocorrendo um rearranjo de minerais que podem transformar em grupos diferentes de minerais (BRADY; WEIL, 2013). Esses processos podem ocorrer simultaneamente no solo e são regulados por alguns agentes do intemperismo químico como: água, gases e temperatura. (FONTES et al., 2015).

A água é o principal agente do intemperismo químico, e potencializa as principais reações que acontecem no solo, por isso é visto como um solvente universal. A água funciona também como transporte de exsudatos radicular e prótons, que facilitam a quelatação e acidificação do meio, conseqüentemente aumenta a taxa de intemperismo. A hidrólise é principal reação química que ocorre na presença de água, onde os reagentes H^+ e OH^- , são originados da quebra ou ionização da molécula de água, é considerada a reação mais importante de transformação dos minerais silicatados, como os feldspatos, como representa a equação 1.



A temperatura é um agente de intemperismo que atua na velocidade das reações químicas, de modo geral, há um acréscimo de 2 a 3 vezes em sua velocidade com o aumento de 10 °C da temperatura. Já os gases, é um agente de intemperismo químico que atua na oxidação do meio, pois quando combina com água (FONTES et al., 2015).

Um processo que pode ocorrer é o intemperismo químico e biológico (biointemperismo), ocorrendo de forma simultânea, através da interação de agentes geológicos (água e oxigênio) e por agentes biológicos (ácidos que são produzidos pelo metabolismo dos microrganismos e raízes das plantas). A atuação dos microrganismos no intemperismo é fundamental, pois permite uma aceleração do processo de até 1000 vezes (BRADY; WEIL, 2013).

O intemperismo químico e biológico de nutrientes pode ser proporcionado pelo incremento de substratos orgânicos no solo, sendo estes no seu processo de respiração microbiana são produzidos os ácidos orgânicos, neste processo pode acidificar o solo (H^+), com essa acidificação vai ocorrer o intemperismo químico, que é chamado de acidólise. Com isso os ácidos orgânicos são capazes de acelerar o intemperismo de minerais primários e secundários reduzindo o tempo dos processos pedogenéticos que atuam no solo (CHAVES et al., 2015; KORCHAGIN et al., 2019). Estes ainda, promovem transformações mecânicas, redistribuição

de partículas, movimentação e produção de substâncias orgânicas que aceleram as transformações químicas.

O papel dos organismos é determinado pela sua capacidade de assimilar vários elementos da rocha em processo de alteração e de produzir em seu metabolismo vários agentes químicos bastante ativos, como por exemplo, os ácidos orgânicos. A atividade orgânica, principalmente das bactérias e fungos, ataca a rocha na fase inicial, possibilitando a instalação de líquens, algas e musgo. A matéria orgânica do solo (MOS) é o resultado da decomposição de diversos resíduos de origem orgânica, que são incorporadas ao solo, cujas dinâmicas interferem em várias transformações sobre a ação de agentes químicos, físicos e biológicos (MEKI et al., 2014).

O efeito microbiano na decomposição dos resíduos orgânicos é importante na elevação do pH do solo, e este efeito vai também refletir-se em efeitos benéficos nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). O biointemperismo, é um tema que está em pauta nos últimos, pois a busca por fertilizantes alternativos é o carro chefe de muitos pesquisadores, além mais, através do biointemperismo poderá fornecer alguns nutrientes no solo e ainda aumente a população da microbiota do solo.

O estágio final do intemperismo resulta na transformação de minerais secundários, tais como: argilas silicatadas, óxidos de ferro e de alumínio e culmina com a diminuição de cátions moveis no solo (Ca^{2+} Na^+ , K^+), como consequência da intensa lixiviação e pedogênese e minerais primários muito resistente, tais como o quartzo, moscovita e feldspatos, que desempenha um papel fundamental na fertilidade dos solos (GUIMARÃES et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- BARH, A.; UPADHYAY, R. C.; KAMAL, S.; ANNEPU, S. K.; SHARMA, V. P.; SHI RUR, M.; BANYAL, S. Mushroom crop in agricultural waste cleanup. In: PANKAJ.; SHARMA, A (eds) *Microbial biotechnology in environmental monitoring and cleanup*. IGI Global, Hershey, p. 252–266, 2018.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Soil and the Hidrologic Cycle. In: HILLEL, D. *The Nature and Properties of Soils*, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Boletim 15, Série Pedologia, 8, Rio de Janeiro, 1972.
- BRASIL. Instrução Normativa 5 - Regras dos remineralizadores e substratos de plantas. Brasília, DF: Diário Oficial da União - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, <https://www.legisweb.com.br/legislacao>, 2016.
- BUOL, S.W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. *Soil genesis and classification*. Willey-Blackwell John Wiley & Sons (Six edition). Iowa: John Wiley & Sons, p. 543, 2011,
- CARVALHO, P. I. A.; SALES, M. R. B.; ARAGÃO NETO, J. C.; FERREIRA, F. V. Resíduos agroindustriais como substrato para cultivo indoor de cogumelos comestíveis da espécie *pleurotus ostreatus*. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 9, n. 4, 2021.
- CHAVES, E.; PEDRON, F. A.; MELO, V. F.; DALMOLIN, R. S. D. Reserva mineral de k por diferentes métodos em Argissolos subtropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)*, v. 39, p. 1088-1099, 2015.
- COURTNEY, R. G.; MULLEN G. J. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresour Technol*, v. 99, p. 2913 - 2918, 2008.
- CUNHA, I. F. Análise térmica e pirólise analítica de sabugo de milho. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2020.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.
- FINNEY, K. N.; RYU, C.; SHARIFI, V. N.; SWITENBANK, J. The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies. *Bioresource Technology*, v. 100, 310-315, 2009.
- FITRIATIN, B. N.; YUNIARTI, A.; TURMUKTINI, T.; RUSWANDI, F. K. The effect of phosphate solubilizing microbe producing growth regulators on soil phosphate, growth and yield of maize and fertilizer efficiency on ultisol. *Eurasian Journal of Soil Science*, v. 3, n. 2, p. 101- 107, 2014.
- FONTES, M. P. F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds) *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 343, 2015.

GAITÁN-HERNÁNDEZ, R. Uses of spent mushroom substrate of *Pleurotus* spp. In: ROYSE, D. J.; SÁNCHEZ, J. E (eds) *La Biol. o Cultiv. y las propiedades Nutr. e Med. las setas Pleurotus spp.* ECOSUR, Chiapas, México DF, p. 17-24, 2017.

GOMES, M. Agronegócio: Consumo e produção de cogumelos crescem no Brasil. *Correio Braziliense: Economia*, 28 jan. 2018. Disponível em: [Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo_e_producao_de_cogumelos_no_brasil.shtml>](https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo_e_producao_de_cogumelos_no_brasil.shtml). Acesso em: 07 fev, 2021.

GIMENEZ, A. P. Reuse of spent mushrooms substrates in edible mushrooms production. *Itea- Informacion Tecnica Economica Agraria*, v. 104, p. 360–368, 2008.

GUIMARÃES, C. C. B; DEMATTÊ, J. A. M; AZEVEDO, A. C; DA SILVA, R. C; URBINA SALAZAR, D. F. U. Weathering of soils originated from diabase in the Paraná Basin, São Paulo State, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 52, n. 3, 2021.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018.

HANAFI, F. H. M; REZANIA, S; TAIB, S. M. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20, p. 1383–1396, 2018.

HARITH, N.; ABDULLAH, N.; SABARATNAM, V. Cultivation of *Flam mulina* velutipes mushroom using various agro-residues as a fruiting substrate. *Brazilian Agricultural Research* 49(3):181-188, 2014.

IBRAN - Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019. 1. ed. - Brasília: IBRAM, 2020. 80p. ISBN: 978-65-990386-3-1. Disponível em <https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>.

JORDAN, S. N.; MULLEN, G. J.; MURPHY, M. C. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology*, 411- 418, 2018.

KWAK, W. S.; JUNG, S. H.; KIM, Y. I. Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrate. *Bioresource Technol* 99(8):2947-2955, 2008.

KOCHARGIN, J.; BORTOLUZZI E. C.; MOTERLE, D. F.; PETRY, C. Evidences of soil geochemistry and mineralogy changes caused by eucalyptus rhizosphere. *Catena*, p.132-143, 2019.

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*, v. 9(3), 3939 - 3954, 2014.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAÚJO-FILHO, J. C. de.; SILVA, A. B. da. *Solos do Nordeste*. Recife: Embrapa Solos, 2014.

MACHADO, C. C. C.; FRAGA, V. S.; ALBUQUERQUE, M. B; BEIRIGO, R. M.; SILVA, F. E.; MARTINS, E. S. Zoneamento Agrogeológico como Ferramenta para o Manejo

Regional da Fertilidade de Solos Agrícolas Tropicais: Potencial das Rochas Ricas em Biotita na Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 3105-3118, 2020.

MEDEIROS, B. M. Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba. Universidade Federal da Paraíba. Trabalho de conclusão de curso.

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/4546/1/BMM19072018.pdf>, 2018.

MEKI, N. M.; KINIRY, R. J.; BEHRMAN, D. K.; PAWLOWSKI, M. N.; CROW, E. S. The Role of Simulation Models in Monitoring Soil Organic Carbon Storage and Greenhouse Gas Mitigation Potential in Bioenergy Cropping Systems. *CO2 Sequestration and Valorization*, p. 250-279, 2014.

MODA, E. M.; HORRI, J.; SPOTO, M. H. F. Edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* production on washed and supplemented sugar-cane bagasse. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.62, p.127-132, 2005.

OEI, P.; ZENG, H.; LIAO, J.; DAI, J.; CHEN, M.; CHENG, Y. Alternative uses of spent mushroom compost. In: *Mushroom biology and mushroom products. Proceedings of the Sixth International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*, p.231-245, 2008.

OLIVEIRA, T. C. A cultura do sorgo sacarino: revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, 2021.

PAVINATO, P.S; ROSOLEM, A.C. R. disponibilidade de nutrientes no solo-decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, N. R. L.; ANJOS, F. E.; MAGNAGO, R. F. Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. *Rev. Virtual Quim*, v.11, n.4, p.1165-1179, 2019.

PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 96, p. 863-873, 2012.

PICORNELL-BUENDÍA, R.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; ARTURO DE JUAN-VALERO, J. Agronomic assessment of spent substrates for mushroom cultivation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, v. 20, n. 3, p. 363-374, 2016.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para Entender a Terra*, 4a edição. Tradução: MENEGAT, R. Porto Alegre, Bookman, p. 656, 2006.

RAJAVAT, S. S; MAGESHWARAN, V; BHARADWAJ, A; TRIPATHI, S; PANDIYAN, K. Chapter 17 - Spent mushroom waste: An emerging biofertilizer for improving soil health and plant productivity. Editor(s): Harikesh Bahadur Singh, Anukool Vaishnav, *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, p.345-354. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00010-1>, 2022.

RAMOS, G. C; QUEROL, X; OLIVEIRA, M. L. S; PIRES, K; KAUTZMANN, R. M; OLIVEIRA, L. F. S. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, p. 371-380, 2015.

- REZENDE, J. O., SHIBATA, R. T., SOUZA, L. S. Justificativa e recomendações técnicas para o "plantio direto" dos citros nos Tabuleiros Costeiros; Ênfase na citricultura dos Estados da Bahia e Sergipe. 1. ed. Cruz das Almas, Bahia: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, v. 1, p. 240, 2015.
- RINKER, D. Spent Mushroom Substrate Uses: Edible and Medicinal Mushrooms, (August). Technology and Applications, p. 427–454. <http://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>, 2017.
- SÁNCHEZ, C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. Appl Microbiol Biotechnol, v. 85, p. 1321–1337, 2010.
- SANTOS, E. J; FERREIRA, C. A; SILVA JR, J. M. Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba. Brasília: CPRM, 2002.
- SBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R. G.; RÉDEA, T. A.; SOARES, D. A.; ÁVILA, F. B. Characterization and Nutrient Release from Silicate Rocks and Influence on Chemical Changes in Soil. R. Bras. Ci. Solo, v. 36, p. 951-962, 2012.
- SILVA, A. P. R.; PAIVA, G. A.; DAVID, G. Q.; MEDEIROS, J. D.; FIGUEIREDO, A. M. C. Uso de resíduos agrícolas para produção de cogumelos comestíveis no Norte do Estado de Mato Grosso. Brazilian Journal of Development, v.7, n.8, p. 82074-82089, 2021.
- SHAFIEI, M.; KUMAR, R.; KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In: KARIMI, K. Lignocellulose: based bioproducts. Switzerland: Springer International Publishing, p. 85-154, 2015.
- SOUZA, F. N. S. O potencial de agrominerais silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura tropical. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 144. p, 2014.
- SOUZA, H. A. de; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A. de; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Uso fertilizante do subproduto da agroindústria processadora de goiabas II – Estado nutricional e produção de goiabas. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 725-730, 2014.
- TAVARES, L. F. Disponibilização de potássio e silício de remineralizador pelo processo de compostagem. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Rio Parnaíba-MG, 2017.
- TAVARES, E. Q. P., BUCKERIDGE, M. S. Do plant cell walls have a code? Plant Science, v. 241, p. 286-294, 2015.
- TESFAW, A.; TADESSE, A.; KIROS, G.; J. Optimization of oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushroom cultivation using locally available substrates and materials in Debre Berhan, Ethiopia. Appl. Biol. Biotechnol, v.3, p.15-20, 2015.
- THEODORO, S.H. Fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. (Tese de Doutorado). CDS/UnB, Brasília, 2020.
- TOSCANI, F. G. S.; CAMPOS, J. E. G. uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizados em solos intensamente intemperizados. Geociências, v. 36, n. 2, p. 259 - 274, 2017.

URBEN, A. F. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. 3. ed. Brasília: Embrapa, p. 272, 2018.

