



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

JOSEFA VANESSA DOS SANTOS ARAÚJO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO
(SMS) E REMINERALIZADOR EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

AREIA

2024

JOSEFA VANESSA DOS SANTOS ARAÚJO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO
(SMS) E REMINERALIZADOR EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciência do Solo/
Área de concentração: Solos em agroecossistemas familiares e naturais. Linha de pesquisa: Ciclos Biogeoquímicos.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

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

**AREIA
2024**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663i Araújo, Josefa Vanessa dos Santos.

Incorporação de resíduos agrícolas pós-cultivo de cogumelo (SMS) e remineralizador em um argissolo vermelho-amarelo / Josefa Vanessa dos Santos Araújo. - Areia:UFPB/CCA, 2024.

61 f. : il.

Orientação: Milton César Costa Campos.

Coorientação: Vânia da Silva Fraga.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. Resíduos orgânicos. 3. Ciclagem de nutrientes. 4. Fertilidade do solo. 5. Economia circular. I. Campos, Milton César Costa. II. Fraga, Vânia da Silva. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

JOSEFA VANESSA DOS SANTOS ARAÚJO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO
(SMS) E REMINERALIZADOR EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciência do Solo/Área de concentração: Solos em agroecossistemas familiares e naturais. Linha de pesquisa: Ciclos Biogeoquímicos.

Aprovada em: 24/07/2023

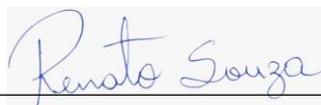
BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



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

Ao meu Deus por toda a proteção.
Aos meus pais, por serem minha base de amor.
À minha irmã, pelo fiel companheirismo.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o fiel guia de minha vida, meu refúgio e fortaleza nos bons e maus momentos, por ser minha maior fonte de fé e, principalmente, por não ter desistido de mim.

Aos meus pais, Wanderley Fernandes de Araújo e Marinalva Alice dos Santos Araújo, por acreditarem no meu potencial, por todo o apoio, amor e proteção dedicados a mim, ao longo de toda a minha vida.

A minha irmã, Vanderléia Fernanda dos Santos Araújo, por nunca medir esforços para me ajudar, aconselhar e incentivar, e por ser a melhor pessoa que eu conheço.

Ao meu companheiro, Randson Santos Henrique, por todo companheirismo, apreço e amor.

Ao meu cunhado, Victor Junior Lima Felix, por toda a paciência, incentivo e contribuição nessa pesquisa.

Aos meus familiares, por todo carinho, apreço e orações dedicadas a mim e, em especial, à minha avó Josefa Alice de Araújo, meu irmão Jeferson Alambert, meu sobrinho Gustavo.

Aos meus orientadores, Dr^a. Vânia da Silva Fraga e Dr. Milton César Costa Campos, por todo apoio, paciência, orientação e confiança durante as etapas dessa pesquisa.

Ao Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) da UFPB, em nome de Rafael Zárate, pela contribuição e mentoria ao longo do experimento.

A Joseilton Nascimento, pelo companheirismo em toda execução do experimento, desde a coleta de solo até as análises de fertilidade. Nossa parceria foi o equilíbrio fundamental para a realização dessa pesquisa.

À equipe de trabalho do GPEC (Háimyk, Sabrina, Ítalo, Robson, Nayara, Matheus e Franciane) pelo apoio nas atividades dessa pesquisa.

Aos grandes amigos da turma de mestrado, Abraão, Amon, Éricka e Emanuel, que fizeram essa fase de minha vida se tornar inesquecível.

Aos meus amigos, Bia, Djalisson, Fernanda, Giseli, Karol, Kiola e Magnólia, pelo incentivo na concretização desse sonho.

A todos os professores que passaram em minha vida, pois foram fundamentais na minha trajetória acadêmica.

Aos membros da banca examinadora formada por Dr. Walter Esfrain Pereira e Dr. Renato Francisco da Silva Souza pelas valorosas contribuições.

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

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS).

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO (SMS) E REMINERALIZADOR EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO

RESUMO GERAL

O aumento populacional e a demanda por alimentos têm crescido de maneira exponencial e, conseqüentemente, os solos são cada vez mais explorados, necessitando do uso de fertilizantes químicos para suprir a deficiência de nutrientes. Resíduos agrônômicos, tanto na forma *in natura* como pós-cultivo de cogumelos (SMS), e de mineração são outros problemas ambientais quando acumulados em grandes proporções e descartados de maneira inapropriada. No entanto, a aplicação desses resíduos apresenta potencial quando inserido no solo, possibilitando, além de um destino adequado, a recuperação de solos em processo de degradação e o uso como fertilizantes naturais. Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar se os resíduos, tanto em *in natura* como em SMS, associado ao subproduto da extração de bentonita, melhoram as propriedades químicas do Argissolo Vermelho-Amarelo. Foi observado melhoria na fertilidade do solo estudado após a incorporação dos resíduos agrônômicos, em ambas as condições, *in natura* e SMS, com o remineralizador. Portanto, além de permitir um destino ambientalmente adequado para esses resíduos, sua incorporação em um Argissolo Vermelho-Amarelo contribui com a economia circular e origina fontes mais acessíveis de fertilizantes.

Palavras-chave: resíduos orgânicos; ciclagem de nutrientes; fertilidade do solo; economia circular.

INCORPORATION OF MUSHROOM POST-CULTIVATION AGRICULTURAL WASTE (SMS) AND REMINERALIZER IN A RED-YELLOW ARGISSOL

GENERAL ABSTRACT

The population increase and the demand for food has grown exponentially and, consequently, the soils are increasingly exploited, requiring the use of chemical fertilizers to supply the nutrient deficiency. Agronomic residues, both *in natura* and post-cultivation of mushrooms (SMS), and mining are other environmental problems when accumulated in large proportions and discarded inappropriately. However, the application of these residues has potential when inserted into the soil, allowing, in addition to an adequate destination, the recovery of soils in the process of degradation and the use as natural fertilizers. Thus, the objective of this research was to evaluate whether the residues, both *in natura* and in SMS, associated with the by-product of the bentonite extraction, improve the chemical properties of the Red-Yellow Argisol. An improvement in the fertility of the studied soil was observed after the incorporation of agronomic residues, in both conditions, *in natura* and SMS, with the remineralizer. Therefore, in addition to allowing an environmentally appropriate destination for these wastes, their incorporation into a Red-Yellow Argisol contributes to the circular economy and creates more accessible sources of fertilizers.

Keywords: organic waste; nutrient cycling; soil fertility; circular economy.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do município de Areia, no Estado da Paraíba..... 35
- Figura 2 -** Umidade relativa e temperatura durante o período experimental de 270 dias. 39
- Figura 3.** pH em H₂O (A) e CE (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos (folha de bananeira – FB; bagaço de cana - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (*In natura* - IN e Pós-cultivo – SMS). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre resíduos na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo resíduo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A). Média seguida da mesma letra minúscula não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B). 42
- Figura 4.** Magnésio (A) e sódio (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos em duas condições (in natura - IN e pós-cultivo de cogumelo - SMS) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR – sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas da mesma letra minúscula não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B)..... 44
- Figura 5.** Potássio trocável (A) e acidez potencial (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos (Folha de bananeira – FB; cana de açúcar - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (In natura - IN e Pós-cultivo de cogumelo – SMS). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre substratos na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo substrato, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas das mesmas letras minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B). 45
- Figura 6.** COT (A) e MOS (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos (Folha de bananeira – FB; cana de açúcar - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (In natura - IN e Pós-cultivo de cogumelo – SMS) e dois cenários (Com remineralizador - CR e Sem remineralizador - SR). Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre substratos no mesmo cenário, maiúscula entre cenários no mesmo substrato, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B). 47
- Figura 7.** Fósforo disponível de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos (folha de bananeira – FB; bagaço de cana-de-açúcar – BC; restolho de milho – RM) (A) em dois cenários (Com Remineralizador - CR e Sem Remineralizador - SR) (B). Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$). 47

Figura 8. CTC potencial (T) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos em duas condições (in natura - IN e pós-cultivo de cogumelo - SMS) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR – sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).....48

Figura 9. Saturação por base (V) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos em duas condições (in natura e pós-cultivo de cogumelo) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR – sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).....49

Figura 10. Porcentagem de sódio trocável – PST (A) e Razão de Adsorção de Sódio – RAS (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos em duas condições (in natura e pós-cultivo de cogumelo). Média seguida da mesma letra não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).....51