CAPÍTULO II

USO DO SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS (SMS) SOBRE OS
ATRIBUTOS QUÍMICOS E DE FERTILIDADE EM ARGISSOLO BRUNO-
ACINZENTADO

USO DO SUBSTRATO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS (SMS) SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E DE FERTILIDADE EM ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

RESUMO

O substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) é um produto que passou por um processo de biodegradação e quando incorporados ao solo auxiliam na fertilidade. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da incorporação de substratos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos na fertilidade do Argissolo. O experimento foi conduzido em abrigo telado sob condições controladas, localizado na Universidade Federal da Paraíba, no Departamento de Solos e Engenharia Rural em Areia – PB. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial de $4 \times 2 + 1$, sendo (4 = substrato agronômico (casca de arroz, brotos de abacaxi, fibra de coco e borra de café); 2 = condição do substrato (*in natura* e SMS); 1 = tratamento adicional (sem incorporação de resíduo agronômico), em que cada unidade experimental foi composta por um saco plástico de polietileno com capacidade de 1 quilograma de terra fina seca ao ar (TFSA) de solo, sendo mantido por 90 dias de incubação e posteriormente 50 dias cultivado com uma planta de sorgo para avaliar o crescimento vegetativo. O solo utilizado foi classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado, sendo coletado no Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia – PB. Ao finalizar a incubação, os solos foram analisados nos seus parâmetros de química e de fertilidade do solo. A significância foi testada de acordo ao teste F a 5% de significância ($P < 0,05$). Em geral, a incorporação de SMS mostrou-se influência significativa ($P < 0,05$) apenas para a acidez potencial (Al + H). De acordo com os resultados, a incorporação de resíduos agronômicos no solo proporcionou benefícios na fertilidade do Argissolo Bruno-Acinzentado ao promover o aumento do carbono orgânico total, matéria orgânica, magnésio, potássio, capacidade de troca catiônica do solo (CTC), saturação por bases (SB) e pH próximo da faixa de maior disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas, bem como reduzir a acidez ativa e potencial e a saturação por alumínio. O SMS dos brotos de abacaxi e o SMS da fibra de coco, foram os substratos agronômicos que apresentam maior influência no pH, assim como na disponibilidade de cátions trocáveis de K^+ que afetam positivamente na redução da acidez potencial.

Palavras-chave: resíduos orgânicos; matéria orgânica do solo; disponibilidade de nutrientes.

USE OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE ON CHEMICAL AND FERTILITY ATTRIBUTES IN ACRISOL

ABSTRACT

Mushroom The spent mushroom substrate (SMS) is a by-product of the fungus biodegradation process and when incorporated into the soil could help in its fertility. The objective of the present work was to evaluate the effects of the incorporation of lignocellulosic substrates, in natura and SMS, on the fertility of the Acrisol. The experiment was conducted in a tiled shelter under controlled conditions, located at the Federal University of Paraiba, in the Department of Soils and Rural Engineering in Areia - PB. The experimental design adopted was entirely randomized, with a 4×2+1 factorial arrangement, being four agronomic substrates: rice husk, pineapple sprouts, coconut fiber and coffee grounds; two substrate condition: in natura and SMS and one additional treatment (without incorporation of agronomic waste), in which each experimental unit was composed of a polyethylene plastic bag with a capacity of 1 kg of soil, being maintained for 90 days of incubation and later 50 days with a sorghum plant to evaluate vegetative growth. The soil used was classified as Acrisol (WRB/FAO), being collected in the locality of “Chã de Jardim”, Areia-PB. Concluding incubation, the soils were analyzed in their chemical fertility parameters of soil and significance was tested according to the F Test at 5% significance ($p < 0.05$). In general, SMS incorporation was significant influence ($p < 0.05$) only for potential acidity (Al + H). The incorporation of agronomic wastes into the soil has provided benefits in the fertility of Acrisol by promoting increased total organic carbon, organic matter, magnesium, potassium, soil cation exchange capacity (CTC), sum of bases (SB), bases saturation and pH near the highest nutrient availability for agricultural crops, as well as reduce active acidity and potential and aluminum saturation. SMS of pineapple sprouts and coconut fiber SMS were agronomic substrates that have the greatest influence on pH, as well as the availability of potassium exchange that positively affect potential acidity reduction.

Keywords: organic wastes; soil organic matter; nutrient availability.

1 INTRODUÇÃO

Os cogumelos cultiváveis são obtidos através do cultivo em materiais lignocelulósicos, como as palhas, serragens e resíduos obtidos por culturas agrícolas (GRIMM; WOSTEN, 2018). Os resíduos orgânicos gerados de atividades agrícolas apresentam potencial agrônômico para serem utilizados na agricultura, além de constituírem excelentes fontes de matéria orgânica, contribuem para o fornecimento de macro e micronutrientes ao solo, principalmente o N, S e o P, que são mineralizados durante o processo de decomposição, tornando-se de fácil absorção pelas plantas (BALOCH; RAJPAR; TALPUR, 2014; NOVAIS et al., 2007).

O ciclo de colheita dos cogumelos dura aproximadamente três semanas e, depois desse período, o material de cultivo é considerado como substrato gasto (SMS), uma vez que este composto foi biodegradado pelos fungos durante o seu período de frutificação. Os SMS estão disponíveis em grandes quantidades no país, pois um quilograma de cogumelo produzido, gera em média cinco a seis quilograma de substrato gasto por cogumelo (FINNEY et al., 2009; MA et al., 2014).

O SMS pode ser destinada para várias atividades, como substrato para produção de adubo orgânico, biofertilizante, enzimas para a biorremediação, ração para animais, matérias de construção, biocombustíveis e reutilização no cultivo de cogumelos (GRIMM; WÖSTEN, 2018; RAJAVAT et al., 2022). Porém, apresenta algumas desvantagens, dentre elas pode-se citar a deposição de resíduos gerado no seu processo produtivo.

No mundo são geradas e descartadas grandes quantidades de substratos pós-cultivos de cogumelos, com destaque para a China estima-se que o país descarta aproximadamente quatro milhões de toneladas que são depositados no meio ambiente sem nenhum tratamento (OEI et al., 2008). A utilização de resíduos agrícolas para o cultivo de cogumelos comestíveis pode reduzir os impactos ambientais, através da diminuição do descarte ao meio ambiente (SILVA et al., 2021).

Diante dessa problemática o substrato gasto por cogumelos surge como alternativa de utilização dos seus resíduos como substrato na agricultura, pois pode ser utilizado na preparação de fertilizantes, melhorando assim, os atributos físicos e químicos e biológicos do solo para a exploração de culturas agrícolas (SILVA et al., 2021). Levando-se em consideração esses aspectos, o SMS tem grande potencial para o desenvolvimento das plantas, por conter

nutrientes, que proporciona melhoria nas propriedades do solo (RAJAVAT et al., 2022), além de favorecer a ciclagem dos resíduos orgânica no solo.

Desta forma, a hipótese do presente estudo é que o substrato *in natura* e pós-cultivo de cogumelos pode promover a fertilidade do solo por meio da disponibilidade de nutrientes. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da incorporação de fontes orgânicas *in natura* e de substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) nos atributos químicos e fertilidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em abrigo telado, pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, na cidade de Areia – PB, apresentando as seguintes coordenadas: 6°57' 49,6" Sul, 35° 44' 58,0" Oeste, altitude de 618 m.

2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E DE FERTILIDADE

O material de solo utilizado foi coletado na localidade de Chã de Jardim, Areia – PB, em área de pastagem, sendo classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado. Após amostragem, o solo foi submetido a 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 os atributos químico e de fertilidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química e fertilidade do Argissolo Bruno-Acinzentado.

Parâmetro analisado	¹ Valores
pH _{H₂O}	5,01 ± 0,07
pH _{KCl}	3,86 ± 0,02
pH _{CaCl₂}	4,05 ± 0,15
ΔpH (pH _{KCl} - pH _{H₂O})	-1,15 ± 0,06
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,17 ± 0,01
Carbono orgânico total (mg g ⁻¹)	15,94 ± 0,98
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	5,78 ± 0,29
Cinzas (dag kg ⁻¹)	94,22 ± 0,29
Fósforo disponível (mg kg ⁻¹)	8,46 ± 0,75
Ca ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,46 ± 0,06
Mg ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	1,59 ± 0,43
K ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,20 ± 0,01
Na ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,05 ± 0,00
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	2,31 ± 0,37
Acidez trocável (Al ⁺³) (cmol _c kg ⁻¹)	0,17 ± 0,06
Acidez potencial (Al + H) (cmol _c kg ⁻¹)	10,11 ± 0,50
CTC efetiva (t) (cmol _c kg ⁻¹)	2,47 ± 0,31
CTC potencial (T) (cmol _c kg ⁻¹)	12,41 ± 0,20
Saturação por Alumínio (m) (%)	7,01 ± 3,01
Saturação por bases (V) (%)	18,61 ± 3,12
Porcentagem de sódio total (%)	0,43 ± 0,03
Razão de adsorção de sódio	0,05 ± 0,01

¹Média ± SD, n = 3. pH_{H₂O} = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v; pH_{KCl} = potencial hidrogeniônico em KCl 1M na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; pH_{CaCl₂} = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 10mM na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; CTC potencial = capacidade de troca catiônica potencial em pH 7,0.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A água utilizada para irrigação do experimento foi proveniente de um poço localizado próximo a Universidade Federal da Paraíba em Areia – PB (Tabela 3). Em todo o período experimental (incubação e cultivo do sorgo), com a incorporação dos substratos lignocelulósicos, durante 140 dias, o solo foi mantido com 80% da capacidade campo, com irrigações intercaladas em períodos de um dia.

Tabela 3 – Caracterização química da água de irrigação utilizada durante o período experimental.

Variável	unidade	¹ Valor
pH em água	-	5,58 ± 0,03
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	0,23 ± 0,01
Fósforo	mg L ⁻¹	1,04 ± 0,22
Cálcio	mg L ⁻¹	0,00 ± 0,00
Magnésio	mg L ⁻¹	69,28 ± 19,75
Sódio	mg L ⁻¹	4,63 ± 0,05
Potássio	mg L ⁻¹	2,83 ± 0,05
PST	%	2,65 ± 0,28
RAS	-	0,51 ± 0,03

PST = porcentagem de sódio trocável; RAS = razão de adsorção do sódio. ¹Média ± SD, *n* = 3.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS

Os substratos lignocelulósicos *in natura* de fibra de coco, brotos de abacaxi, casca de arroz e borra de café e seus respectivos substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram fornecidos e caracterizados pelo Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) da UFPB, Campus II (Tabela 4).

Tabela 4 – Caracterização química dos substratos lignocelulósicos, resíduos agrônômicos *in natura* e substrato pós-cultivo de cogumelos.

Substrato lignocelulósico	Condição	CO (dag kg ⁻¹ MS)	C/N	pH	CE
					(dS m ⁻¹)
Fibra de coco	<i>In natura</i>	38,99 ± 0,96	208,68 ± 11,66	6,20 ± 0,00	0,098 ± 0,002
	SMS	31,43 ± 1,13	72,69 ± 6,84	5,60 ± 0,01	0,174 ± 0,003
Brotos de abacaxi	<i>In natura</i>	37,41 ± 0,85	52,53 ± 3,15	6,80 ± 0,01	0,390 ± 0,018
	SMS	35,46 ± 2,60	40,87 ± 4,01	5,92 ± 0,02	0,271 ± 0,006
Casca de arroz	<i>In natura</i>	25,32 ± 0,76	63,26 ± 1,99	5,81 ± 0,00	0,076 ± 0,003
	SMS	36,17 ± 1,99	85,32 ± 5,42	5,16 ± 0,02	0,137 ± 0,004
Borra de café	<i>In natura</i>	45,22 ± 0,31	24,58 ± 0,52	4,64 ± 0,02	0,675 ± 0,007
	SMS	44,19 ± 0,52	20,74 ± 2,28	4,14 ± 0,01	0,715 ± 0,026

In natura = resíduo agrônômico *in natura*; Pós-cultivo = substrato pós-cultivo de cogumelos; CO = teor de carbono; C/N = relação carbono-nitrogênio; pH = potencial hidrogeniônico (-log₁₀[H⁺]); CE = condutividade elétrica. Média ± SE, *n* = 5. Adaptado de Zárate-Salazar (2022).

2.5 DOSAGEM DOS SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

Os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram aplicados nas doses de 3,5 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico (CO) equivalentes aos teores encontrados em 10 Mg ha⁻¹ de restolho de milho *in natura* (35,36% de CO, Tabela 5). Com relação as grandezas, considerando 1 ha do Argissolo Bruno-Acinzentado, 0,20 m de profundidade e 1,46 Mg m⁻³ de densidade aparente, foram calculadas as biomassas dos SMS incorporados em 1000 kg de TFSA (Tabela 5, Figura 2).

Tabela 4 – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos lignocelulósicos, resíduos agrônômicos (*in natura* e SMS) incorporados em Argissolo Bruno-Acinzentado.

Substrato lignocelulósico	Condição	¹ Massa (g sacola ⁻¹)
Fibra de coco	<i>in natura</i>	4,012
	SMS	4,950
Brotos de abacaxi	<i>in natura</i>	4,186
	SMS	4,399
Casca de arroz	<i>in natura</i>	6,180
	SMS	4,278
Borra de café	<i>in natura</i>	3,373
	SMS	3,589

In natura = resíduo agrônômico *in natura*; SM = substrato pós-cultivo de cogumelos; ¹Dose Substratos lignocelulósicos ao mesmo teor de carbono orgânico em 10 Mg de restolho de milho *in natura* (CO = 35,36%) incorporados em vasos com 1 kg de TFSA de Argissolo Bruno-Acinzentado com fator $f = 1,02$ e densidade aparente (g cm⁻³) = 1,14 determinado por relação de grandezas para um hectare (10⁴ m²);

Figura 2: Argissolo Bruno-Acinzentado incubado em sacos, após incorporação de substratos lignocelulósicos (*in natura* e SMS), durante o período de incubação em casa de vegetação.

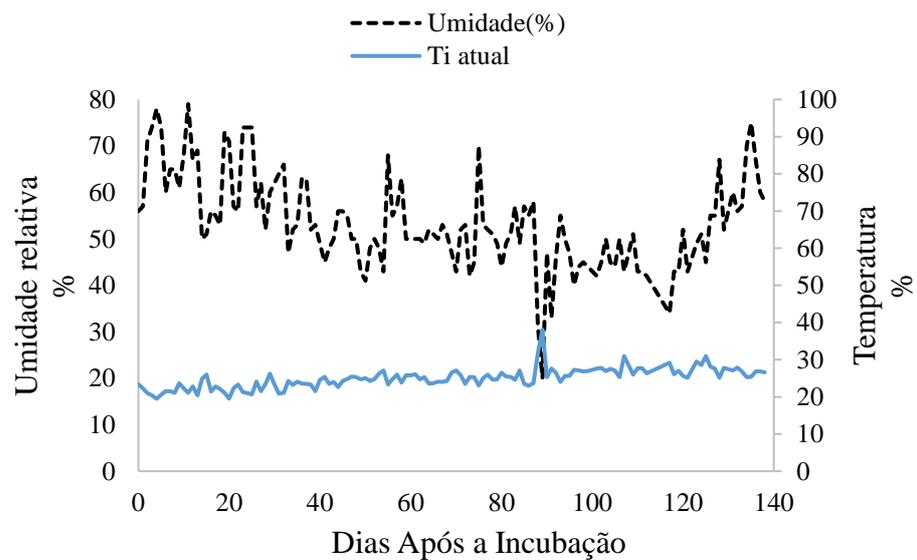


Fonte: Nascimento, J. S (2023).

Após a incorporação dos resíduos lignocelulósicos, o solo foi mantido por 90 dias de incubação e posteriormente 50 dias com uma planta de sorgo (variedade “Ponta Negra”) para avaliar o crescimento vegetativo. Foi realizado um teste de germinação antes da semeadura e as sementes apresentavam um percentual de germinação de 91%. Após o período de incubação, os solos foram coletados, secados em estufa a 65°C por 3 dias, e armazenados em sacos plásticos para posterior análises dos atributos químicos do solo.

O registro das condições de ambiente da casa de vegetação foi realizado diariamente com auxílio de um termo-higrômetro, registrando-se, 16,5°C de temperatura mínima, 50,6°C de temperatura máxima e 54,0 de umidade relativa durante 140 dias de incubação (Figura 3). Na Figura 3, observa-se a variação de temperatura e umidade relativa do ar durante o período do experimento.

Figura 3: Temperatura e umidade relativa durante os 140 dias de experimento.



2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial de $4 \times 2 + 1$, sendo (4 = substrato agrônômico (casca de arroz, brotos de abacaxi, fibra de coco e borra de café); 2 = condição do substrato (*in natura* e SMS); 1 = tratamento adicional (sem incorporação de resíduo agrônômico, que representou o solo controle), totalizou 9 tratamentos, com 4 repetições, perfazendo 36 unidades experimentais, em que cada unidade

experimental foi composta por uma saco plástico de polietileno com 1 quilograma de TFSA de solo.

2.7 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Antes da implantação dos tratamentos e ao término do experimento, foram determinadas as variáveis de química e fertilidade do solo, com objetivo de verificar as mudanças ocorridas durante o período de incubação.

Os solos de cada saco de polietileno foram retirados e secos em estufa a 65°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 química e fertilidade do solo determinando o pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), pH em KCl 1M (pH_{KCl}), pH em CaCl_2 10mM ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), 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, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5,8$), acidez potencial (H+Al) (se, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 7,0$), 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 trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS).

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram executadas no ambiente estatístico do software R studio. Dos resultados foram verificados os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Bartlett), se não rejeitados ($P \geq 0,05$), realiza-se ANOVA e, se significativa ($P < 0,05$), faz-se o teste de médias de Scott-Knott a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da incorporação de resíduos agrônômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias sobre os valores de pH, Δ pH e CE do solo estão apresentados na tabela 6.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 6, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) para os tratamentos analisados. No entanto, para a variável pH_{KCl} o tratamento fatorial ($\text{pH} = 3,93$) aumentou em 3,93% em relação ao tratamento controle ($\text{pH} = 3,79$). Já a variável eletronegatividade o tratamento fatorial ($\Delta\text{pH} = -1,56$) aumentou 47,2% em relação ao tratamento controle ($\Delta\text{pH} = -1,06$). Este fato deve-se provavelmente a decomposição dos resíduos orgânicos, o qual produzem as oxidrilas e os íons bicarbonato (provenientes da dissociação da matéria orgânica), que reagem neutralizando os íons H^+ que se encontra na solução do solo, com isso o pH do solo começa a se elevar.

Esses dados corroboram com os relatados por Carmo et al. (2021), em que observaram um aumento de 8,8% no tratamento com SMS, em relação ao tratamento controle sem adução com SMS, avaliando o efeito do SMS de *Pleurotus ostreatus*, combinado com adubação orgânica. Além disso, o aumento dos pHs em todos os tratamentos pode ter ocorrido devido o SMS conter elevado teores de cátions básico, principalmente o cálcio (GONANI et al., 2011; PIAGESSI, 2014). Para Orozco-Rodríguez e Muñoz-Hernández (2012) o aumento do pH do solo é observado após a incorporação de resíduos orgânicos que pode ser atribuída ao teor de cátions básicos (Mg^{2+} , Ca^{+2} e K^+) encontrado principalmente em materiais compostados.

Tabela 5 – Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	pH _{CaCl₂}	ΔpH	CE (dS m ⁻¹)
FC	INN	5,46 ± 0,08	3,83 ± 0,02	4,06 ± 0,05	-1,63 ± 0,10	0,18 ± 0,01
	SMS	5,39 ± 0,07	3,84 ± 0,02	4,07 ± 0,06	-1,54 ± 0,06	0,17 ± 0,01
BC	INN	5,54 ± 0,04	3,99 ± 0,03	4,11 ± 0,05	-1,55 ± 0,07	0,19 ± 0,00
	SMS	5,49 ± 0,04	3,95 ± 0,06	4,05 ± 0,07	-1,54 ± 0,04	0,19 ± 0,01
BA	INN	5,54 ± 0,02	4,00 ± 0,03	4,21 ± 0,07	-1,54 ± 0,01	0,24 ± 0,01
	SMS	5,55 ± 0,08	4,05 ± 0,03	4,17 ± 0,04	-1,49 ± 0,08	0,22 ± 0,02
CA	INN	5,46 ± 0,06	3,89 ± 0,03	4,13 ± 0,04	-1,57 ± 0,06	0,18 ± 0,01
	SMS	5,47 ± 0,04	3,90 ± 0,02	4,12 ± 0,05	-1,56 ± 0,03	0,18 ± 0,01
Substrato × Condição		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial		5,49 ± 0,05	3,93 ± 0,03	4,12 ± 0,05	-1,56 ± 0,06	0,19 ± 0,01
Trat. Adicional (Controle)		5,39 ± 0,04	3,79 ± 0,03	4,01 ± 0,04	-1,06 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Trat. fatorial vs Trat. adicional		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

FC = fibra de coco; BC = borra de café; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico *in natura*; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Trat. Fatorial = interação dos substratos lignocelulósicos e condição; pH_{H₂O} = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v; pH_{KCl} = potencial hidrogeniônico em KCl 1M na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; pH_{CaCl₂} = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 10mM na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; ΔpH = pH_{KCl} - pH_{H₂O}; CE = condutividade elétrica em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *substrato e condição*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *condição e substrato*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados do carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Tabela 6 – Carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	COT	MO	CZ	P
		(mg g ⁻¹)	— dag kg ⁻¹ —		(mg kg ⁻¹)
FC	INN	16,58 ± 0,65	5,60 ± 0,10	94,40 ± 0,10	11,75 ± 0,50
	SMS	17,10 ± 0,50	5,60 ± 0,17	94,40 ± 0,17	10,15 ± 1,27
BC	INN	15,73 ± 0,04	5,44 ± 0,10	94,56 ± 0,10	9,79 ± 1,38
	SMS	15,91 ± 0,95	5,52 ± 0,30	94,48 ± 0,30	10,40 ± 1,65
BA	INN	15,31 ± 0,79	5,51 ± 0,33	94,49 ± 0,33	11,87 ± 1,92
	SMS	15,27 ± 0,55	5,29 ± 0,33	94,71 ± 0,33	10,03 ± 1,15
CA	INN	17,21 ± 0,51	5,88 ± 0,15	94,12 ± 0,15	11,50 ± 1,02
	SMS	16,33 ± 0,95	5,55 ± 0,49	94,45 ± 0,49	10,65 ± 0,71
Substrato × Condição		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial		16,18 ± 0,62	5,55 ± 0,25	94,45 ± 0,25	10,77 ± 1,20
Trat. Adicional (Controle)		16,05 ± 0,31	5,32 ± 0,34	94,68 ± 0,34	11,01 ± 1,59
Trat. fatorial × Trat. adicional		*	*	*	*

FC = fibra de coco; BC = borra de café; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico *in natura*; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Trat. Fatorial = interação dos substratos lignocelulósicos e condição; COT = carbono orgânico total (COT); MO = matéria orgânica; CZ = cinzas; P = fósforo disponível. Letras minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *substrato e condição*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *condição e substrato*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

Diante dos dados apresentados na Tabela 7, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para as variáveis (COT, MO, CZ e P), para o contraste do tratamento adicional com o fatorial, onde observa-se que o tratamento fatorial apresentou os maiores valores para as variáveis (COT = 16,18) e (MO = 5,55) em relação ao controle, COT e MO (16,05, 5,32), respectivamente. Já para os substratos em relação a condição (*in natura* e SMS), não diferiram estatisticamente entre si. No entanto, o tratamento casca de arroz *in natura* nas variáveis (COT = 17,21) e (MO = 5,88), aumentaram 7,7 e 10,5%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (COT = 16,05) e (MO = 5,32).

Este fato pode ser explicado pela contribuição oriundos dos resíduos lignocelulósicos (SMS e *in natura*) que se encontra relatado na Tabela 4. De acordo com Gamboa et al. (2022), em experimento desenvolvido em solo do tipo Franco-Arenoso, com baixo teor de MO (< a

1,5%), através da adição de SMS obteve-se um aumento significativo ($P < 0,05$) na MO, mostrando-se uma mudança positiva com aumento de 4,6 vezes do valor inicial. Em estudo na região do semiárido em um Cambissolo, sob condições de plantio convencional, as aplicações de SMS nas dosagens de 25 Mg ha⁻¹ aumentaram os teores de carbono orgânico e matéria orgânica do solo e conseqüentemente, apresentou melhoria na biota do solo (PEREGRINA et al., 2012). Castelo-Gutierrez et al. (2016), verificaram que os substratos pós cultivo de cogumelos, tanto no seu estado sólido ou biofertilizante, mostraram potencial como condicionador de solo, principalmente em formas compostadas melhoraram diretamente as características físico-químicas do solo, como matéria orgânica, CTC e pH.

Em relação as variáveis fósforo e cinzas observaram-se valores menores no tratamento fatorial ($P = 10,77$, $CZ = 94,45$) quando comparado ao tratamento controle ($P = 11,01$, $CZ = 94,68$), no entanto, os valores foram maiores em relação a condição inicial do solo ($P = 8,46$) e (cinzas = 94,22) (Tabela 7). Este fato pode estar relacionado com o aumento de 9,6% do pH do solo no tratamento fatorial ($pH_{H_2O} = 5,49$), em relação a condição inicial do solo ($pH_{H_2O} = 5,01$) com isso reduz o efeito da fixação e adsorção do P, conseqüentemente disponibiliza o P para a solução do solo, como foi observado um aumento no tratamento de 27,3% para o tratamento fatorial em relação a condição inicial do solo. Esses dados corroboram com os de Gamboa et al. (2022), em que observaram aumentos positivos nos teores de macronutrientes e (P aumentou 1,5 vezes), quando comparado às propriedades iniciais do solo ao adicionar SMS. Carmo et al. (2021), encontraram o mesmo comportamento com aumento nos teores de P através da incorporação de SMS, em relação as propriedades iniciais do solo. A decomposição do material orgânico também deve ser considerada importante fonte de fósforo no solo, pois sua decomposição resulta em mineralização do fósforo que está presente nos resíduos vegetais (MEURER, 2010; PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Na (Tabela 8), estão apresentados os resultados do cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez trocável e acidez potencial do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agrônômicos in natura e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

De acordo com a (Tabela 8), observou-se diferença significativa apenas para as variáveis Mg^{2+} e $Al+H$. Para o magnésio o contraste do tratamento adicional com o fatorial, em que verificou-se que o tratamento fatorial apresentou aumento significativo de 30,7% ($Mg^{2+} = 1,49$) em relação ao controle ($Mg^{2+} = 1,14$). Já para a acidez trocável e potencial não foi observado diferença significativa para o contraste do tratamento adicional com o fatorial, em que o tratamento fatorial ($Al^{3+} = 0,18$, $Al+H = 10,61$) reduziu em 10 e 1,5%, respectivamente, em

relação ao tratamento controle ($Al^{3+} = 0,20$, $Al+H = 10,77$). Essa redução é provocada possivelmente pelo aumento no valor de pH do solo e ligação direta com o aumento das bases trocáveis (cálcio e magnésio), principalmente. Esses resultados corroboram com os relatados por Xavier et al. (2018), à neutralização da acidez trocável é atribuída ao aumento do pH e pela rápida liberação de cátions trocáveis do SMS ao solo como Mg^{2+} , Ca^{+2} e K^+ , tal como foi observado no solo incorporado com SMS de brotos de abacaxi e borra de café in natura para os cátions trocáveis K^+ e Mg^{+2} , respectivamente. A incorporação de SMS tem efeito de neutralizar a acidez dos solos e facilitar o desenvolvimento das culturas ali cultivadas, o pH está mais próximo da faixa ótima (pH entre 5,5 e 6,5) de absorção de nutrientes pelas culturas.

Em relação a acidez potencial, os tratamentos compostos por borra de café e brotos de abacaxi *in natura* apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) em relação ao demais tratamentos *in natura*, sendo verificado que os tratamentos com borra de café e brotos de abacaxi ($Al+H = 10,15$, $Al+H = 10,27$) apresentaram uma redução de 5,8 e 4,6%, respectivamente, em relação ao tratamento controle ($Al+H = 10,77$). Em relação aos níveis dentro dos substratos, o tratamento borra de café *in natura* ($Al+H = 10,15$) foi o único que diferiu significativamente ($P < 0,05$), em que observa-se uma redução de 7,9% nos níveis de a acidez potencial em relação ao tratamento constituído pela borra de café SMS ($Al+H = 11,02$) (Tabela 8). De acordo com Pavinato e Rosolem (2008), a adição de resíduos agronômicos pode promover a elevação do pH como consequência da complexação da acidez potencial, pelos compostos dos resíduos vegetais, deixando Mg^{2+} , Ca^{+2} e K^+ mais livres na solução do solo, o que pode favorecer o aumento na saturação da CTC por estes cátions de reação básica.