Figura 11 – Análise de componentes principais das variáveis químicas e de fertilidade em Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.....53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do Argissolo Vermelho-Amarelo em Areia, PB.....	36
Tabela 2 - Caracterização química dos resíduos orgânicos in natura e pós-cultivo de cogumelos.	36
Tabela 3 - Caracterização química do remineralizador.	36
Tabela 4 - Composição dos tratamentos com resíduos orgânicos, in natura e pós-cultivo, com e sem remineralizador.....	37
Tabela 5 - Dosagem dos resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, e do remineralizador.....	37
Tabela 6 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para o pH em água e condutividade elétrica do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias de incubação do solo.	41
Tabela 7 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez trocável e acidez potencial do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.....	43
Tabela 8 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para carbono orgânico total, matéria orgânica do solo e fósforo disponível do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.....	46
Tabela 9 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para capacidade de troca catiônica potencial, saturação por alumínio e por base, porcentagem de sódio total e razão de adsorção de sódio do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.....	50
Tabela 10 - Autovalores e autovetores dos componentes principais.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

BC	Bagaço de cana-de-açúcar
C/N	Relação carbono e nitrogênio
CE	Condutividade elétrica
CO	Carbono orgânico
CTC	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
CTC _{pH 7,0}	Capacidade de troca catiônica potencial do solo a pH 7,0
COT	Carbono orgânico total do solo
CR	Com remineralizador
FB	Folha de bananeira
IN	Resíduo agrônômico <i>in natura</i>
MOS	Matéria orgânica do solo
PST	Porcentagem de sódio total
RAS	Razão de adsorção de sódio
RM	Restolho de milho
SB	Soma de bases trocáveis
SMS	Substrato pós-cultivo de cogumelos
SR	Sem remineralizador
TFSA	Terra fina seca ao ar
UR	Umidade relativa do ambiente (%)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
*	Significativo
×	Interação
Ca ⁺²	Cálcio trocável do solo
cmol _c kg ⁻¹	Centimol de carga por quilograma de solo
°C	Graus centígrados
dag kg ⁻¹	Decagramas por quilograma de solo
H+Al	Acidez potencial do solo
K ⁺	Potássio trocável do solo
kg	Quilograma ou mil gramas
Mg	Megagrama ou mil quilogramas
Mg ⁺²	Magnésio trocável do solo
<i>n</i>	Número de repetições ou amostras ou unidades experimentais
n.s.	Não significativo
Na ⁺	Sódio trocável do solo
P	Fósforo disponível do solo
V	Saturação por bases (%)

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	14
1 INTODUÇÃO GERAL	15
2 HIPÓTESE	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 CARACTERÍSTICAS E USOS DO REMINERALIZADOR NA AGRICULTURA ...	17
3.2 CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS.....	19
3.3 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS	20
3.3.1 Banana	20
3.3.2 Cana-de-açúcar	21
3.3.3 Milho	22
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO II	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
1 INTRODUÇÃO	32
2 OBJETIVOS	34
2.1 GERAL	34
2.2 ESPECÍFICOS	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	35
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO.....	35
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	36
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO REMINERALIZADOR	36
3.5 COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	37
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	38
3.7 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	38

3.8 ANÁLISES QUÍMICAS E DA FERTILIDADE DO SOLO	39
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
4 RESULTADOS	41
4.1 ANÁLISE QUÍMICA E DE FERTILIDADE	41
4.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	51
5 DISCUSSÃO	54
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	59

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com o número de habitantes crescendo para 10 bilhões no mundo (CRIST et al., 2017) a demanda por alimentos também cresce de forma exponencial e, como consequência, há uma necessidade maior de se produzir comida para suprir a necessidade de toda essa população. No entanto, é sabido que a origem de alimentos é proveniente da agricultura, e que para produzi-los as agroindústrias geram uma grande quantidade de resíduos, e quando esses não são tratados, são depositados no meio ambiente trazendo diversos prejuízos ambientais para rios e solos (SINGH et al., 2019).

Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2017) a agricultura produz uma média de 23,7 milhões de toneladas de alimentos por dia em todo o mundo. E esse crescimento da produção mundial criou uma maior pressão sobre o meio ambiente, a ponto de causar impactos negativos no solo, ar e recursos hídricos (FAO, 2017), resultando em consequências sociais significativas decorrentes da gestão e eliminação dos resíduos oriundos da produção alimentícia (ELKHALIFA et al., 2019).

Para produzir o alimento deve-se levar em consideração aspectos relacionados ao solo, como: degradação do solo, contaminação ambiental (JOHNSTON e POULTON, 2018), e a fertilidade e o tipo de solo indicado para uma determinada cultura (ROBA, 2018). Devido existirem solos com baixos teores de nutrientes, tem-se buscado recorrer ao uso de fertilizantes químicos e naturais para suprir esses índices, pois eles desempenham um papel importante tanto para o aumento da produtividade das culturas como na própria fertilidade do solo (PAHALVI et al., 2021).

A reutilização de produtos de origem natural como resíduos de culturas agrônômicos e remineralizadores tem ganhado destaque para servir de fertilizante, pois contribuem para a melhoria do teor de nutrientes e atributos do solo (BURBANO et al., 2022), muitas vezes, esses produtos seriam descartados a céu aberto prejudicando o meio ambiente. O remineralizador se trata de um resíduo oriundo da atividade mineraria e que deve ser dado um destino adequado, por exemplo, usá-lo na agricultura como fertilizante natural, pois os minerais contidos nele representam uma alternativa aos fertilizantes químicos comerciais e, ainda por cima, tratam-se de matérias-primas disponíveis no próprio território nacional (VITÓ et al., 2020).

O reaproveitamento tanto dos remineralizadores como dos resíduos agrônômicos são opções que podem ser implementadas na busca por soluções para problemas na agricultura, referentes a redução de custos, a ciclagem de nutrientes e, como também, para dar destino aos

resíduos oriundos das mineradoras e agroindústrias (CURTIS et al., 2023), atrelado a isso, possibilitar o cultivo de plantas em Argissolos. Cruz (2017) enfatiza que os Argissolos são susceptíveis a processos erosivos, tornando esse fator como um dos mais limitantes para essa classe, pois as propriedades químicas e físicas estão relacionadas com o material de origem desse solo e elas limitam seu uso na agricultura.

Com base nas considerações acima, o objetivo deste trabalho foi levantar informações sobre o uso de resíduos minerais, como o subproduto da extração de bentonita, e agrícolas por meio da incorporação deles no solo, gerando informações que possam contribuir para o reaproveitamento dos resíduos supracitados.

2 HIPÓTESE

A proposta apresenta como hipóteses: i) os resíduos *in natura* e pós-cultivo de cogumelo (SMS) contribuem na solubilização de nutrientes presentes no remineralizador; ii) os resíduos *in natura* e pós-cultivo de cogumelo (SMS) associado ao subproduto da extração de bentonita melhora as propriedades químicas do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERÍSTICAS E USOS DE REMINERALIZADOR NA AGRICULTURA

O remineralizador é o produto de rochas moídas e peneiradas que não passaram por nenhuma mudança em sua composição química (VITÓ et al., 2020). Esse tipo de remineralizador também é conhecido por receber outras nomenclaturas na literatura, como rochagem, pó de rocha, agrominerais ou fontes alternativas de nutrientes (FRANÇA et al., 2019). É importante ressaltar que as rochas passam por um processo de redução de tamanho para que não ocorra perda e nem transformação de sua composição. Em conformidade com Ramos et al. (2022), a incorporação de remineralizador no solo consiste na adição de macro e micronutrientes por meio da aplicação de rochas moídas, levando em consideração princípios agroecológicos que contribuem para a sustentabilidade do sistema produtivo.

No Brasil, depois de diversos estudos sobre remineralizadores, foi então, sancionada em 11 de dezembro de 2013 a LEI de Nº 12.890, que inclui a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de remineralizadores como fertilizante natural para plantas, voltadas à agricultura, e regulamenta a comercialização na categoria de insumo agronômicos (CURTIS et al., 2023). Vale ressaltar também que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a Instrução Normativa de nº 5 para que os pós de rocha que são comercializados como remineralizadores apresentem em seu rótulo as especificações exigidas na IN 05/2016.

Quadro 1 – Especificações e garantias dos remineralizadores na IN 05/2016.

ESPECIFICAÇÕES DE NATUREZA FÍSICA DOS REMINERALIZADORES		
ESPECIFICAÇÃO DE NATURA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
	PENEIRA	PARTICULAS PASSANTES (PESO/PESO)
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10)	100%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelado	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,8 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo
TEORES MÍNIMOS DO MACRONUTRIENTE FÓSFORO E DE MICRONUTRIENTES QUE PODEM SER DECLARADOS NOS REMINERALIZADORES		
NUTRIENTE	TEOR TOTAL MÍNIMO (% em peso/peso)	
Fósforo (P ₂ O ₅)	1	

Boro (B)		0,03
Cloro (Cl)		0,1
Cobalto (Co)		0,005
Cobre (Cu)		0,05
Ferro (Fe)		0,1
Manganês (Mn)		0,1
Molibdênio (Mo)		0,005
Níquel (Ni)		0,005
Selênio (Se)		0,03
Silício (Si)		0,05
Zinco (Zn)		0,1
TOLERÂNCIAS ADMITIDAS PARA OS REMINERALIZADORES COM RELAÇÃO À ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA		
ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	PENEIRA	TOLERÂNCIA
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Farelado	4,8 mm (ABNT nº 4)	Até 2 unidades para menos no mínimo passante.
	2,8 mm (ABNT nº 7)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.