Tabela 7 – Cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez trocável e acidez potencial do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agrônômicos in natura e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Al + H
		cmol _c kg ⁻¹					
FC	INN	0,57 ± 0,06	1,59 ± 0,13	0,16 ± 0,02	0,25 ± 0,00	0,15 ± 0,03	10,85 ± 0,16aA
	SMS	0,60 ± 0,07	1,52 ± 0,21	0,13 ± 0,00	0,25 ± 0,01	0,20 ± 0,04	10,40 ± 0,10aA
BC	INN	0,52 ± 0,11	1,54 ± 0,25	0,13 ± 0,01	0,28 ± 0,00	0,15 ± 0,03	10,15 ± 0,14bB
	SMS	0,60 ± 0,07	1,34 ± 0,09	0,14 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,25 ± 0,03	11,02 ± 0,14aA
BA	INN	0,50 ± 0,09	1,49 ± 0,12	0,22 ± 0,02	0,33 ± 0,01	0,13 ± 0,03	10,27 ± 0,17bA
	SMS	0,42 ± 0,05	1,52 ± 0,11	0,22 ± 0,01	0,28 ± 0,02	0,18 ± 0,03	10,31 ± 0,08aA
CA	INN	0,37 ± 0,02	1,42 ± 0,08	0,15 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,20 ± 0,04	10,93 ± 0,17aA
	SMS	0,45 ± 0,06	1,47 ± 0,13	0,15 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,20 ± 0,00	10,93 ± 0,10aA
Substrato × Condição		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Trat. Fatorial		0,50 ± 0,07	1,49 ± 0,14	0,16 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,18 ± 0,03	10,61 ± 0,13
Trat. Adicional (Controle)		0,70 ± 0,06	1,14 ± 0,22	0,12 ± 0,01	0,25 ± 0,02	0,20 ± 0,04	10,77 ± 0,07
Trat. fatorial vs Trat. Adicional		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

FC = fibra de coco; BC = borra de café; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agrônômico in natura; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Trat. Fatorial = interação dos substratos lignocelulósicos e condição; Ca²⁺ = cálcio trocável; Mg²⁺ = magnésio trocável, transformação $(x+0,5)^{0,5}$; K⁺ = potássio trocável, transformação $x^{0,25}$; Na⁺ = sódio trocável; Al³⁺ = acidez trocável; Al+H = acidez potencial Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *substrato e condição*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *condição e substrato*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

Na Tabela 9, estão apresentados os resultados para os índices de fertilidade (SB, T, t, V, m, PST e RAS), do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Diante dos dados apresentados na tabela 9, as variáveis não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para os tratamentos analisados. No entanto, observa-se no tratamento fatorial para os índices de fertilidade (SB = 2,43, t = 2,61, V = 18,61), aumentaram em 10,5, 8,8 e 10,1%, respectivamente e para a saturação por alumínio (m = 7,03) redução 16,8%, em relação ao tratamento controle (SB = 2,20, t = 2,40, V = 16,91, m = 8,45). Esse aumento da soma de bases e saturação de bases é atribuído principalmente aos teores dos resíduos lignocelulósicos, conforme a Tabela 4. O SMS pode ser uma boa fonte de nutrientes para as plantas, pois geralmente é rico em alguns nutrientes, apresentando alta capacidade de troca catiônica (MUCHENA et al., 2021).

Já para as variáveis RAS e PST o tratamento fatorial (RAS = 0,28, PST = 2,12) aumentou em 3,7 e 9%, em relação ao tratamento controle (RAS = 0,27, PST = 1,93), houve efeito negativo no solo, com aumento do sódio trocável no solo. Este aumento do sódio pode estar relacionado ao teor de Na dos resíduos lignocelulósicos (Tabela 4). Dessa forma, entende-se que a incorporação dos resíduos agronômicos, podem aumentar os níveis de sais no solo.

Os sais em excesso, traz efeitos adversos para o solo, que pode resultar em aumento da condutividade elétrica (AHLAWAT et al., 2007). Entretanto, no presente trabalho os valores de CE dos solos com a incorporação SMS sempre foram inferiores a 1 dS m^{-1} , muito abaixo do limite de CE que pode impedir o crescimento radicular das culturas agrícolas ($\text{CE} < 3 \text{ dS m}^{-1}$) (DIAS et al., 2016; SPOSITO, 2016; VARALLO, 2012).

Tabela 8 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, saturação por alumínio, razão de adsorção do sódio, porcentagem de sódio trocável do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos, durante 140 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	SB	t	T	m	V	RAS	PST
		cmol _c kg ⁻¹			%			(%)
FC	INN	2,57 ± 0,07	2,72 ± 0,10	13,42 ± 0,22	5,47 ± 0,93	19,12 ± 0,28	0,24 ± 0,01	1,83 ± 0,05
	SMS	2,49 ± 0,21	2,69 ± 0,22	12,88 ± 0,18	7,56 ± 1,41	19,27 ± 1,44	0,25 ± 0,02	1,93 ± 0,09
BC	INN	2,48 ± 0,15	2,63 ± 0,15	12,63 ± 0,19	5,78 ± 1,14	19,61 ± 1,01	0,28 ± 0,01	2,25 ± 0,02
	SMS	2,35 ± 0,15	2,60 ± 0,14	13,37 ± 0,17	9,74 ± 1,25	17,57 ± 0,96	0,28 ± 0,02	2,07 ± 0,07
BA	INN	2,54 ± 0,04	2,67 ± 0,04	12,81 ± 0,16	4,70 ± 0,92	19,85 ± 0,41	0,34 ± 0,01	2,61 ± 0,06
	SMS	2,44 ± 0,12	2,62 ± 0,13	12,76 ± 0,18	6,70 ± 0,93	19,13 ± 0,68	0,29 ± 0,01	2,22 ± 0,12
CA	INN	2,20 ± 0,07	2,40 ± 0,07	13,13 ± 0,21	8,35 ± 1,75	16,75 ± 0,40	0,28 ± 0,02	2,00 ± 0,10
	SMS	2,33 ± 0,11	2,53 ± 0,11	13,26 ± 0,16	7,97 ± 0,34	17,56 ± 0,65	0,28 ± 0,01	2,05 ± 0,09
Substrato × Condição		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial		2,43 ± 0,12	2,61 ± 0,12	13,03 ± 0,18	7,03 ± 1,08	18,61 ± 0,73	0,28 ± 0,01	2,12 ± 0,08
Trat. Adicional (Controle)		2,20 ± 0,24	2,40 ± 0,25	12,97 ± 0,26	8,45 ± 1,83	16,91 ± 1,50	0,27 ± 0,03	1,93 ± 0,16
Trat. fatorial vs Trat. adicional		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

FC = fibra de coco; BC = borra de café; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico *in natura*; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Trat. Fatorial = interação dos substratos lignocelulósicos e condição; SB = soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺); t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica potencial (CTC pH 7,0); m = saturação por alumínio, transformação (x+0,5)^{1/2}; V = saturação por bases; RAS = razão de adsorção do sódio; PST = porcentagem de sódio trocável. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *substrato e condição*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *condição e substrato*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

4. CONCLUSÕES

A incorporação de substratos lignocelulósicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS), influenciam positivamente no condicionamento químico do Argissolo Bruno-Acinzentado nas variáveis de fertilidade ao promover o aumento do carbono orgânico total, matéria orgânica, magnésio, potássio, CTC, saturação por bases e pH próximo da faixa de maior disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas, bem como reduzir a acidez ativa e potencial e a saturação por alumínio.

O SMS dos brotos de abacaxi e o SMS da fibra de coco, foram os substratos orgânicos que apresentam maior influência no pH, assim como na disponibilidade de cátions trocáveis de K^+ que afetam positivamente na redução da acidez potencial. Desta forma, a utilização desses resíduos agronômicos como substratos para o cultivo de cogumelos pode ajudar a restaurar a qualidade química do Argissolo Bruno-Acinzentado.

REFERÊNCIAS

- AHLAWAT, O. P.; SAGAR, M. P. management of spent mushroom substrate, indian council of agricultural research chambaghat, London, UK, 2007.
- BALOGH, P. A.; RAJPAR, I.; TALPUR, U. A. Effect of integrated nutrient management on nut production of coconut (*Cocos nucifera* L.) and soil environment: a review. *Science Technology and Development*, v. 33, n. 1, p. 14-21, 2014.
- CARMO, C. O; RODRIGUES, M. S; SILVA, F; IRINEU, T. G. M; SOARES, C. F. Spent mushroom substrate of pleurotus ostreatus kummer increases basil biomass and essential oil yield. *Revista Caatinga*, v. 34, n. 3, 2021.
- CASTELO-GUTIÉRREZ, A. A.; GARCÍA-MENDIVIL, H. A.; CASTRO-ESPINOZA, L.; LARES-VILLA, F.; ARELLANO-GIL, M.; FIGUEROA-LÓPEZ, P.; GUTIÉRREZ-CORONADO, M. A. Residual mushroom compost as soil conditioner and biofertilizer in tomato production. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, v. 22, p. 83-93, 2016.
- DIAS, N. S. et al. Tolerância das plantas à salinidade: efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R. et al. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza, CE: INCTSal, p. 151-162, 2016
- 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.
- FINNEY, K. N.; RYU, C.; SHARIFI, V. N.; SWITENBANK, J. The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies. *Bioresource Technology*, v. 100, 310-315, 2009.
- GAMBOA et al. Fertilización sobre las propiedades del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Interciencia*, v. 47, n. 9, 2022.
- GONANI, Z; RIAHI, H; SHARIFI, K. Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, n. 3, p. 337–344, 2011.
- GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 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*, v. 9(3), 3939 - 3954, 2014.
- MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 4ª edição. Evangraf. Porto Alegre, 266p, 2010.
- MUCHENA, F. B.; PISA, C.; MUTETWA, M.; GOVERA, C.; NGEZIMANA, W. effect of spent button mushroom substrate on yield and quality of baby spinach (*Spinacia oleracea*). *International Journal of Agronomy*, v. 9, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6671647>
- 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.

- OEI, P.; ZENG, H.; LIAO, J.; DAI, J.; CHEN, M.; CHENG, Y. Alternative uses of spent mushroom compost. In: Mushroom biology and mushroom products. Proceedings of the Sixth International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, p.231-245, 2008.
- OROZCO-RODRÍGUEZ, R.; MUÑOZ-HERNÁNDEZ, R. Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, v. 25, p.16-31, 2012.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, A. C. R. disponibilidade de nutrientes no solo-decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 911-920, 2008.
- 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*. v.76, n. 5, 2012.
- PIAGESSE, M. Comparative Bioconversion of Rice Lignocellulosic Waste and its Amendments by Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus* species) and the Use of the Spent Mushroom Compost as Bio-Fertilizer for the Cultivation of Tomato, Pepper and Cowpea, University of Ghana, Legon, UK, 2014.
- RAJAVAT, S. S.; MAGESHWARAN, V.; BHARADWAJ, A.; TRIPATHI, S.; PANDIYAN, K. Chapter 17 - Spent mushroom waste: An emerging bio-fertilizer for improving soil health and plant productivity. Editor(s): Harikesh Bahadur Singh, Anukool Vaishnav, *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, 2022, P.345-354. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00010-1>.
- SPOSITO, G. Soil salinity in: *The chemistry of soils*. Oxford university press. Third Edition, p. 239, 2016.
- SILVA, A. P. R.; PAIVA, G. A.; DAVID, G. Q.; MEDEIROS, J. D.; FIGUEIREDO, A. M. C. Uso de resíduos agrícolas para produção de cogumelos comestíveis no Norte do Estado de Mato Grosso. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 8, p. 82074-82089, 2021.
- URBEN, A. F. *Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada*. 3. ed. Brasília: Embrapa, p. 272, 2018.
- VARALLO, A. C. T., SOUZA, C. F., SANTORO, B. L. Mudanças nas características físico-químicas de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface crespa (*Lactuca sativa*, L.). *Eng. Agríc*, v.32, pags. 271–279, 2012.
- ZÁRATE-SALAZAR, J. R. Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus* (jacq.) na recuperação da fertilidade de um Luvisolo degradado. 2022. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019. p. 119, 2022.

CAPÍTULO III

USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS *Pleurotus ostreatus*
(JACQ.) NO BIOINTEMPERISMO DE SUBPRODUTOS DE MINERAÇÃO APLICADOS
EM ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

USO DE SUBSTRATOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS *Pleurotus ostreatus* (JACQ.) NO BIOINTEMPERISMO DE SUBPRODUTOS DE MINERAÇÃO APLICADOS EM ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

RESUMO

O substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) é um produto que passou por um processo de biodegradação, por sua vez o pó rocha é uma fonte alternativa de adubo aos fertilizantes convencionais. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da incorporação de resíduos pós-cultivo de cogumelos no bioinemperismo de subprodutos de mineração através da análise da disponibilidade de nutrientes. O experimento foi conduzido em abrigo telado sob condições controladas, localizado no Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial de $4 \times 2 \times 2 + 1$, sendo (4 = substrato agrônômico (casca de arroz, brotos de abacaxi, fibra de coco e borra de café); 2 = condição do substrato (*in natura* e SMS); 2 = cenário agrônômico (com pó de rocha e sem pó de rocha); e 1 = tratamento adicional (solo puro), em que cada unidade experimental foi composta por um saco plástico de polietileno com 1 quilograma de terra fina seca ao ar (TFSA) de solo que foi mantido por 195 dias de incubação e posteriormente 75 dias cultivado com uma planta de sorgo para avaliar o crescimento vegetativo. Para o substrato lignocelulósico foi aplicado o equivalente de 10 Mg ha^{-1} , quanto ao pó de rocha foi aplicado o equivalente a 8 Mg ha^{-1} . O solo utilizado é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado e foi coletado na mata do pau-ferro em Areia- PB. Ao finalizar a incubação, os solos foram analisados nos seus parâmetros químicos da fertilidade do solo e a significância foram testadas de acordo ao teste F a 5% de significância ($P < 0,05$). A incorporação de substratos lignocelulósicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS), juntamente com pó de rocha influenciam a fertilidade do solo ao promover o aumento do carbono orgânico total, matéria orgânica, potássio, e pH próximo da faixa de maior disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas. O tratamento brotos de abacaxi *in natura* com pó de rocha e casca de arroz SMS sem pó de rocha apresentaram aumento significativo para a saturação por bases (V) de 9,5 e 8,8%, respectivamente, em relação ao tratamento controle.

Palavras-chave: fertilizantes alternativos; solubilização biológica; fertilidade do solo.

USE OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE OF *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) IN BIOLOGICAL WEATHERING OF ROCK POWDER APPLIED IN ACRISOL

ABSTRACT

The spent mushroom substrate (SMS) is a by-product that has undergone a biodegradation process, in turn rock powder is an alternative source of fertilizer to conventional fertilizers. The objective of this work was to evaluate the effects of the incorporation of SMS on the biological weathering of mining by-products through the analysis of nutrient availability. The experiment was carried out in a screened shelter under controlled conditions, located at the Federal University of Paraiba, in the Soils and Rural Engineering Department in Areia, PB. The experimental design was completely randomized, with a factorial arrangement of $4 \times 2 \times 2 + 1$, being four agronomic substrates: rice husk, pineapple sprouts, coconut fiber and coffee grounds; two substrate condition: in natura and SMS; two agronomic scenario: with and without rock powder incorporation and one additional treatment (only rock powder incorporation), in which each experimental unit was composed of a polyethylene plastic bag with 1 kg of soil that was maintained for 195 days of incubation and later 75 days cultivated with a sorghum plant to evaluate the vegetative growth. For the lignocellulosic substrate the equivalent of 10 Mg ha^{-1} was applied, for the rock powder the equivalent of 8 Mg ha^{-1} was applied. The soil used is classified as Acrisol and was collected in Areia-PB. At the end of the incubation, the soils were analyzed in their chemical parameters of soil fertility soil and significance were tested classified according to the F-test at 5% significance ($p < 0.05$). The incorporation of lignocellulosic substrates in natura and SMS, together with rock powder, influence soil fertility by promoting an increase in total organic carbon, organic matter, potassium exchange and pH close to the range of greatest availability of nutrients for agricultural crops. The incorporation of rock powder in the rice husk substrate with SMS reached the highest plant height and highest dry matter content in relation to the other treatments

Keywords: alternative fertilizers; biological solubilization; soil fertility.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos e inorgânicos oriundos de atividades agrícolas e mineradoras apresentam potencial agronômico para serem utilizados na agricultura, pois a sua utilização no solo promove a disponibilidade de macro e micronutrientes, conseqüentemente aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) e estimula a atividade microbiológica, além de melhorar as características físicas e químicas do solo (BALOCH; RAJPAR; TALPUR, 2014; NUNES et al., 2007).

Em atividades agrícolas, os resíduos originados podem se enquadrar na economia circular, por meio do uso desses subprodutos na agricultura de forma racional, como fonte de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, não somente reduzindo a pressão sobre os fertilizantes minerais, como também amenizando os impactos negativos no ambiente (GAITAN-HERNANDEZ, 2017). Os resíduos agrícolas contêm elevados teores lignocelulósicos que são excelentes para serem aproveitados na produção, inclusive de cogumelos comestíveis (CARVALHO et al., 2021).

Durante o processo de produção, os cogumelos convertem os resíduos de baixa qualidade e transforma em alimentos ricos em alguns nutrientes, como fósforo, potássio, cálcio, zinco e ferro, agregando valor ao produto (RINKER, 2017). O ciclo de cultivo dos cogumelos é bem rápido durando em média duas a três semanas e após esse período o material restante é denominado pós-cultivo de cogumelo (SMS).

O substrato pós-cultivo de cogumelos é composto por um material lignocelulósico, rico em celulose, hemicelulose e lignina, os quais são provenientes dos resíduos agrícolas como: bagaço de cana, casca de arroz, restolho de milho, casca de semente de algodão, polpa de café, casca de cacau, inclusive esterco de animais, entre outros (GRIMM; WOSTEN, 2018; JORDAN, 2018). O SMS pode ser destinado para outras atividades, como substrato para produção do cultivo de cogumelos, ração para animais, embalagens de produtos diversos, matérias de construção e biocombustíveis (GRIMM; WÖSTEN, 2018).

Os SMS são ricos em algumas enzimas (celulases, hemicelulases, lignases) e apresentam também grande quantidade de ácidos orgânicos. Os ácidos orgânicos que são produzidos durante o seu metabolismo microbiano podem solubilizar os minerais contidos nos pós de rocha por meio de acidólise, pois acidificam o meio e liberam os nutrientes mantidos na estrutura do mineral através da biossolubilização e tornar-se uma alternativa para a

disponibilizar os nutrientes no solo (ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017; DUARTE et al., 2022; MACHUCA; FERRAZ, 2001; MENEZES; BARRETO, 2015).

O substrato pós-cultivo de cogumelos, assim também, como o pó de rocha são considerados um resíduo, que muitas vezes são descartados no meio ambiente sem nenhum tratamento. Neste contexto, esses rejeitos podem ser aproveitados na forma de fertilizantes agrícolas (CARVALHO et al., 2021; THEODORO et al., 2021).

O Brasil tem destaque mundial em produtos voltados para a mineração, mas quando se refere aos fertilizantes agrícolas, o país não consegue suprir a demanda interna, ficando dependentes do mercado internacional da maioria dos fertilizantes agrícolas (IBRAM, 2020). Atualmente há uma escassez de fertilizantes químicos em decorrência principalmente do conflito envolvendo a Rússia e Ucrânia, que são os principais produtores mundiais desses insumos. Com isso, precisa-se urgentemente buscar fontes alternativas, que seja mais acessível e mais barata para substituir os fertilizantes que na sua grande maioria são importados (PINHEIRO; MATOS, 2022; POLIDORO; FARIAS, 2022).

Neste sentido, o uso de fertilizantes alternativos, como o pó de rocha, tem efeito direto na redução de utilização de fertilizantes químicos e conseqüentemente terá um menor custo por importação dos produtos e conseqüentemente podem amenizar a dependência de fertilizantes importados de outros países como a exemplo Rússia. O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da incorporação de substratos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS) no biointemperismo de pó de rocha, além de identificar os resíduos de SMS que estimulam o crescimento vegetativo do sorgo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em abrigo telado sob condições controladas, pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, na cidade de Areia – PB apresentando as seguintes coordenadas ($6^{\circ}57' 49,6''$ Sul, $35^{\circ} 44' 58,0''$ Oeste), altitude de 618 m.

2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO

O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0 a 0, 20 m no Parque Estadual Mata do Pau-Ferro em Areia – PB, com as coordenadas Latitude: $7^{\circ} 23' 27''$ Sul, Longitude: $36^{\circ} 32' 2''$ Oeste, que é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado. Após amostragem, o solo foi processado de acordo à metodologia descrita pela Embrapa (2019) passando por um processo de secagem a temperatura ambiente, destorroamento, peneirado em malha de 2 mm (10 Mesh) para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), armazenadas em ambiente seco e analisado pelos atributos de química e fertilidade estão descritos (Tabela 10).

De um modo geral, o Argissolo Bruno-Acinzentado utilizado no experimento apresentava um valor baixo de saturação por bases (V) de 44,92%, sendo classificado como distrófico, com saturação por alumínio (m) medianamente prejudicial de 4,89% (Tabela 10).

Tabela 9 – Caracterização de química e fertilidade do Argissolo Bruno-Acinzentado.

Parâmetro analisado	¹ valores
pH H ₂ O	3,85 ± 0,02
pH KCl	3,16 ± 0,02
pH CaCl ₂	3,06 ± 0,02
ΔpH	-0,79 ± 0,03
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,35 ± 0,03
Carbono orgânico total (mg g ⁻¹)	27,71 ± 3,19
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	12,06 ± 1,05
Cinzas (dag kg ⁻¹)	87,94 ± 1,05
Fósforo disponível (mg kg ⁻¹)	19,52 ± 2,31
Ca ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,41 ± 0,10
Mg ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	21,93 ± 1,99
K ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,05 ± 0,01
Na ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,07 ± 0,01
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	22,46 ± 1,97
Acidez trocável (Al ⁺³) (cmol _c kg ⁻¹)	1,14 ± 0,10
Acidez potencial (Al + H) (cmol _c kg ⁻¹)	27,49 ± 1,36
CTC efetiva (t) (cmol _c kg ⁻¹)	23,60 ± 1,89
CTC potencial (T) (cmol _c kg ⁻¹)	49,95 ± 3,11
Saturação por Alumínio (m) %	4,89 ± 0,78
Saturação por bases (V) %	44,92 ± 1,47
Porcentagem de sódio trocável %	0,10 ± 0,02
Razão de adsorção de sódio	0,02 ± 0,00

¹Média ± SD, n = 4. pH_{H₂O} = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v; pH_{KCl} = potencial hidrogeniônico em KCl 1M na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; pH_{CaCl₂} = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 10mM na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; CTC potencial = capacidade de troca catiônica potencial em pH 7,0.

2.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE ROCHA

O pó de rocha, foi aplicado a dosagem de 8 Mg ha⁻¹ de rochas provenientes de material de rochas pegmatito (vermiculita). A definição da dosagem de pó de rocha está relacionado a valores realistas e reportados em artigo científicos (valor representativo dos limites máximos reportados na literatura). Na tabela 11, observa-se as características químicas do pó de rocha incorporado no solo.

Tabela 10 – Caracterização química do pó de rocha

Parâmetro analisado	¹ Valores
pH _{H₂O}	7,43 ± 0,26
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,41 ± 0,01
Carbono orgânico total (mg g ⁻¹)	0,99 ± 0,42
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	4,11 ± 1,13
Cinzas (g kg ⁻¹)	1,05 ± 0,10
Fósforo disponível (g kg ⁻¹)	1,34 ± 0,68
Ca ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	1,13 ± 0,25
Mg ⁺² trocável (cmol _c kg ⁻¹)	15,94 ± 0,35
K ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	4,07 ± 0,09
Na ⁺ trocável (cmol _c kg ⁻¹)	3,85 ± 0,00
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	24,98 ± 0,37
Porcentagem de sódio total (%)	15,40 ± 0,19
Razão de adsorção de sódio	1,32 ± 0,01

¹Média ± SD, *n* = 3. pH_{H₂O} = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5; pH_{KCl} = potencial hidrogeniônico em KCl 1M na relação solo: solução de 1:2,5; pH_{CaCl₂} = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 10mM na relação solo: solução de 1:2,5; CTC potencial = capacidade de troca catiônica potencial em pH 7,0.

Os substratos pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram aplicados as doses de 3,5 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico (CO) equivalentes aos teores encontrados em 10 Mg ha⁻¹ de restolho de milho *in natura* (35,36% de CO), por relação de grandezas considerando 1 ha do Argissolo Bruno-Acinzentado, 0,20 m de profundidade e 1,46 Mg m⁻³ de densidade aparente, foram calculadas as biomassas dos SMS incorporados em 1000 kg de TFSA (Tabela 12, Figura 4).

Tabela 11 – Doses de carbono padrão e biomassa dos substratos lignocelulósicos, resíduos agrônômicos (*in natura* e SMS) e pó de rocha incorporados em Argissolo Bruno-Acinzentado.

Substrato lignocelulósico	Condição	¹ Massa (g saco ⁻¹)
Fibra de coco	<i>in natura</i>	4,012
	SMS	4,950
Brotos de abacaxi	<i>in natura</i>	4,186
	SMS	4,399
Casca de arroz	<i>in natura</i>	6,180
	SMS	4,278
Borra de café	<i>in natura</i>	3,373
	SMS	3,589
Pó de Rocha	-	3,515

In natura = resíduo agrônômico *in natura*; SM = substrato pós-cultivo de cogumelos; ¹Dose Substratos lignocelulósicos ao mesmo teor de carbono orgânico em 10 Mg de restolho de milho *in natura* (CO = 35,36%) incorporados em vasos com 1 kg de TFSA de Argissolo Bruno-Acinzentado com fator $f = 1,02$ e densidade aparente (g cm^{-3}) = 1,14 determinado por relação de grandezas para um hectare (10^4 m^2); Pó de rocha referencial (Mg/ ha) = 8,00.

Figura 4: Unidade experimental contendo Argissolo Bruno-Acinzentado após incorporação de substratos lignocelulósicos (*in natura* e SMS) e pó de rocha, durante o período experimental de 270 dias em casa de vegetação.

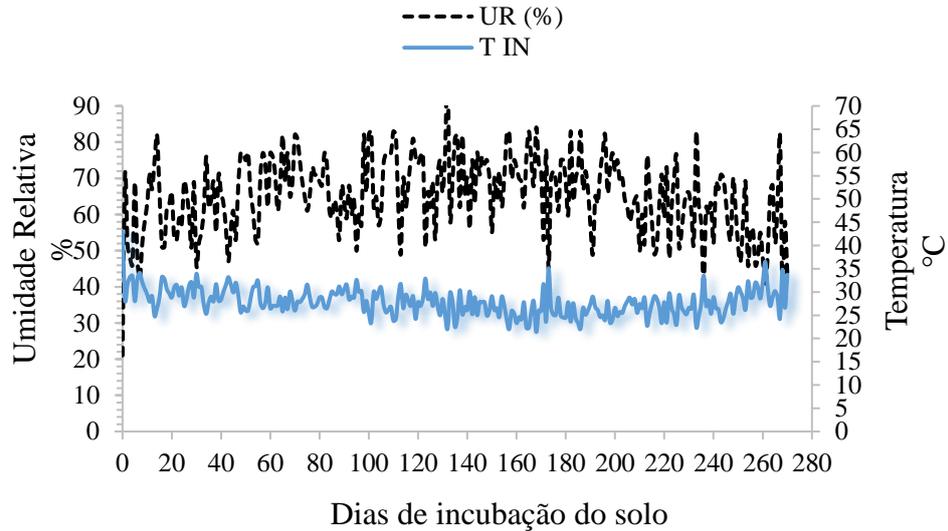


Fonte: Nascimento, J. S (2023).