Adaptado do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2023).

Ramos et al. (2022) apontam que o Brasil é um dos países que mais apresenta uma demanda pelo uso de fertilizantes na tentativa de aumentar os índices de produtividade. No entanto, Souza et al. (2018) mencionam que é preciso fazer a caracterização dos resíduos minerais, pois alguns desses resíduos podem conter metais pesados que acarretam problemas de saúde para plantas e seres humanos e, portanto, não podem ser usados como fertilizantes.

A prática do uso de remineralizadores também é considerada como uma maneira de rejuvenescer solos pobres ou lixiviados, devido promover um efeito residual duradouro e proporcionar ação a longo prazo do insumo aplicado (SOUZA et al. 2018; THEODORO, 2000), assim, o uso de subprodutos de mineração vem a ser uma maneira de encontrar o equilíbrio da fertilidade do solo e também da produtividade naturalmente sustentável.

No trabalho de Burbano et al. (2022), foi realizado um experimento para avaliar os parâmetros de produção da quinoa em diferentes tipos de adubação do solo, entres eles a pedra britada (remineralizador), material orgânico e convencional (NPK). Os autores citaram que o resultado mostrou aumento significativo na fertilidade do solo, no rendimento da quinoa e no

teor de nutrientes das plantas com a incorporação de remineralizador e o material orgânico, sendo esse aumento superior aos tratamentos sem a aplicação desses insumos.

Em um estudo feito por Gotz et al. (2019) para avaliar o potencial do uso de doses diferentes de pó de rocha (0, 3, 6, 9 e 12 Mg há⁻¹), associado ou não ao esterco bovino (17 Mg há⁻¹ e 28 Mg há⁻¹), em duas aplicações em aproximadamente um ano, mostrou que na dose de 3 Mg há⁻¹ de pó de rocha com o esterco bovino houve redução da acidez potencial e aumento no teor de Mg⁺², por outro lado, não houve melhora na produtividade do trigo.

Em uma pesquisa para avaliar crescimento, concentração de clorofila, índices fisiológicos e produção de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), com a combinação de remineralizador e esterco bovino em diferentes doses, Pereira et al. (2020), observaram que a combinação de 120g de esterco + 12g de remineralizador resultou em maior produtividade, bem como crescimento da área foliar do de *B. oleracea*.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE RESÍDUO PÓS-CULTIVO DE COGUMELOS

O resíduo Pós-Cultivo de Cogumelos, também conhecido como *Spent Mushroom Substrate* (SMS) é um resíduo semelhante ao solo que resta após a colheita de cogumelos, sendo este material rico em matéria orgânica, que pode ser utilizado como corretivo ou condicionador do solo (GRIMM et al., 2018), pois incorporar esse resíduo no solo, o mesmo favorece a atividade microbiana e disponibiliza nutrientes para as culturas agrícolas (GILARDONI et al., 2016).

No Brasil, a produção de cogumelo orgânico vem ganhando espaço e sendo bastante aceitável pelo consumidor (AZEVEDO et al., 2014), assim como, tem se tornado um setor de interesse econômico. Entretanto, à medida que o consumo aumenta, conseqüentemente, também há um aumento de resíduos gerados. Segundo Mahari et al. (2020) cada quilograma de cogumelo fresco gera o equivalente a 5 kg de resíduo pós-cultivo. Ou seja, o quantitativo de SMS que é gerado é cinco vezes maior que o de cogumelo produzido, dessa forma, quanto maior for o consumo de cogumelo, maior será o volume desse resíduo.

A produção de cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus*, no Brasil, tem aumentado e sua produção é estimada em 7.475 toneladas, representando cerca de 48% do total que é produzido em todo o país (ZIED et al., 2019). No entanto, a indústria de cogumelos ressalta a problemática causada pela deposição dos resíduos oriundos dessa produção (KUMLA et al., 2020).

Nos estudos de SÁNCHEZ e ROYSE (2017) é possível aproveitar os resíduos de SMS no setor agropecuário, como possibilidade de uso na preparação de fertilizantes que melhorem as condições do solo para cultivos agrícolas. Leong et al. (2022) também mencionam que o resíduo pós-cultivo, usado como corretivo do solo, não só melhora a estrutura do solo, como fornece alguns tipos de nutrientes. Rinker (2017) mostra que é possível obter uma alta porcentagem de nutrientes como o Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) se comparado até mesmo com outras fontes de fertilizantes, a título de exemplo, o esterco bovino.

3.3 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS

Em conformidade com o Ministério do Meio Ambiente os Resíduos Orgânicos são constituídos por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas, apresentando diversas origens, dentre elas a agrícola ou industrial através de resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira e entre outras (BRASIL, 2022).

Os resíduos agronômicos são apontados como um dos principais fatores dos problemas ambientais a nível global e regional, no que tange desde as mudanças climáticas e a destruição da camada de ozônio, como a questões relacionadas acidificação do solo e a eutrofização aquática (PARDO et al., 2017). E mais, sabe-se que a geração desses resíduos é diretamente proporcional ao cultivo agrícola. Ou seja, quanto mais é produzido mais resíduo é gerado.

O reaproveitamento de resíduos agronômicos é uma alternativa para minimizar os impactos ambientais que são gerados por meio do descarte incorreto, desse modo, alguns autores (como Gontard et al. (2018); Wang et al. (2019)) ressaltam que o reaproveitamento dos resíduos agronômicos tem trazido benefícios no que tange o contexto socioambiental, por encontrar um destino favorável para esses resíduos na geração de bioprodutos sustentáveis como fertilizantes e energia.

Através desse contexto esta revisão ressalta a importância do gerenciamento dos resíduos para a redução dos impactos ambientais das seguintes culturas: Banana, Cana-de-Açúcar e Milho.

3.3.1 Banana

A banana (*Musa* spp.) pertencente à família Musaceae, é classificada como uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo (GUERRERO e MUÑOZ, 2018). O Brasil é o quarto produtor mundial, com uma produção de 6,7 milhões de toneladas e 15 t.ha⁻¹ de produtividade, sendo esta produção praticamente toda destinada ao consumo interno, o que o

transforma no primeiro consumidor mundial de banana (EMBRAPA, 2020). A participação da produção de banana nas regiões brasileiras foi de 34,2% no Nordeste, 34,1% no Sudeste, 15,4% no Sul, 11,6% no Norte e 4,7% no Centro-Oeste, no ano de 2019 (IBGE, 2019)

Por ser considerado um grande produtor de biomassa, estudos estimam que no Brasil serão gerados cerca de 1.402 milhões de toneladas de resíduos agronômicos, incluindo os agroindustriais e silvicultura no ano de 2030 (FERNANDES et al., 2018). A quantidade de resíduos gerados a partir da cultura da banana é abundante, pois de 100 quilos de bananas colhidas, 46 quilos são descartados, gerando em torno de três milhões de toneladas de resíduos por ano (ARANTES, 2015). Além disso, estima-se 30% de perdas pós-colheita por não atenderem aos padrões de consumo, sem considerar os resíduos gerados a partir do pseudocaule, engaço, palha e folhas (KRUNGKAEW et al., 2022).

Apesar da grande geração de resíduos orgânicos oriundos da produção da bananicultura, poucas pesquisas foram dedicadas à destinação e aplicabilidade sustentável com vistas ao seu aproveitamento (Carvalho et al., 2014). As cascas da banana, as quais possuem um alto valor nutritivo, foram usadas na composição de substratos através de compostagem para produção de mudas e mostraram-se altamente recomendáveis para este objetivo (Ferreira et al., 2015). O pseudocaule da bananeira foi utilizado como substrato para plantas ornamentais, sendo estes enriquecidos com adubação, e se mostrou como um promissor material para a ser utilizado (Pacheco et al., 2010).

A palha de bananeira vem sendo testada como substrato para produção de cogumelo (*Pleurotus ostreatus*) em diversos estudos (p.ex. Carvalho et al., 2012; Carvalho et al., 2014; Silva e Balioni, 2020). No entanto, o uso da palha da bananeira na composição de substratos para produção de mudas tem recebido pouca importância em termos de desenvolvimento de pesquisas. Isto evidencia uma lacuna frente ao grande potencial e versatilidade que a palha da bananeira possui enquanto insumo orgânico para ser aplicado na agricultura.

3.3.2 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é um dos maiores expoentes do agronegócio do Brasil como a principal fonte de etanol e açúcar. Tem ampla distribuição geográfica, com presença de plantios em todas as regiões do Brasil, principalmente no Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (NOVACANA, 2021). De acordo com Alves et al. (2021) a produção estimada nas safras 2020/21 foi de 654,53 mil toneladas colhidas em uma área de 8,62 mil hectares no Brasil.

Além de etanol e açúcar como principais produtos da cana-de-açúcar provenientes de grandes agroindústrias (usinas), podem ser obtidos outros produtos, tais como a cachaça artesanal, doces e forragens para animais, sendo estas, realizadas principalmente por pequenos agricultores (Pereira et al. 2020). Para todos os beneficiamentos da cana-de-açúcar, em pequena ou larga escala, há algo em comum, que é a alta geração de resíduos orgânicos, principalmente o “bagaço da cana”.

O bagaço da cana-de-açúcar, obtido através dos processos de beneficiamento, assim como os diversos resíduos orgânicos agropecuários, têm papel fundamental na reposição de nutrientes ao solo, sendo utilizados em processos de compostagem, cobertura do solo, fornecimento de água e oxigênio (Wattier et al., 2019). A relação C/N do bagaço de cana-de-açúcar é considerada uma relação alta e, mesmo assim, apresenta potencial para compor um substrato, principalmente, quando se adiciona uma fonte de nitrogênio (MAGALHÃES et al., 2016).

Atualmente, o bagaço de cana de açúcar é, em sua maioria, queimado para gerar energia para as usinas, mas uma quantidade considerável é ainda desperdiçada, o que é preocupante pois requer espaço e polui, devendo-se encontrar uma utilização (CASTRO, 2008; CERQUEIRA et al, 2010; Souza et al. 2015).

Dessa maneira, o bagaço da cana-de-açúcar vem ao longo dos anos sendo utilizado em diversas pesquisas para obtenção da formulação de substratos adequados em suas características químicas e físicas para o desenvolvimento das mais diversas culturas (Meira Júnior e Silva Júnior, 2021). Avaliando a produção de mudas de espécies de orquídeas Meurer et al. (2009), observaram que o bagaço de cana-de-açúcar se mostrou apropriado como substrato. Para a produção de mudas de mamoneira, substratos contendo o bagaço de cana-de-açúcar mostraram-se inadequados (Lima et al. 2006).

3.3.3 Milho

O milho (*Zea mays* L.) originário da América Central, pertencente à família Poaceae, é um dos cereais mais cultivados no mundo. Esta espécie está adaptada a diferentes ambientes e por isso é produzida nos hemisférios norte e sul global, em climas úmidos e regiões secas (Lopes et al., 2019). No Nordeste brasileiro tem alta expressividade por se destacar como um produto estratégico para a segurança alimentar e importância na agricultura subsistência.

Além de sua importância na alimentação humana, o milho tem também como finalidade a alimentação animal, sendo uma das principais matérias-primas na produção de rações, destinadas para diversos segmentos, como na avicultura, suinocultura e na bovinocultura (ALVES; AMARAL, 2011).

A atividade agrícola produz anualmente grandes quantidades de resíduos agronômicos, sendo a maioria representada por biomassa lignocelulósica. A exemplo dos resíduos de palha de trigo e de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de algodão, folha de bananeira, polpa e casca de frutas (EIRA, 2004), bem como o restolho do milho. Quando esse resíduo não é utilizado como ração animal é descartado no solo, gerando uma grande quantidade de resíduos vegetais, uma vez que, o principal produto aproveitado são os grãos.

O descarte indevido desses resíduos pode levar a sérios problemas ambientais que contribuem para a liberação de gases de efeito estufa, proliferação de pragas e imobilização de N no solo. Dessa forma, o uso de resíduos agronômicos como substrato em bioprocessos, além de se tornar economicamente viável, ajuda a resolver os problemas ambientais decorrentes de seu acúmulo na natureza (FIGUEIRÓ e GRACIOLLI, 2011), contribuindo para o aumento da atividade microbiota, sequestro de carbono e redução da erosão do solo.

O restolho ou palhada de milho, sendo o resíduo agronômico correspondente à parte aérea da planta de milho e colmos, sem a espiga principal, seca naturalmente a campo e sem tratamento prévio (MOREIRA FILHO et al., 2013), tem se tornando uma fonte de incremento adicionado junto ao substrato.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. Q., FRANCO, P. N., ZANETTI, W. A. L., & GÓES, B. C. Desempenho da produção da cultura de cana-de-açúcar nos principais estados produtores. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 15(2), 303-317, 2021.
- ALVES, H. C. R.; AMARAL, R. F. Produção, área colhida e produtividade do milho no Nordeste. Banco do Nordeste. Fortaleza: Informe Rural Etene, 2011.
- ARANTES, J.T. AGÊNCIA FAPESP- Resíduos de laranja e banana podem contribuir para a produção de etanol. [2015]. Disponível em:< <http://agencia.fapesp.br/residuos-de-laranja-e-banana-podem-contribuir-para-a-producao-de-etanol/20889/>> Acesso em: 10 fev. 2022.
- AZEVEDO, D. B., OSORIO, R. M. L., CARDOSO, B. B., CARVALHO, R.C. Cadeia de produção do cogumelo orgânico: o estudo de caso da empresa cogumelos brasilienses. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 139-153, 2014.
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Diário Oficial da União de 10/12/2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de Resíduos Orgânicos**, 2022.
- BURBANO, D. F. M.; THEODORO, S. H.; CARVALHO, A. M. X.; RAMOS, C. G. Crushed volcanic rock as soil remineralizer: a strategy to overcome the global fertilizer crisis. **Natural Resources Research**, v. 31, n. 5, p. 2197-2210, 2022.
- CARVALHO, C. S. M. D.; AGUIAR, L. V. B. D.; SALES-CAMPOS, C.; MINHONI, M. T. D. A.; ANDRADE, M. C. N. D. Determinação bromatológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado em resíduos de diferentes cultivares de bananeiras. Volume 37, Pags. 621-626, 2012.
- CARVALHO, C. S. M. D.; SALES-CAMPOS, C.; AGUIAR, L. V. B. D.; MINHONI, M. T. D. A.; ANDRADE, M. C. N. D. Composição mineral de substratos à base de resíduos de bananeira durante o cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Arquivos do Instituto Biológico*, 81, 272-281, 2014.
- CASTRO, L. B. N.; OLIVEIRA, L. A.; MOREIRA, R. F.; MURTA, R. M.; Bagaço da cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Pubvet**, v. 2, n. 30, 2008.
- CERQUEIRA, D. A.; FILHO, G. R.; CARVALHO, R. A.; VALENTE, A. J.M.; Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por ¹H-RMN. **Polímeros**, vol. 20, n. 2, p. 85-91, 2010.
- CRIST, E.; MORA, C.; ENGELMAN, R. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 260-264, 2017.
- CRUZ, D. L. S. **Influência de sistemas integrados de produção nas características físicas e químicas de um argissolo**. 2017. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017.
- CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 3, p. 423-438, 2023.

ELKHALIFA, S.; AL-ANSARI, T., MACKEY, H. R., & MCKAY, G. Food waste to biochars through pyrolysis: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 310-320, 2019.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Tabela–Produção brasileira de banana em 2019. IBGE, 2020. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf. Acesso em: 09 fev. 2022.

FAO. (2017). Food And Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The future of food and agriculture Trends and challenges. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2023.

FERNANDES, L.T.; TENÓRIO, L.X.S.; PY-DANEIEL, S.S.; LIMA, L.A.; OLIVEIRA, L.P.; SILVA, M.L.; GHESTI, G.F. Estudo prospectivo sobre a utilização de biomassa na produção de biogás para geração de energia descentralizada. *Cadernos de Prospecção*, v. 11, n. 3, p. 940-951, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v11i3.27109>.

FERREIRA, C. M.; COSTA, S. M. L.; PASIN, L. A. A. Uso de resíduos da agroindústria de bananas na composição de substratos para produção de mudas de pau pereira. **Nativa**, 3(2), 120-124, 2015.

FRANÇA, S. C. A.; TRAMPUS, B. C.; BRAGA, P.F.A.; MOKARZEL, D. Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. 2019.

GILARDONI, S.; MASSOLI, P.; PAGLIONE, M.; FACCHINI, M. C. Direct observation of aqueous secondary organic aerosol from biomass-burning emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 36, p. 10013–10018, 6 set. 2016.