Após a incorporação dos substratos *in natura* e SMS, a umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de campo com irrigações intercaladas em períodos de 24 horas. Na Figura 5, observa-se a variação de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental. O registro das condições ambientais da casa de vegetação foi realizado

diariamente com auxílio de um termo-higrômetro, registrando-se, 17,10°C de temperatura mínima, 50,2°C de temperatura máxima e 65,40 de umidade relativa durante 270 dias de experimento (Figura 5).

Figura 5: Temperatura e umidade relativa durante os 270 dias de experimento do solo



2.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

A água utilizada para irrigação do experimento foi proveniente de um poço artesiano localizado nas proximidades do CCA-UFPB, cujo as características físico-químicas encontram-se na Tabela 13.

Tabela 12 – Caracterização química da água de irrigação utilizada durante o período de o experimento do Argissolo Bruno-Acinzentado com a incorporação dos substratos lignocelulósicos e pó de rocha durante 270 dias.

Variável	Unidade	Valor
pH em água	-	6,93 ± 0,12
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	0,188 ± 0,01
Fósforo	mg L ⁻¹	0,20 ± 0,19
Cálcio	mg L ⁻¹	0,10 ± 0,01
Magnésio	mg L ⁻¹	0,06 ± 0,01
Sódio	mg L ⁻¹	3,32 ± 0,71
Potássio	mg L ⁻¹	4,97 ± 0,41
PST	%	-
RAS	-	-

PST = Porcentagem de sódio trocável; RAS = Razão de adsorção do sódio; ¹Média ± SD, *n* = 3; média referente aos meses de maio, junho e julho

2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial de $4 \times 2 \times 2 + 1$, sendo (4 = substrato agronômico (casca de arroz, brotos de abacaxi, fibra de coco e borra de café); 2 = condição do substrato (*in natura* e SMS); 2 = cenário agronômico (com pó de rocha e sem pó de rocha); e 1 = tratamento adicional (sem substrato agronômico e sem pó de rocha), perfazendo 18 tratamentos, com 4 repetições, totalizando 68 unidades experimentais, em que cada unidade experimental foi composta por um saco plástico de polietileno com 1 kg de TFSA de solo que foi mantido por 195 dias de incubação e posteriormente 75 dias com uma planta de sorgo (variedade “Ponta Negra”) para avaliar o crescimento vegetativo.

2.6 ANÁLISES DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO

Antes da implantação dos tratamentos e ao término do experimento, foram determinados os atributos de química e fertilidade do solo, com objeto de verificar as alterações ocorridas no solo durante o período de incubação. Os solos de cada saco de polietileno foram retirados e secos em estufa a 65°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 descrita em Embrapa (2019) foram realizadas as análises de fertilidade do solo determinando pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), pH em KCl 1M (pH_{KCl}), pH em CaCl_2 10mM ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), 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, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5,8$), acidez potencial (H^+Al) (se, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 7,0$), 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).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

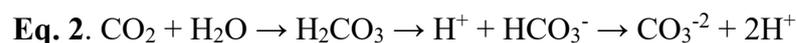
As análises estatísticas foram executadas no ambiente estatístico do software R studio versão. Dos resultados foram verificados os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Bartlett), se não rejeitados ($P \geq 0,05$), realiza-se ANOVA e, se significativa ($P < 0,05$), faz-se o teste de médias de Scott-Knott a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da incorporação dos substratos lignocelulósicos (resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e pó de rocha, sobre o pH, Δ pH e condutividade elétrica (CE) do solo após o período experimental de 270 dias são apresentadas na Tabela 14. Verifica-se que apenas o Δ pH apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) para a interação (substrato \times condição \times cenário).

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para as variáveis (pH_{kcl} e Δ pH), para o contraste do tratamento adicional com o fatorial, em que se observa que o tratamento fatorial apresentou os maiores valores para a variável (Δ pH = -1,17) em relação ao controle (Δ pH = -1,10). Contudo, descritivamente, em média, as variáveis de pHs (H₂O e CaCl₂) não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$). No entanto, para a variável pH_{H₂O} o tratamento fatorial (pH = 4,40) aumentou em 1,6% em relação ao tratamento controle (pH = 4,33) (Tabela 14). Observou-se para todos os pHs do tratamento fatorial (pH_{H₂O} = 4,40; pH_{kcl} = 3,49; pH_{CaCl₂} = 3,23), aumento em 14,3; 10,5 e 5,6 %, respectivamente, em relação ao solo inicial (pH_{H₂O} = 3,85; pH_{kcl} = 3,16; pH_{CaCl₂} = 3,06), isso sugere que houve a liberação de ácidos orgânicos pela decomposição dos substratos lignocelulósicos e conseqüentemente o início da liberação das bases trocáveis (Ca e Mg) principalmente, advindo do pó de rocha, que favoreceram o aumento do pH. Corroborando com os dados de Ribeiro et al. (2010) o uso de pó de rocha no solo proporcionou a elevação do pH do solo, evidenciando o poder corretivo desta rocha.

Os ácidos orgânicos ocorrem naturalmente no solo e são originados da decomposição da matéria orgânica, da exsudação do sistema radicular e do metabolismo microbiano (BASAK, 2019; CORREA et al., 2008) A oxidação biológica de compostos orgânicos produz CO₂, o qual reage com água para formar ácidos orgânicos, que dissocia liberando prótons H⁺, como mostra a equação 1 a seguir:



O tratamento borra de café *in natura* com pó de rocha (Δ pH = -1,29) e fibra de coco SMS sem pó de rocha (Δ pH = -1,28) apresentaram os maiores valores para o delta pH, onde obteve aumento significativo de 17 e 16%, respectivamente em relação ao tratamento controle (Δ pH = -1,10) (Tabela 14) sendo assim, tornando o solo mais eletronegativo.

Tabela 13 – Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica do Argissolo Bruno-Acinzentado incubado com substratos lignocelulósicos, resíduos agronômicos in natura e substratos pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	Cenário agronômico	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	pH _{KCl}	ΔpH	CE (dS m ⁻¹)
BC	INN	Cp	4,52 ± 0,05	3,51 ± 0,02	3,22 ± 0,04	-1,29 ± 0,02bB ²	0,51 ± 0,01
		Sp	4,41 ± 0,08	3,50 ± 0,02	3,24 ± 0,02	-1,17 ± 0,09aA ¹	0,67 ± 0,05
	SMS	Cp	4,41 ± 0,04	3,49 ± 0,02	3,22 ± 0,02	-1,19 ± 0,03aA ¹	0,67 ± 0,06
		Sp	4,46 ± 0,05	3,50 ± 0,02	3,24 ± 0,04	-1,23 ± 0,06bA ¹	0,63 ± 0,02
FC	INN	Cp	4,52 ± 0,05	3,52 ± 0,02	3,26 ± 0,01	-1,26 ± 0,04bB ²	0,58 ± 0,05
		Sp	4,31 ± 0,04	3,46 ± 0,00	3,22 ± 0,02	-1,09 ± 0,05aA ¹	0,76 ± 0,07
	SMS	Cp	4,30 ± 0,03	3,48 ± 0,02	3,19 ± 0,03	-1,11 ± 0,02aA ¹	0,69 ± 0,05
		Sp	4,42 ± 0,04	3,48 ± 0,03	3,15 ± 0,02	-1,28 ± 0,03bB ²	0,59 ± 0,08
BA	INN	Cp	4,45 ± 0,07	3,54 ± 0,02	3,22 ± 0,05	-1,23 ± 0,05bA ¹	0,68 ± 0,05
		Sp	4,53 ± 0,05	3,55 ± 0,02	3,29 ± 0,02	-1,24 ± 0,04aA ¹	0,67 ± 0,05
	SMS	Cp	4,38 ± 0,01	3,53 ± 0,03	3,26 ± 0,03	-1,13 ± 0,03aA ¹	0,81 ± 0,07
		Sp	4,35 ± 0,06	3,52 ± 0,02	3,23 ± 0,03	-1,13 ± 0,06aA ¹	0,71 ± 0,11
CA	INN	Cp	4,32 ± 0,08	3,48 ± 0,03	3,22 ± 0,04	-1,10 ± 0,06aA ¹	0,82 ± 0,16
		Sp	4,37 ± 0,04	3,45 ± 0,04	3,23 ± 0,03	-1,14 ± 0,01aA ¹	0,66 ± 0,05
	SMS	Cp	4,29 ± 0,03	3,47 ± 0,02	3,26 ± 0,02	-1,04 ± 0,03aA ¹	0,78 ± 0,08
		Sp	4,37 ± 0,01	3,43 ± 0,02	3,23 ± 0,02	-1,14 ± 0,03aA ¹	0,63 ± 0,05
Substrato × Condição × Cenário			*	n.s.	n.s.	*	n.s.
Trat. Fatorial			4,40 ± 0,05	3,49 ± 0,02	3,23 ± 0,03	-1,17 ± 0,04	0,68 ± 0,07
Trat. Adicional (controle)			4,33 ± 0,03	3,48 ± 0,02	3,24 ± 0,02	-1,10 ± 0,04	0,76 ± 0,07
Trat. Fatorial vs Trat. adicional			n.s.	n.s.	*	*	n.s.

BC = borra de café; FC = fibra de coco; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico in natura; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Cp = solo com pó de rocha; Sp = solo sem pó de rocha; Trat. Adicional = solo puro; pH_{H2O} = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v; pH_{KCl} = potencial hidrogeniônico em KCl 1M na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; pH_{CaCl2} = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 10mM na relação solo: solução de 1:2,5 m/v; ΔpH = determinada pela diferença de pH_{KCl} - pH_{H2O}; CE = condutividade elétrica em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *condição* e *cenário*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *substrato* e *cenário*; número sobrescrito diferentes para cada *cenário* na interação *substrato* e *condição*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

Esse dado é interessante, pois quanto mais eletronegativo o solo, mais ele consegue reter os cátions trocáveis e disponibiliza-los para a solução do solo, que poderão ser absorvidos pelas culturas. Esses resultados corroboram com os de Toscani e Campos (2017), quando constataram que os valores de ΔpH foram sempre negativos. Esses resultados indicam, que através da rochagem aumentou a carga líquida negativa para todos os tratamentos, o que favoreceu o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC).

Os efeitos da incorporação dos substratos lignocelulósicos (resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e pó de rocha, sobre o carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível, após 270 dias de experimento são apresentadas na Tabela 15. Verifica-se que apenas a matéria orgânica do solo apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) para o contraste do tratamento adicional com o fatorial, onde observa-se que o tratamento fatorial apresentou os maiores valores para a variável (MO = 11,49) um aumento significativo de 5% em relação ao controle (MO = 10,94). Contudo, descritivamente, em média, não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para as variáveis carbono orgânico total do solo, cinzas e fósforo (Tabela 15). No entanto, para o P disponível o tratamento fatorial (P = 15,89) reduziu em 11,6% em relação ao tratamento controle (P = 17,89).

Este fato pode ter ocorrido devido a absorção deste nutriente durante o ciclo da cultura. Esse mesmo comportamento foi verificado por Paredes et al. (2016) e Gamboa et al. (2022), relataram que a concentração de potássio trocável diminuiu durante o crescimento das plantas, isso foi atribuído possivelmente como consequência da absorção pelas plantas.

Os atributos químicos do Argissolo Bruno-Acinzentado incubado com substratos lignocelulósicos (resíduos agronômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e pó de rocha, sobre as bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), acidez trocável e acidez potencial após 270 dias de incubação foram analisadas na Tabela 16.

Verifica-se que as bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+) e acidez potencial apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para o contraste do tratamento adicional com o fatorial, onde observa-se que o tratamento fatorial apresentou-se valores ligeiramente menores para o Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ e acidez potencial (Tabela 16). Neste caso, pode-se inferir que o tempo não foi suficiente para a completa solubilização dos nutrientes contidos nos pós de rocha.

Tabela 14 – Carbono orgânico total do solo, matéria orgânica do solo, cinzas, fósforo disponível de Argissolo Bruno-Acinzentado incorporados com substratos lignocelulósicos, resíduos agrônômicos in natura e substratos pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	Cenário agrônômico	COT	MO	CZ	P
			(mg g ⁻¹)	— dag kg ⁻¹ —		(mg kg ⁻¹)
BC	INN	Cp	28,57 ± 0,35	11,80 ± 0,20	88,20 ± 0,20	18,09 ± 0,51
		Sp	28,21 ± 0,61	12,71 ± 1,35	87,29 ± 1,35	15,92 ± 0,49
	SMS	Cp	29,23 ± 0,75	10,96 ± 0,27	89,04 ± 0,27	17,60 ± 1,44
		Sp	27,63 ± 0,27	9,97 ± 0,25	90,03 ± 0,25	15,20 ± 1,35
FC	INN	Cp	31,82 ± 0,52	11,69 ± 0,35	88,31 ± 0,35	20,09 ± 3,84
		Sp	29,72 ± 0,89	12,32 ± 0,39	87,68 ± 0,39	10,63 ± 1,42
	SMS	Cp	29,38 ± 0,17	11,31 ± 0,27	88,69 ± 0,27	13,72 ± 1,47
		Sp	28,62 ± 0,55	11,25 ± 0,37	88,75 ± 0,37	12,34 ± 1,59
BA	INN	Cp	28,97 ± 0,64	11,60 ± 0,55	88,40 ± 0,55	17,28 ± 1,96
		Sp	27,65 ± 0,36	10,96 ± 0,51	89,04 ± 0,51	14,65 ± 1,69
	SMS	Cp	28,97 ± 0,52	11,74 ± 0,56	88,26 ± 0,56	18,59 ± 5,86
		Sp	28,68 ± 0,18	10,7 ± 0,27	89,30 ± 0,27	13,02 ± 0,48
CA	INN	Cp	28,97 ± 0,64	11,60 ± 0,55	88,40 ± 0,55	17,28 ± 1,96
		Sp	29,12 ± 0,86	11,62 ± 0,71	88,38 ± 0,71	18,37 ± 3,16
	SMS	Cp	27,94 ± 0,66	11,57 ± 0,78	88,43 ± 0,78	18,65 ± 2,48
		Sp	29,23 ± 0,70	11,55 ± 0,49	88,45 ± 0,49	14,51 ± 2,40
Substrato × Condição × Cenário			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial			28,91 ± 0,54	11,49 ± 0,49	88,51 ± 0,49	15,89 ± 2,01
Trat. Adicional (controle)			28,06 ± 0,41	10,94 ± 0,36	89,07 ± 0,36	17,89 ± 2,90
Trat. fatorial vs Trat. adicional			n.s.	*	n.s.	n.s.