GONTARD, N.; SONESSON, U.; BIRKVED, M.; MAJONE, M.; BOLZONELLA, D.; CELLI, A.; ANGELLIER-COUSSY, H.; JANG, G.; VERNIQUET, A.; BROEZE, J.; SCHAEER, B.; BATISTA, A. P.; SEBOK, A. A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 48, n. 6, p. 614-654, 2018.

GOTZ, L. F.; CASTAMANN, A.; PIOVESAN, F.; ANZOLIN, B. L.; HEREK, T. A.; MIKOANSKI, W. M.; RITA, Y. L. Use of rock powder associated with bovine manure in Latossolo Vermelho cultivated with wheat. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 131-139, 2019.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. AB. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 102, n. 18, p. 7795-7803, 2018.

GUERRERO, Ana Belén; MUÑOZ, Edmundo. Life cycle assessment of second generation ethanol derived from banana agricultural waste: Environmental impacts and energy balance. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 710-717, 2018.

IBGE. Produção Agrícola Municipal, 2019. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76237. Acesso em 05 fev 2022.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 113-125, 2018.

KRUNGKAEW, S.; HÜLSEMANN, B.; KINGPHADUNG, K.; MAHAYOTHEE, B.; OECHSNER, H.; MÜLLER, J. Methane production of banana plant: Yield, kinetics and prediction models influenced by morphological parts, cultivars and ripening stages. **Bioresource Technology**, v. 360, p. 127640, 2022.

KUMLA, J.; SUWANNARACH, N.; SUJARIT, K.; PENKHRUE, W.; KAKUMYAN, P.; JATUWONG, K.; VADTHANARAT, S.; LUMYONG, S. Cultivation of mushrooms and their lignocellulolytic enzyme production through the utilization of agro-industrial waste. **Molecules**, v. 25, n. 12, p. 2811, 2020.

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

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. L.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e agrotecnologia**, 30(3), 474-479, 2006.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610, 2019.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA no 5, 10/03/2016. Publicada no DOU de 14/03/2016.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F.F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 466-471, 2006.

MAHARI, W. A. W.; PENG, W.; NAM, W. L.; YANG, H.; LEE, X. Y.; LEE, Y. K.; LIEW, R. K.; MA, N. L.; MOHAMMAD, A.; SONNE, C.; LE, Q. V.; SHOW, P. L.; CHEN, W. H.; LAM, S. S. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. **Journal of hazardous materials**, v. 400, p. 123156, 2020.

MEURER, F. M.; BARBOSA, C.; COSTA ZONETTI, P.; MUNHOZ, R. E. F. Avaliação do uso de bagaço de cana-de-açúcar como substrato no cultivo de mudas de orquídeas. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, 3(2). 2008.

Novacana. As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil. 2021. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil/estados. Acesso em: 15 maio 2021.

PACHECO, D. D.; RODRIGUES, M. G. V.; DIAS, M. M.; ALMEIDA, E. F. A.; SOUZA, F. V.; RODRIGUES, H. P.; MOREIRA, S. A. F. Uso de pseudocaule de bananeira enriquecido com nitrogênio e fósforo como substrato para o cultivo de samambaias. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 40(1), 53-60, 2010.

- PAHALVI, H. N.; RAFIYA, L.; RASHID, S.; KAMILI, A. N. Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2: **Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs**, p. 1-20, 2021.
- PARDO, Guillermo; MORAL, Raúl; DEL PRADO, Agustín. SIMSWASTE-AD-A modelling framework for the environmental assessment of agricultural waste management strategies: Anaerobic digestion. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 806-817, 2017.
- PEREIRA, L. A. G.; BARRETO, J. B. Geografia das exportações de açúcar e de etanol no estado de Minas Gerais. **Revista Campo-Território**, v. 15, n. 36, p. 230-258, 2020.
- PEREIRA, M. B.; DIAS, T. J.; LIMA, N. R.; Justino, E. S.; OLIVEIRA, D. S.; MARTINS-VERAS, M. L. Plant growth and yield of butter kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), as influenced by the combined application of bovine manure and rock powder. **Acta Agronômica**, v. 69, n. 1, p. 38-45, 2020.
- RAMOS, C. G.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. **Geoscience Frontiers**, v. 13, n. 1, p. 101185, 2022.
- RINKER, D. L. Spent mushroom substrate uses. **Edible and medicinal mushrooms: technology and applications Wiley, Hoboken**, p. 427-54, 2017.
- ROBA, T. B. Review on: The effect of mixing organic and inorganic fertilizer on productivity and soil fertility. **Open Access Library Journal**, v. 5, n. 06, p. 1, 2018.
- SÁNCHEZ, J. E.; ROYSE, D. J. La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. **Uteha-Ecosur, San Cristóbal de las Casas**, 2017.
- SILVA, S. S.; BALIONI, L. F. Estudo comparativo sobre a produção de *Pleurotus ostreatus* cultivado em substratos de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach), folhas de bananeira (*Musa* sp.) e milho (*Zea mays* L.). *Caderno de Pesquisa*, 32(1), 2020.
- SINGH, R. S.; KAUR, N.; KENNEDY, J. F. Pullulan production from agro-industrial waste and its applications in food industry: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 217, p. 46-57, 2019.
- SOUZA, A. C.; FUGITA, F. I.; SOUSA, A. H.; SANTOS BOFO, D. C. Estudo das aplicações do bagaço da cana-de-açúcar dentro e fora das indústrias sucroalcooleiras. v. 21, n.1, 2015.
- SOUZA, M. E.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, A. M. X.; LOPES, A. P.; JUCKSCH, I.; JANSSEN, A. Rock powder can improve vermicompost chemical properties and plant nutrition: an on-farm experiment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 2018.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. *Manual of soil analysis methods*. 3. ed. Brasília. 2017.
- THEODORO, S. M. C. H. **A fertilização da terra pela terra**: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 2000. 241 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

VITÓ, C. V. G.; VIEIRA, H. G.; FERRAREZ, A. H.; ALMEIDA, C. M. S.; SILVA, F. L. F.; MATOS, W. O.; SOUZA, M. O. Inorganic content of rock dust waste from northwest of Rio de Janeiro, Brazil: do environmental risks incur from its use as natural fertilizer?.

Environmental Monitoring and Assessment, v. 192, p. 1-9, 2020.

WANG, B.; SONG, J.; REN, J.; LI, K.; DUAN, H.; WANG, X. Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: A fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 142, p. 78-87, 2019.

WATTHIER, M.; SCHWENGBER, J. E.; FONSECA, F. D.; SILVA DA SILVA, M. A. Húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 3, n. 5, p. 2065-2071 set./out. 2019.

ZIED, D.C.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; OLIVEIRA, G.A.; CARRASCO, J.; ZERAIK, M. L. Study of Waste Products as Supplements in the Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* var. Florida. **Indian journal of microbiology**, v. 59, p. 328-335, 2019.

CAPÍTULO II

EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO E REMINERALIZADOR SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO

EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRONÔMICOS PÓS-CULTIVO DE COGUMELO E REMINERALIZADOR SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO

RESUMO

Os resíduos agronômicos e de mineração tem potencial para utilização agrícola quando incorporados aos solos visando o aumento da fertilidade e produção de alimentos. Com isso, objetivou-se avaliar os atributos químicos do solo sob efeito da incorporação de resíduos agronômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelo (SMS) e do subproduto da extração de bentonita em Argissolo Vermelho-Amarelo, no município de Areia, na Paraíba. A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, situado na cidade de Areia-PB. O experimento foi constituído por 13 tratamentos, resultantes do esquema fatorial $3 \times 2 \times 2 + 1$, referente a três resíduos (bagaço de cana-de-açúcar, folhas de bananeira e restolho de milho), duas condições dos resíduos orgânicos (*in natura* e pós-cultivo de cogumelo), com e sem aplicação de remineralizador no solo, mais um tratamento controle (solo com remineralizador), com quatro repetições. Foram realizadas análises dos atributos químicos do solo, conforme metodologias propostas pela Embrapa. Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade da variância de Barlett à 5% de significância ($p < 0,05$), e quando necessário foram realizadas transformações, em seguida foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, foram realizados teste de médias de Scott-Knott à 5% de significância ($p < 0,05$). Os dados também foram submetidos ao teste de Dunnett para fazer a comparação de cada tratamento com a testemunha usada e a análise de componentes principais (ACP). A incorporação de resíduos agronômicos nas condições *in natura* e SMS com o remineralizador aumentaram as variáveis de fertilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo, com aumento expressivo nos teores de bases trocáveis, carbono orgânico, matéria orgânica do solo, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. A ACP demonstrou que os tratamentos bagaço de cana-de-açúcar e folha de bananeira, ambos na condição *in natura* e sem incorporação de remineralizador foram os mais correlacionados com as variáveis da CTC, SB e V%.

Palavras-chave: Substratos alternativos, resíduos orgânicos, fertilidade do solo.

EFFECT OF THE INCORPORATION OF AGRONOMIC WASTE POST-CULTIVATION OF MUSHROOM AND REMINERALIZER ON THE CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED-YELLOW ARGISOL

ABSTRACT

Agronomic and mining residues have the potential for agricultural use when incorporated into soils to increase fertility and food production. With this, the objective was to evaluate the chemical attributes of the soil under the effect of the incorporation of agronomic residues *in natura* and post-cultivation of mushroom (SMS) and the by-product of the extraction of bentonite in Argisolo Vermelho-Amarelo, in the municipality of Areia, in Paraíba. The research was carried out in a greenhouse, at the Center for Agricultural Sciences (CCA) of the Federal University of Paraíba (UFPB), Campus II, located in the city of Areia-PB. The experiment consisted of 13 treatments, resulting from a $3 \times 2 \times 2 + 1$ factorial scheme, referring to three residues (sugarcane bagasse, banana leaves and corn stubble), two conditions of organic residues (*in natura* and post-cultivation of mushroom), with and without application of remineralizer in the soil, plus a control treatment (soil with remineralizer), with four replications. Analyzes of soil chemical attributes were carried out, according to methodologies proposed by Embrapa. Data were evaluated for normality and homogeneity of Barlett's variance at 5% significance ($p < 0,05$), and when necessary, transformations were performed, then submitted to analysis of variance (ANOVA) and, when significant, were Scott-Knott mean test was performed at 5% significance ($p < 0,05$). Data were also submitted to Dunnett's test to compare each treatment with the control used and principal component analysis (PCA). The incorporation of agronomic residues under *in natura* conditions and SMS with the remineralizer increased the fertility variables of the Red-Yellow Argisol, with a significant increase in the levels of exchangeable bases, organic carbon, soil organic matter, cation exchange capacity and base saturation. The PCA showed that sugarcane bagasse and banana leaf treatments, both in the *in natura* condition and without incorporation of remineralizer, were the most correlated with the CTC, SB and V% variables.

Keywords: Alternative substrates, organic residues, soil fertility.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população atrelado ao avanço tecnológico tem contribuído para um crescimento significativo na geração de resíduos sólidos, que está associado a riscos ambientais e de saúde pública significativos em todo o mundo (ALFAIA e COSTA, 2017). Essa geração de resíduos sólidos tem despertado a atenção para a necessidade de melhorar o tratamento e a eficiência da reciclagem desses resíduos, de forma que possa trazer aplicações benéficas ao meio ambiente (CHILAKAMARRY et al., 2022).

No Brasil, devido a taxa crescente de habitantes, resultou em um aumento correspondente na produção de vários produtos agrícolas, onde se estima que a produção de grãos, cereais e leguminosas atingiu, no ano de 2021, cerca de 260,5 milhões de toneladas (AZEVEDO et al., 2022). E, com relação aos resíduos sólidos de mineração, também se estima que entre 2008 e 2019, 3,6 bilhões de toneladas desses resíduos foram despejados em lixões no Brasil (CARMO et al., 2020).

No estado da Paraíba, a indústria de minerais não metálicos tem significativa participação no desenvolvimento socioeconômico regional, principalmente, em atividades de exploração e beneficiamento (SOUSA et al., 2020). No que tange a produção agrícola paraibana, a área plantada ultrapassa facilmente 80 mil hectares (IBGE, 2021). Ambas as atividades geram resíduos que ocasionam impactos consideráveis ao meio ambiente, tais como: contaminação dos lençóis freáticos, do solo, e a poluição visual (SOUSA et al., 2020).

A geração de resíduos agrônômicos e de subprodutos da mineração é um dos maiores desafios enfrentados pelas indústrias. Esses resíduos permanecem acumulados nos pátios das empresas e, muitas vezes, a céu aberto, necessitando de um local adequado para armazenamento e descarte, pois representam riscos à saúde dos seres humanos e ao meio ambiente (RODRIGUES et al., 2017).

No que tange os substratos pós-cultivo de cogumelo (SMS), são gerados aproximadamente 5 kg desse resíduo para se produzir apenas um quilo de cogumelo fresco (HANAFI et al., 2018). No Brasil, a produção de cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus*, tem sua produção estimada em 7.475 toneladas (ZIED et al., 2019), o que representa cerca de 35.000 toneladas de SMS. Logo, é de suma importância que seja dado um destino adequado para esses resíduos de modo a amenizar e resolver o problema da geração dos mesmos.

Estudos feitos por Leong et al. (2022) trazem um levantamento acerca do reaproveitamento dos substratos pós-cultivo de cogumelo, desse modo, citam que é possível aproveitar esses resíduos através da incorporação deles no solo, por permitir maior retenção de água e nutrientes, o que pode efetivamente melhorar a estrutura física do solo e o ambiente ecológico dos microrganismos do solo, permitindo também desenvolver a “economia circular”.

Em um outro estudo feito por Ramos et al. (2022), mostraram que um experimento agrícola onde compararam os resultados produtivos de diversas culturas, como o milho e cana-de-açúcar, utilizando potássio de rocha moída com adubação convencional (NPK) e adubação orgânica, verificaram que os resultados revelaram mudanças significativas nos níveis de fertilidade do solo ao longo de cinco anos, mostrando que a produtividade nas parcelas adubadas com pó de rocha foi igual ou superior (até 40%) às parcelas adubadas com adubação química.

Diante do exposto, faz-se necessário mais estudos que contemplem métodos de aplicação que investiguem a aplicação de resíduos agrônômicos, como o resíduo pós-cultivo de cogumelo e minerais, de forma conjunta, em solos em processo de desertificação no estado da Paraíba, a fim de proporcionar novas referências para pesquisas futuras e, conseqüentemente, sustentar a tomadas de decisões seja no âmbito experimental ou produtivo.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar os atributos químicos do solo sob efeito da incorporação de resíduo agronômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelo (SMS) e do subproduto da extração de bentonita em Argissolo Vermelho-Amarelo.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da aplicação de resíduos *in natura* e pós-cultivo de cogumelo (SMS) nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo;
- Avaliar a influência da aplicação de resíduos *in natura* e SMS com subproduto da extração de bentonita nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo;
- Identificar os tratamentos que mais contribuíram com os atributos da fertilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A pesquisa foi desenvolvida durante os meses de janeiro a outubro de 2022, sendo conduzida em abrigo telado, no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, situado no município de Areia, na microrregião do Brejo Paraibano, a $6^{\circ} 57' 46''$ S de latitude e $35^{\circ} 41' 31''$ W de longitude. O clima é classificado como tropical quente e úmido – classe As, segundo Köppen (Alvares et al., 2013).

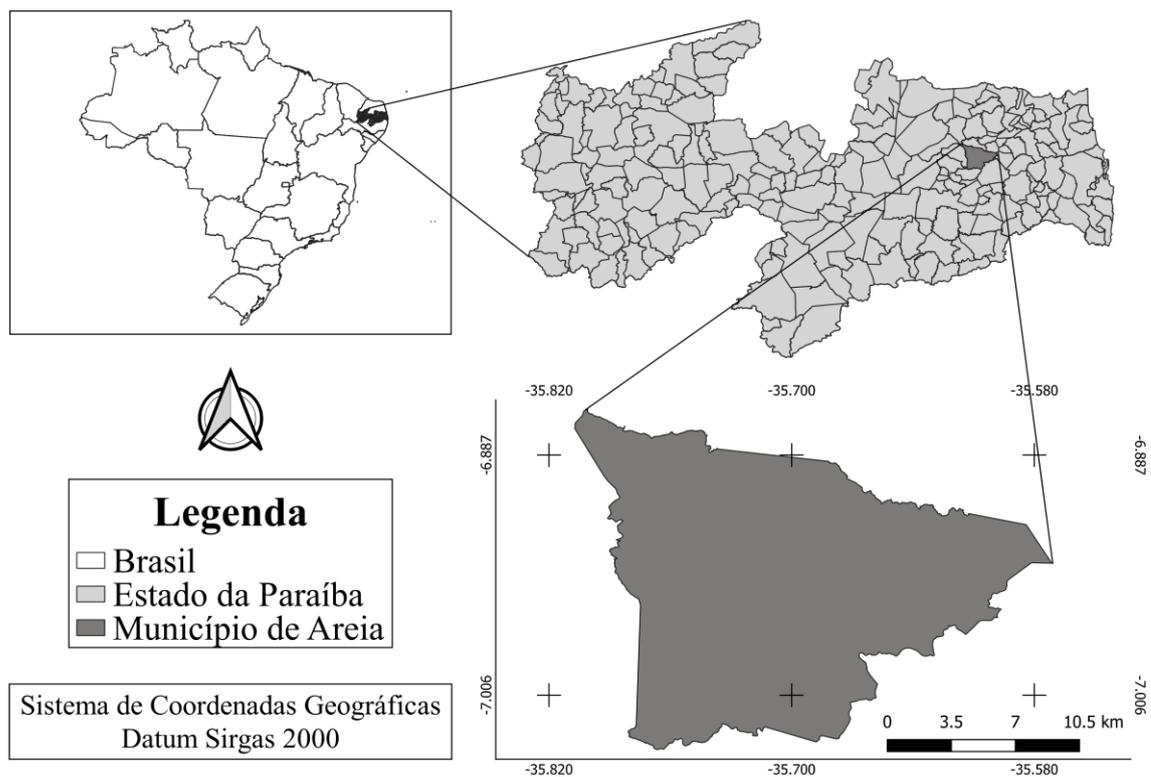


Figura 1. Localização do município de Areia, no Estado da Paraíba.