BC = borra de café; FC = fibra de coco; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agrônômico in natura; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Cp = solo com pó de rocha; Sp = solo sem pó de rocha; Trat. Adicional = solo incorporado com pó de rocha e solo puro; COT = carbono orgânico total; MO = matéria orgânica do solo; CZ = cinzas; P = fósforo disponível. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *condição* e *cenário*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *substrato* e *cenário*; número sobrescrito diferentes para cada *cenário* na interação *substrato* e *condição*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

Segundo Da Silva et al. (2017), devido a liberação gradativa e lenta de nutrientes fornecidos pelo pó de rocha, são promovidas alterações nas propriedades químicas do solo. Em estudo também com pó de rocha foram observadas alterações nas propriedades químicas do solo no segundo ano experimental (WRITZ et al., 2019).

Contudo, para o sódio o tratamento fatorial ($\text{Na}^+ = 0,42$) reduziu em 4,5% em relação ao tratamento controle ($\text{Na}^+ = 0,44$). Esta redução nos teores de sódio é considerada benéfica, pois o sódio quando em excesso provoca efeitos adversos para o solo e planta (Tabela 16), tais como: na estabilidade estrutural do solo, tornando o solo menos friável (duro) e levando a compactação, provocando efeitos diretos nas plantas com impedimento de desenvolvimento do sistema radicular, influenciando assim o crescimento e desenvolvimento das plantas (DIAS e BLANCO, 2016; JESUS e BORGES, 2020). Os resíduos orgânicos podem contribuir com a redução da percentagem de sódio trocável (PST) devido, possivelmente à liberação de CO_2 e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, além de atuarem como fontes de cálcio e magnésio, em relação aos teores de sódio (MIRANDA et al., 2011).

Os atributos químicos do Argissolo Bruno-Acinzentado incorporados com substratos lignocelulósicos (resíduos agrônômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e pó de rocha, sobre os índices de fertilidade (SB, t, T, m, V, PST e RAS), após 270 dias de experimento foram analisadas na (Tabela 17). Verifica-se que apenas a saturação por bases (V) apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) para a interação (substrato \times condição \times cenário).

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para as variáveis (SB, t, T, m, V), para o contraste do tratamento fatorial com o adicional. Verifica-se que tratamento adicional apresentou os maiores valores em relação ao tratamento fatorial. Entretanto, o tratamento brotos de abacaxi *in natura* com pó de rocha ($V = 40,63$) e casca de arroz SMS sem pó de rocha ($V = 40,35$) apresentaram os maiores valores para a saturação por bases (V), onde obteve aumento significativo de 9,5 e 8,8%, respectivamente, em relação ao tratamento controle ($V = 37,10$) (Tabela 17). Em experimento de longa duração o uso de insumos oriundos da rochagem, de maneira geral, aumentam os valores de saturação por bases, pH, e o fósforo (P) disponível e ainda diminuem expressivamente a saturação por alumínio (TOSCANI; CAMPOS, 2017). Da Silva et al. (2017), destacam que a associação dos pós de rocha com materiais orgânicos favoreçam a atividade biológica, que pode influenciar no processo de alteração dos minerais.

Tabela 15 – Bases trocáveis, acidez trocável e acidez potencial de Argissolo Bruno-Acinzentado incorporado com substratos lignocelulósicos, resíduos agronômicos in natura e substratos pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	Cenário agronômico	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	Al+H
			cmol _c kg ⁻¹					
BC	INN	Cp	1,03 ± 0,14	13,81 ± 1,21	0,34 ± 0,02	0,12 ± 0,01	1,13 ± 0,06	26,76 ± 1,27
		Sp	1,00 ± 0,15	11,96 ± 1,54	0,40 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,98 ± 0,07	25,99 ± 0,87
	SMS	Cp	0,95 ± 0,24	12,19 ± 1,89	0,46 ± 0,01	0,15 ± 0,00	1,15 ± 0,08	27,25 ± 0,60
		Sp	1,03 ± 0,07	11,26 ± 1,50	0,46 ± 0,01	0,13 ± 0,00	1,13 ± 0,15	27,25 ± 0,60
FC	INN	Cp	1,09 ± 0,16	14,36 ± 2,4	0,38 ± 0,05	0,15 ± 0,01	1,08 ± 0,08	27,25 ± 0,38
		Sp	0,76 ± 0,10	15,41 ± 0,63	0,40 ± 0,04	0,16 ± 0,01	1,03 ± 0,05	27,25 ± 0,38
	SMS	Cp	0,92 ± 0,13	14,44 ± 1,16	0,47 ± 0,04	0,14 ± 0,01	1,03 ± 0,06	26,48 ± 0,55
		Sp	0,79 ± 0,09	13,75 ± 2,37	0,39 ± 0,06	0,13 ± 0,02	1,05 ± 0,07	25,10 ± 1,06
BA	INN	Cp	0,60 ± 0,07	15,52 ± 0,86	0,40 ± 0,03	0,28 ± 0,03	1,13 ± 0,19	24,46 ± 0,42
		Sp	0,98 ± 0,06	11,01 ± 1,45	0,44 ± 0,04	0,28 ± 0,02	0,88 ± 0,04	24,46 ± 0,42
	SMS	Cp	0,81 ± 0,20	13,03 ± 1,11	0,52 ± 0,06	0,24 ± 0,02	1,05 ± 0,05	25,14 ± 0,63
		Sp	0,95 ± 0,18	12,51 ± 0,91	0,42 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,98 ± 0,07	25,14 ± 0,63
CA	INN	Cp	0,60 ± 0,07	15,52 ± 0,86	0,40 ± 0,03	0,28 ± 0,03	1,13 ± 0,19	24,78 ± 0,49
		Sp	0,87 ± 0,18	12,00 ± 1,73	0,39 ± 0,05	0,12 ± 0,01	1,05 ± 0,08	24,78 ± 0,49
	SMS	Cp	0,79 ± 0,14	10,30 ± 0,63	0,44 ± 0,04	0,13 ± 0,00	1,00 ± 0,07	26,52 ± 1,37
		Sp	0,79 ± 0,01	17,00 ± 2,44	0,39 ± 0,03	0,12 ± 0,01	1,03 ± 0,09	26,44 ± 1,04
Substrato × Condição × Cenário			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial			0,89 ± 0,13	13,26 ± 1,42	0,42 ± 0,03	0,16 ± 0,01	1,06 ± 0,09	25,96 ± 0,81
Trat. Adicional (controle)			0,90 ± 0,14	13,71 ± 0,93	0,44 ± 0,03	0,11 ± 0,01	1,07 ± 0,11	25,67 ± 0,92
Trat. fatorial vs Trt. adicional			*	*	*	n.s.	n.s.	*

BC = borra de café; FC = fibra de coco; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico in natura; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Cp = solo com pó de rocha; Sp = solo sem pó de rocha; Trat. Adicional = solo incorporado com pó de rocha e solo puro; Ca²⁺ = cálcio trocável; Mg²⁺ = magnésio trocável; K⁺ = potássio trocável; Na⁺ = sódio trocável; Al³⁺ = acidez trocável; Al+H = acidez potencial. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *condição* e *cenário*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *substrato* e *cenário*; número sobrescrito diferentes para cada *cenário* na interação *substrato* e *condição*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). Média ± SE, $n = 4$.

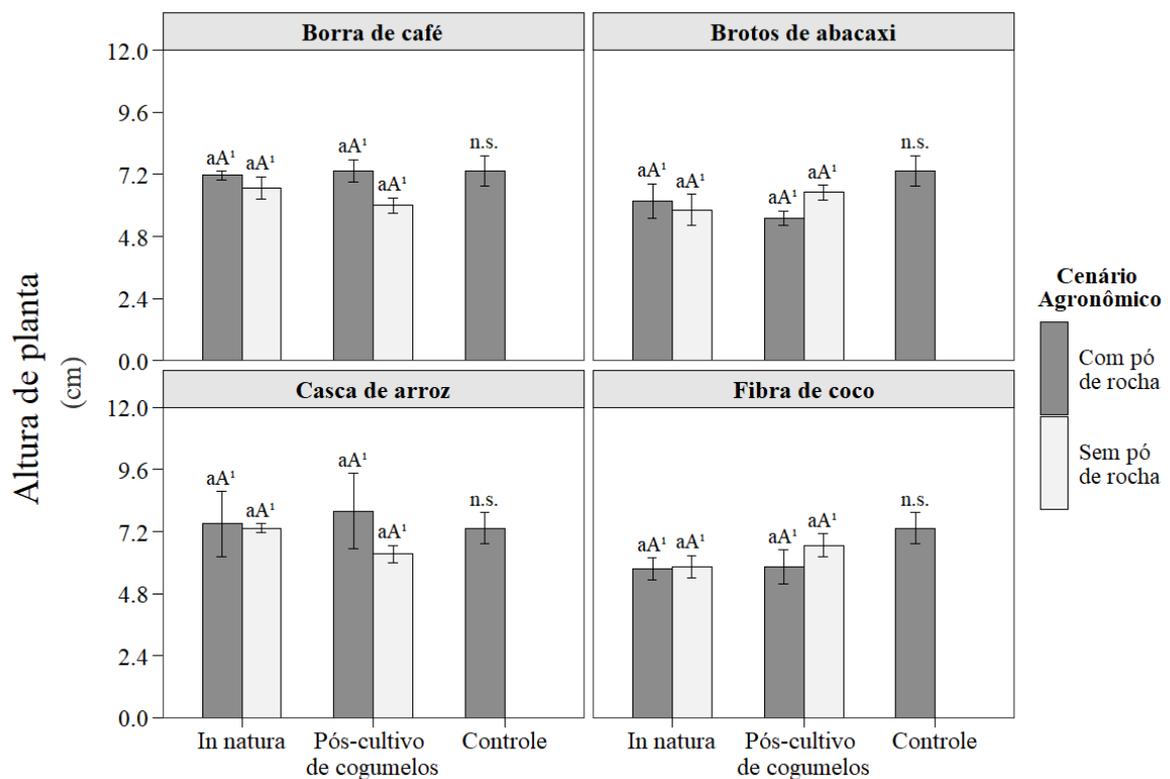
Tabela 16 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, saturação por alumínio, razão de adsorção do sódio, porcentagem de sódio trocável do Argissolo Bruno-Acinzentado incubado com substratos lignocelulósicos, resíduos agronômicos *in natura* com e sem incorporação de pó de rocha durante 270 dias.

Substrato lignocelulósico	Condição do substrato	Cenário agronômico	SB	t	T	m	V	PST	RAS
			cmol _c kg ⁻¹			%			
BC	INN	Cp	15,31 ± 1,34	16,43 ± 1,38	42,07 ± 2,12	6,95 ± 0,44	36,17 ± 1,56aA ¹	0,81 ± 0,03	0,13 ± 0,01
		Sp	13,50 ± 1,52	14,48 ± 1,46	39,49 ± 1,64	7,10 ± 1,20	34,06 ± 2,98aA ¹	1,01 ± 0,05	0,16 ± 0,01
	SMS	Cp	13,75 ± 1,73	14,90 ± 1,79	40,99 ± 2,16	7,92 ± 0,75	33,18 ± 2,43aA ¹	1,12 ± 0,06	0,18 ± 0,01
		Sp	12,82 ± 1,55	13,95 ± 1,67	40,07 ± 1,28	8,15 ± 0,74	31,72 ± 2,95aA ¹	1,00 ± 0,03	0,16 ± 0,01
FC	INN	Cp	15,97 ± 2,54	17,05 ± 2,57	42,45 ± 3,36	6,62 ± 0,76	37,00 ± 2,82aA ¹	0,90 ± 0,12	0,14 ± 0,02
		Sp	16,73 ± 0,64	17,76 ± 0,64	43,21 ± 1,06	5,82 ± 0,36	38,69 ± 0,75aA ¹	0,92 ± 0,07	0,14 ± 0,01
	SMS	Cp	15,97 ± 1,27	17,00 ± 1,32	42,05 ± 1,85	6,09 ± 0,33	37,89 ± 1,82aA ¹	1,11 ± 0,05	0,17 ± 0,01
		Sp	15,05 ± 2,38	16,11 ± 2,42	40,16 ± 3,44	6,83 ± 0,79	36,85 ± 2,52aA ¹	0,95 ± 0,09	0,14 ± 0,02
BA	INN	Cp	16,80 ± 0,94	17,92 ± 0,94	41,25 ± 1,28	6,31 ± 1,00	40,63 ± 1,05aA ¹	0,98 ± 0,05	0,14 ± 0,01
		Sp	12,70 ± 1,46	13,59 ± 1,42	37,85 ± 1,22	6,85 ± 1,14	33,33 ± 3,01aA ²	1,15 ± 0,09	0,18 ± 0,02
	SMS	Cp	14,60 ± 1,21	15,65 ± 1,23	40,63 ± 1,57	6,83 ± 0,50	35,83 ± 2,09aA ¹	1,29 ± 0,19	0,20 ± 0,03
		Sp	14,10 ± 0,99	15,08 ± 1,06	38,88 ± 1,28	6,50 ± 0,01	36,14 ± 1,57aA ¹	1,09 ± 0,12	0,16 ± 0,02
CA	INN	Cp	15,10 ± 1,18	16,13 ± 1,13	40,41 ± 1,13	6,54 ± 0,80	37,26 ± 2,12aA ¹	1,21 ± 0,24	0,19 ± 0,04
		Sp	13,38 ± 1,64	14,43 ± 1,62	39,90 ± 2,20	7,61 ± 1,21	33,34 ± 2,78aB ¹	0,98 ± 0,08	0,16 ± 0,02
	SMS	Cp	11,66 ± 0,59	12,67 ± 0,56	37,01 ± 1,12	8,00 ± 0,75	31,49 ± 1,00aA ²	1,21 ± 0,14	0,19 ± 0,02
		Sp	18,31 ± 2,51	19,61 ± 2,47	44,74 ± 3,48	7,03 ± 1,19	40,35 ± 2,53aA ¹	0,88 ± 0,05	0,13 ± 0,01
Substrato × Condição			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
Trat. Fatorial			14,74 ± 1,47	15,80 ± 1,48	40,50 ± 1,89	6,95 ± 0,75	35,87 ± 2,13	1,04 ± 0,09	0,17 ± 0,02
Trat. Adicional (controle)			15,15 ± 0,98	16,22 ± 0,86	40,82 ± 0,92	6,68 ± 0,86	37,10 ± 2,04	1,07 ± 0,07	0,16 ± 0,01
Trat. fatorial vs Trat. adicional			*	*	*	*	*	n.s.	n.s.