Fonte: ARAÚJO, J.V.S. (2023).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO

Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,00 – 0,20 m de um Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado no parque estadual Mata do Pau-Ferro que é uma unidade de conservação situada no município de Areia-PB, a qual possui uma vegetação do tipo floresta ombrófila densa. Em seguida, o solo foi caracterizado quimicamente (Tabela 1), conforme Teixeira et al., (2017).

Tabela 1 - Caracterização química do Argissolo Vermelho-Amarelo em Areia, PB.

pH H ₂ O	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC	P	COT	MO
	dS m ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	mg g ⁻¹	dag kg ⁻¹
3,8	0,355	0,41	21,93	0,07	0,05	1,14	27,49	22,46	49,95	19,52	27,71	12,06

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Os resíduos utilizados foram cedidos pelo Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC), da UFPB/CCA. A Tabela 2 apresenta a caracterização química desses resíduos, tanto na condição *in natura* como pós-cultivo de cogumelos.

Tabela 2 - Caracterização química dos resíduos orgânicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos.

Resíduos orgânicos	Condição	CO (dag kg ⁻¹ MS)	C/N	pH	CE (dS m ⁻¹)
Folhas de bananeira	<i>In natura</i>	38,04	35,04	6,23	0,186
	Pós-cultivo	32,12	24,83	5,46	0,407
Restolho de milho	<i>In natura</i>	35,36	31,52	6,90	0,138
	Pós-cultivo	33,11	20,63	5,58	0,274
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	38,70	159,27	5,53	0,081
	Pós-cultivo	37,87	78,42	4,60	0,128

In natura = resíduo agrônomico *in natura*; Pós-cultivo = resíduo 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).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO REMINERALIZADOR

O remineralizador utilizado foi um subproduto da extração de bentonita, fornecido por uma empresa de mineração, localizada no Estado da Paraíba. A caracterização química (Tabela 3) desse remineralizador foi realizada seguindo Teixeira et al. (2017), antes da aplicação dos tratamentos e instalação do experimento.

Tabela 3 - Caracterização química do remineralizador

pH H ₂ O	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SB	PST	RAS	P	COT	MO
	dS m ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹	%		g kg ⁻¹	mg g ⁻¹	%
7,4	0,41	1,13	15,94	4,07	3,85	24,98	15,40	1,32	1,34	0,99	4,11

3.5 COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

As doses dos resíduos agronômicos tiveram como resíduo padrão de referência o carbono orgânico (CO) do restolho de milho presente na Tabela 2 e o valor de 10 Mg ha⁻¹ do milho embasado no trabalho de LAL (2005). E a dose do remineralizador foi realizada com base nos trabalhos apresentados por Souza et al. (2010), Theodoro et al. (2013) e Carvalho et al. (2015) em que foi calculada a dose (Tabela 5) usada no experimento com base na dose de 8 Mg ha⁻¹ oriunda da média obtida através desses estudos.

Os resíduos agronômicos foram aplicados em dose única equivalente ao teor encontrado em 10 Mg ha⁻¹ de restolho de milho *in natura* (35,36% de CO, ver Tabela 2). Por relação de grandezas considerando 1 ha de Argissolo Vermelho-Amarelo, 0,20 m de profundidade e 1,14 g cm⁻³ de densidade aparente, foram calculadas as biomassas dos resíduos agronômicos incorporados em 1000 g de TFSA de Argissolo Vermelho-Amarelo contidos em vasos de 1L de capacidade.

Tabela 4 - Tratamentos com resíduos orgânicos, *in natura* e pós-cultivo, com e sem remineralizador.

Tratamentos	Resíduo orgânicos	Condição do resíduo	Remineralizador
T1	Bagaço de cana	<i>In natura</i>	Com remineralizador
T2	Bagaço de cana	<i>In natura</i>	Sem remineralizador
T3	Bagaço de cana	Pós-cultivo	Com remineralizador
T4	Bagaço de cana	Pós-cultivo	Sem remineralizador
T5	Restolho de milho	<i>In natura</i>	Com remineralizador
T6	Restolho de milho	<i>In natura</i>	Sem remineralizador
T7	Restolho de milho	Pós-cultivo	Com remineralizador
T8	Restolho de milho	Pós-cultivo	Sem remineralizador
T9	Folha de bananeira	<i>In natura</i>	Com remineralizador
T10	Folha de bananeira	<i>In natura</i>	Sem remineralizador
T11	Folha de bananeira	Pós-cultivo	Com remineralizador
T12	Folha de bananeira	Pós-cultivo	Sem remineralizador
T13 ¹	-	-	Com remineralizador

¹ = tratamento adicional ou controle (apenas solo com remineralizador).

Tabela 5 - Doses dos resíduos agronômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, e do remineralizador.

Resíduo	Condição do resíduo	Massa (g vaso ⁻¹)
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	3,99
	Pós-cultivo	4,17
Restolho de milho	<i>In natura</i>	4,45
	Pós-cultivo	4,83
Folha de bananeira	<i>In natura</i>	4,14

	Pós-cultivo	4,88
Remineralizador	-	3,51

In natura = resíduo agrônômico *in natura*; Pós-cultivo = resíduo pós-cultivo de cogumelos; Dose dos resíduos agrônômicos 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 Vermelho-Amarelo 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); Remineralizador referencial (Mg/ha) = 8,00.

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido por um período de 270 dias, nos meses de janeiro a outubro, realizado no delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial $3 \times 2 \times 2 + 1$, três resíduos (bagaço de cana-de-açúcar, folhas de bananeira e restolho de milho), duas condições dos resíduos orgânicos (*in natura* e pós-cultivo de cogumelo), duas condições do solo Argissolo Vermelho-Amarelo (com e sem aplicação de remineralizador), mais um tratamento controle (solo com remineralizador), com quatro repetições, totalizando 52 unidades experimentais. As unidades experimentais foram constituídas por sacolas contendo 1 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) de solo. As unidades experimentais foram mantidas em incubação a 80% da sua capacidade de campo durante 270 dias.

3.7 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em janeiro de 2022, quando as unidades experimentais (UE) receberam seus respectivos tratamentos, conforme as doses calculadas (Tabela 5). Durante 270 dias as UE ficaram incubadas e sendo mantidas irrigadas a 80% da capacidade de campo. O turno de rega foi feito de dois em dois dias, sempre pela manhã. O registro das condições ambientais da casa de vegetação foi realizado diariamente com auxílio de um termo-higrômetro, registrando-se $27,86 \pm 0,18^\circ\text{C}$ de temperatura atual, $19,26 \pm 0,11^\circ\text{C}$ de temperatura mínima, $49,10 \pm 0,05^\circ\text{C}$ de temperatura máxima e $65,32 \pm 0,65\%$ de umidade relativa durante 270 dias de incubação (Figura 2). Após esse período de incubação, em outubro de 2022, foi realizada a coleta das amostras do solo para a análise posterior.