BC = borra de café; FC = fibra de coco; BA = brotos de abacaxi; CA = casca de arroz; INN = resíduo agronômico *in natura*; SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos comestíveis; Cp = solo com pó de rocha; Sp = solo sem pó de rocha; Trat. Adicional 1 = solo incorporado com pó de rocha e solo puro; SB = soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺); t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica potencial (CTC pH 7,0); m = saturação por alumínio; V = saturação por bases; RAS = razão de adsorção do sódio; PST = porcentagem de sódio trocável. Letra minúsculas diferentes para cada *substrato* na interação *condição* e *cenário*; letras maiúsculas diferentes para cada *condição* na interação *substrato* e *cenário*; número sobrescrito diferentes para cada *cenário* na interação *substrato* e *condição*, indicam diferenças significativas de acordo ao teste Scott-Knott a 5% de significância ($P < 0,05$). ¹Média ± SE, $n = 4$.

O pó de rocha ao sofrerem um intemperismo químico, liberam de forma gradual os nutrientes e geram argilas capazes de elevar a CTC, agindo no enriquecimento do solo, principalmente em solos tropicais úmidos, que são solos ácidos e pobre em nutrientes. Além disso, a rochagem possui um maior efeito residual no solo (MACHADO et al., 2020; RAMOS et al., 2015).

Figura 6: Altura de plantas do sorgo cultivadas em solo, incorporado com substratos lignocelulósicos (in natura e SMS) e pó de rocha, durante o período vegetativo.

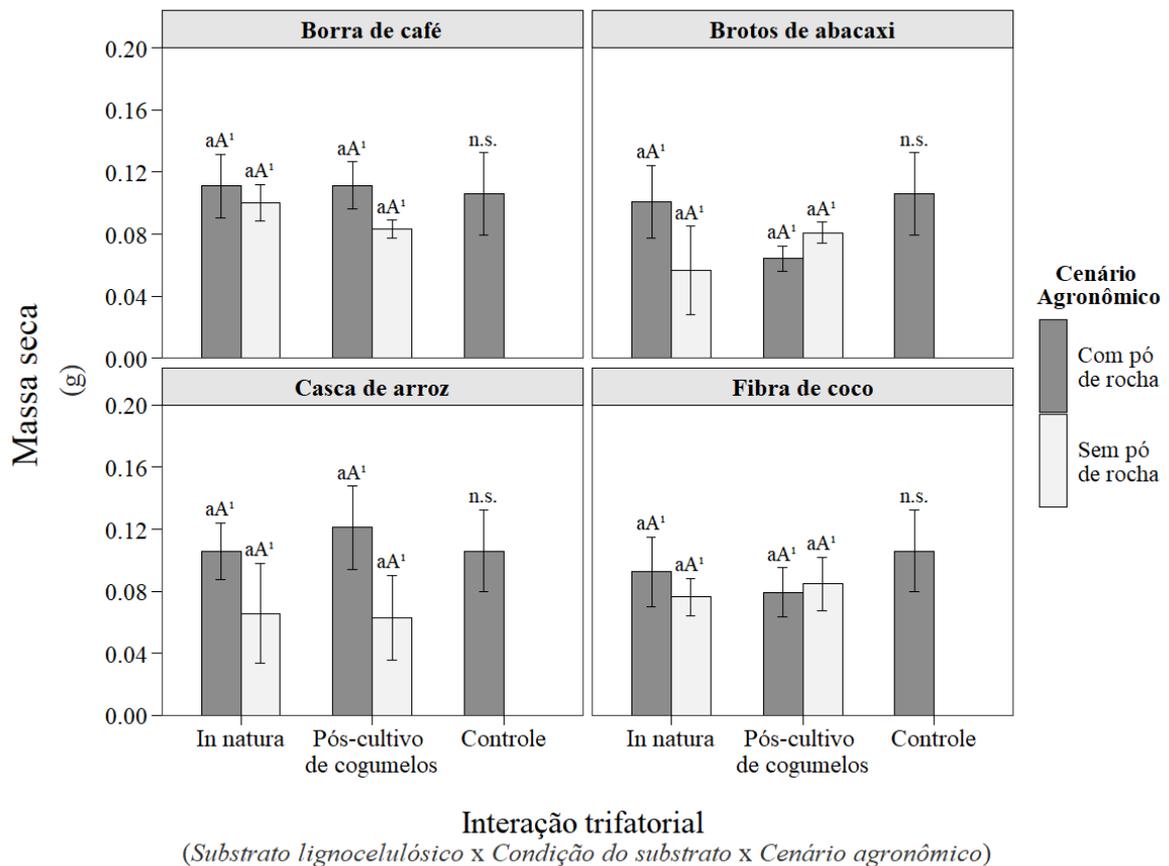


Interação trifatorial
(Substrato lignocelulósico x Condição do substrato x Cenário agrônomico)

Os efeitos da incorporação dos substratos lignocelulósicos (resíduos agrônomicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e pó de rocha, sobre a variável de crescimento da altura de plantas do sorgo, após 270 dias de experimento são apresentadas na Figura 6. Não houve diferença significativa ($P < 0,05$) para a altura de plantas. Contudo, descritivamente, em geral a incorporação de pó de rocha no solo resultou em maiores valores em comparação quando não houve a incorporação de pó de rocha, onde verifica-se quando houve a incorporação de pó de rocha no substrato casca de arroz com SMS, alcançou a maior altura de plantas em relação aos demais tratamentos.

Os efeitos da incorporação dos substratos lignocelulósicos (resíduos agrônômicos *in natura* e substratos pós-cultivo de cogumelos) e com pó de rocha, sobre a matéria seca de plantas do sorgo, após 270 dias de experimento são apresentadas na Figura 7. Não houve diferença significativa ($P < 0,05$) para a matéria seca de plantas. Sendo assim, descritivamente, a incorporação de pó de rocha no solo resultou em maiores valores em comparação quando não houve a incorporação de pó de rocha, onde verifica-se que a incorporação de pó de rocha no SMS de substrato casca de arroz promoveu a maior matéria seca em relação ao controle e aos demais tratamentos, esse mesmo comportamento foi observado na altura de plantas (Figura 6).

Figura 7: Massa seca do sorgo cultivadas em solo, incorporado com substratos lignocelulósicos (*in natura* e SMS) e pó de rocha, durante o período vegetativo.



Os resultados indicam que o uso simultâneo desses subprodutos podem contribuir para a potencialização dos seus efeitos benéficos nas propriedades químicas do solo, aumentando consequentemente a produtividade das culturas agrícolas. Outro resultado importante, refere-se as mudanças nos níveis de fertilidade do solo, após 270 dias de experimento em que pese o fato de que os resultados obtidos, na grande maioria das análises estatísticas, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade, não tenham mostrado evidências de diferenças significativas entre os

tratamentos. Neste caso, é provável que o tempo não tenha sido suficiente para solubilizar os minerais contidos nos pós de rocha (Figura 6 e 7). Corroborando com Theodoro et al. (2021), o estudo mostrou que os pós de rocha possuem um efeito residual de longo prazo, quando comparados aos fertilizantes solúveis. Ao utilizar um tratamento com pó de rocha no solo, obteve-se resultados superiores aos demais tratamentos, com um incremento de 65 %, em relação ao tratamento Controle. Isso indica que, provavelmente, esse pó de rocha influenciou positivamente na produtividade da quinoa (BURBANO, 2020).

4. CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos agronômicos juntamente com pó de rocha promoveu aumento do carbono orgânico total, matéria orgânica, potássio, e pH próximo da faixa de maior disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas. O aumento do pH pode ser atribuído a liberação de ácidos orgânicos pela decomposição dos substratos lignocelulósicos e conseqüentemente o início da liberação das bases trocáveis (Ca e Mg) principalmente, advindo do pó de rocha, que favoreceram o aumento do pH.

O tratamento brotos de abacaxi *in natura* com pó de rocha e casca de arroz SMS sem pó de rocha apresentaram os maiores valores para a saturação por bases (V), onde obteve aumento significativo de 9,5 e 8,8%, respectivamente, em relação ao tratamento controle. No entanto, pode-se inferir que o tempo não foi suficiente para a completa solubilização dos nutrientes contidos no pó de rocha.

REFERÊNCIAS

- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, n. 1. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>, 2017.
- BASAK, B. B. Phosphorus Release by Low Molecular Weight Organic Acids from Low-Grade Indian Rock Phosphate. *Waste Biomass Valor*, v. 10, p. 3225–3233, 2019.
- BALOCH, P. A.; RAJPAR, I.; TALPUR, U. A. Effect of integrated nutrient management on nut production of coconut (*Cocos nucifera* L.) and soil environment-a review. *Science Technology and Development*, v. 33, n. 1, p. 14-21, 2014.
- BURBANO, D. F. M. Uso de rocha basáltica como remineralizador de solo em sistema de rotação de cultivos com quinoa. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2020.
- CARVALHO, P. I. A.; SALES, M. R. B.; ARAGÃO NETO, J. C.; FERREIRA, F. V. Resíduos agroindustriais como substrato para cultivo indoor de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.9, n.4, 2021.
- CORRÊA, M. M.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. ERNESTO G. R.; PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, C. C. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular e ácidos húmicos e alterações em algumas propriedades físicas e químicas de Latossolos, Plintossolo e Neossolo Quartzarênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 121-131, 2008.
- DA SILVA, V. A.; DA SILVA, L. E. S. F.; DA SILVA, A. J. N. et al. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, v.51, p.142-147, 2017.
- DIAS, N. S. et al. Tolerância das plantas à salinidade: efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R. et al. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2. ed. Fortaleza, CE: INCTSal, 2016. p. 151-162.
- DUARTE, L. M. et al. Potassium extraction from the silicate rock verdete using organic acids. *Scientia Agricola*, v. 79, n. 2, 2022.
- 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.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R. Uses of spent mushroom substrate of *Pleurotus* spp. In: ROYSE, D. J.; SÁNCHEZ, J. E (eds) *La Biol. o Cultiv. y las propiedades Nutr. e Med. las setas Pleurotus spp.* ECOSUR, Chiapas, México DF, p. 17-24, 2017.
- GAMBOA et al. Fertilización sobre las propiedades del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum*). *Interciencia*. v. 47, n.9 2022.
- GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018.
- IBRAN - Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019. 1. ed. - Brasília: IBRAM, 2020. 80p. ISBN: 978-65-990386-3-1.

Disponível em <https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>.

JESUS, J.; BORGES, M. T. Salinização de solos em Portugal, *Rev. Ciência Elem*, v. 8, n. 3, 2020.

JORDAN, S. N.; MULLEN, G. J.; MURPHY, M. C. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology*, 411- 418, 2018b.

MACHADO, C. C. C.; FRAGA, V. S.; ALBUQUERQUE, M. B; BEIRIGO, R. M.; SILVA, F. E.; MARTINS, E. S. Zoneamento Agrogeológico como Ferramenta para o Manejo Regional da Fertilidade de Solos Agrícolas Tropicais: Potencial das Rochas Ricas em Biotita na Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.6, p. 3105-3118, 2020.

MACHUCA A.; FERRAZ A. Hydrolytic and oxidative enzymes produced by white- and brown-rot fungi during *Eucalyptus grandis* decay in solid medium. *Enzyme Microbial Technology*, v. 29, n. 6, p. 386-391. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00417-3](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00417-3), 2001.

MENEZES, C. R.; BARRETO, A. R. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos por fungos basidiomicetos: Caracterização dos resíduos e estudo do complexo enzimático fúngico. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p.1 365-1391, 2015.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 484-490, 2011.

NUNES, S. P. O desenvolvimento da agricultura brasileira e mundial e a ideia de Desenvolvimento Rural. *DESER*, nº157, 2007.

PAREDES, C.; MEDINA, E.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R. Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayey-loam soil and lettuce production. *Soil use and management*, v. 32, p. 487-494. doi: 10.1111/sum.12304, 2016.

PINHEIRO, A. C.; MATOS, S. A guerra intensifica o choque inflacionário. *Macro, Boletim*, n. 129, p. 1–30, 2022.

POLIDORO, B. S. A. C. L. E. P. R. J. C.; FARIAS, P. I. V. A importância do Plano Nacional de fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil. *Agendas Temáticas de Investigação e Inovação*, n. 1, p. 1–6, 2022.

RAMOS, G. C; QUEROL, X; OLIVEIRA, M. L. S; PIRES, K; KAUTZMANN, R. M; OLIVEIRA, L. F. S. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, p. 371-380, 2015.

RIBEIRO, L. S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 3, p. 891-897. 2010

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

THEODORO, S. H.; SANDER, A.; BURBANO, D. F. M.; ALMEIDA, G. R. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. *Revista Liberato*, v. 22, n. 37, p. 01-120, 2021.

TOSCANI, F. G. S.; CAMPOS, J. E. G. uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizados em solos intensamente intemperizados. *Geociências*, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

WRITZ, T. C. et al. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v. 9, n. 2, p.101-109, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O substrato borra de café, brotos de abacaxi, casca de arroz e fibra de coco, em geral, apresentam características que melhoram o condicionamento químico do solo. No entanto, estudos complementares de longa duração devem ser realizados para melhor compreensão dos efeitos da interação com pó de rocha (para uma completa liberação dos nutrientes contidos no pó de rocha).

Desta forma, a utilização desses resíduos agronômicos como substratos para o cultivo de cogumelos pode trazer benefícios ambientais e econômicos, o qual permitiria restaurar a qualidade química dos solos mais intemperizados, neste sentido o substrato pós-cultivo de cogumelos pode ser utilizado como corretivo da acidez do solo.

Recomenda-se utilizar este estudo em outras classes de solos, principalmente solos menos intemperizados, eutróficos e que tenham baixos teores de acidez (ausência de alumínio trocável).