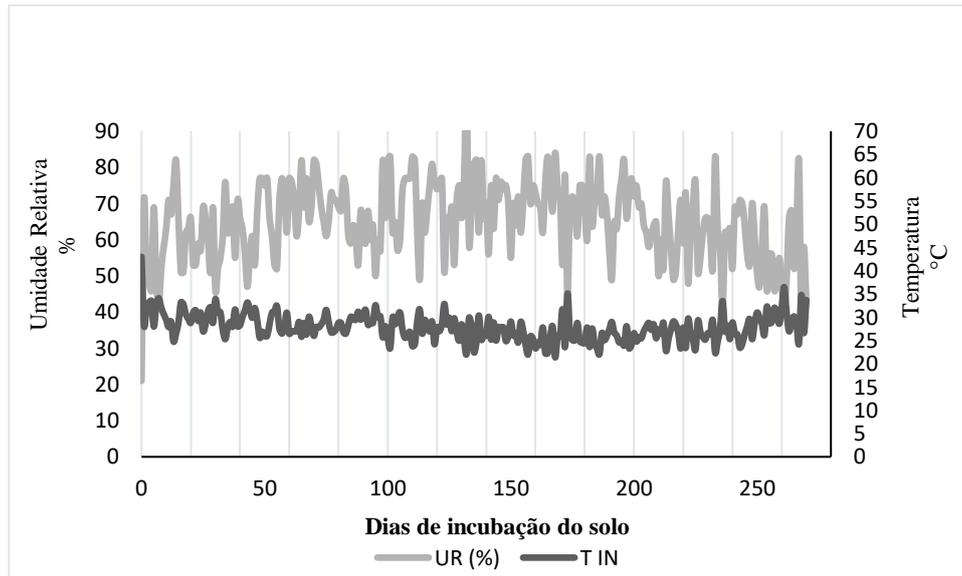


Figura 2 - Umidade relativa e temperatura durante o período experimental de 270 dias.

3.8 ANÁLISES QUÍMICAS E DA FERTILIDADE DO SOLO

Foram realizadas as análises dos atributos químicos do solo antes da instalação do experimento (caracterização, ver Tabela 1) e após a realização do experimento, para verificar as alterações que ocorreram durante o período de incubação. As amostras foram analisadas quanto as propriedades químicas (pH em H₂O, CE, COT, P disponível, MOS, Mg⁺², K⁺, Ca⁺², Na⁺, Al⁺³ e H+Al) e, posteriormente, foram calculadas a CTC a pH=7, saturação por bases (V%), razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio total (PST), conforme metodologias propostas por Teixeira et al. (2017). Todas as análises foram realizadas nos Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, Laboratório de Química Orgânica, Laboratório de Análises de Fibras, Laboratório de Microbiologia do Solo e Laboratório de Física do Solo, do Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFPB).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade da variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Barlett, respectivamente. Os dados aceitos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, foram realizados teste de médias de Scott-Knott ao 5% de significância ($p < 0,05$). Foi realizado o teste de Dunnett para fazer a comparação de cada tratamento a testemunha usada. As variáveis químicas e de fertilidade também foram submetidas a análises de componentes principais (ACP), a qual se trata de uma

técnica multivariada baseada na correlação ou matriz de covariância das variáveis e é utilizada para resumir a relação entre as variáveis (PAREYN et al., 2020). O critério para participação de uma variável em um determinado componente principal foi a presença de um autovetor $\geq \frac{0,5}{\sqrt{\text{autovalor}}}$, segundo Raghupathi et al. (2002). As análises foram realizadas com o auxílio do software R *version* 4.2.0 (R Team Core, 2020).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE QUÍMICA E DE FERTILIDADE

As interações trifatoriais dos fatores utilizados não apresentaram efeito significativo (Tabela 6). Os efeitos dos fatores isolados ou principais (resíduo, condição e cenário) e suas interações duplas sobre o pH em água e a condutividade elétrica (CE) do solo após 270 dias de incubação são apresentados na Tabela 6. Verificou-se que o pH em água apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) na interação do resíduo \times condição, e nos demais efeitos e interações não houve significância ($p > 0,05$). Como observado na Tabela 6, para a CE houve diferença significativa ($p < 0,05$) no fator isolado condição. Não houve diferença significativa no pH em água e CE para nenhum tratamento comparado à testemunha utilizada neste estudo, de acordo com o teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Tabela 6 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para o pH em água e condutividade elétrica do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos in natura e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias de incubação do solo.

Resíduo	Condição	Cenário	pH em água	CE (dS m ⁻¹) ¹
Bagaço de cana (BC)	<i>In natura</i>	com remineralizador	4,35 ^{ns}	0,601 ^{ns}
		sem remineralizador	4,42 ^{ns}	0,630 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	4,39 ^{ns}	0,755 ^{ns}
		sem remineralizador	4,43 ^{ns}	0,824 ^{ns}
Restolho de milho (RM)	<i>In natura</i>	com remineralizador	4,48 ^{ns}	0,696 ^{ns}
		sem remineralizador	4,36 ^{ns}	0,842 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	4,39 ^{ns}	0,822 ^{ns}
		sem remineralizador	4,45 ^{ns}	0,777 ^{ns}
Folha de bananeira (FB)	<i>In natura</i>	com remineralizador	4,41 ^{ns}	0,637 ^{ns}
		sem remineralizador	4,45 ^{ns}	0,678 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	4,23 ^{ns}	0,848 ^{ns}
		sem remineralizador	4,32 ^{ns}	0,703 ^{ns}
Testemunha			4,34	0,775
Resíduo			n.s	n.s
Condição			n.s	*
Cenário			n.s	n.s
Resíduo \times Condição			*	n.s
Resíduo \times Cenário			n.s	n.s
Condição \times Cenário			n.s	n.s
Resíduo \times Condição \times Cenário			n.s	n.s
CV (%)			2,32	6,39

Testemunha = solo com apenas incorporação de remineralizador; pH = potencial hidrogeniônico em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v; CE = condutividade elétrica em água na relação solo: água de 1:2,5 m/v. Valores

transformados para cumprir os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade $^1(x + 0,5)^{0,5}$. Média, $n = 4$. ns = não significativo pelo teste de Dunnett. n.s = não significativo pelo teste de média de Scott-Knott.

Houve diferença significativa no pH (H₂O) do solo na interação resíduo × condição (Figura 3A). Na condição pós-cultivo (SMS) os resíduos agrônômicos restolho de milho (RM) e bagaço de cana (BC) alcançaram pH (H₂O) 5 e 4,5%, respectivamente, maiores comparados à folha de bananeira (FB), enquanto na condição *in natura* (IN), não houve diferença entre os mesmos resíduos. O tratamento FB apresentou pH (H₂O) menor na condição pós-cultivo (pH=4,27), comparada à condição *in natura* (pH=4,43). Na Figura 3B, observando o efeito da Condição dos resíduos isoladamente, nota-se que a CE do solo foi significativamente menor (13%) na condição *in natura* comparada à condição pós-cultivo, independentemente do resíduo.

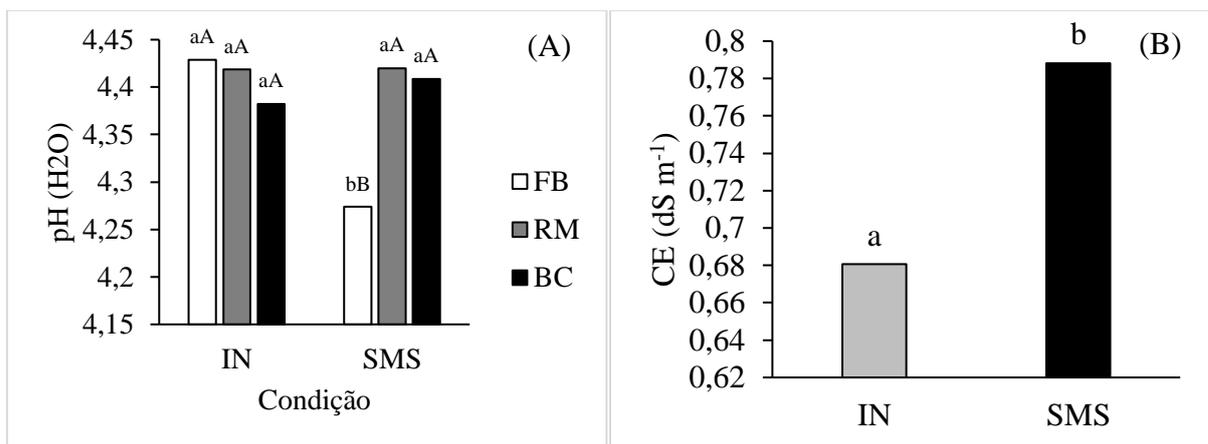


Figura 3. pH em H₂O (A) e CE (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos (folha de bananeira – FB; bagaço de cana - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (*In natura* - IN e Pós-cultivo – SMS). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre resíduos na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo resíduo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A). Média seguida da mesma letra minúscula não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B).

A Tabela 7 apresenta os efeitos dos fatores isolados (resíduo, condição e cenário) e suas interações sobre o cálcio trocável (Ca⁺²), magnésio trocável (Mg⁺²), potássio trocável (K⁺), sódio trocável (Na⁺), acidez trocável (Al⁺³) e acidez potencial (H+Al) do solo após 270 dias de incubação. Não houve diferença significativa para nenhuma variável com relação a interação trifatorial (Tabela 7). Para as variáveis Ca⁺² e Al⁺³ não houve efeito significativo. No Mg⁺² foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) na interação condição × cenário. O K⁺ apresentou efeito significativo ($p < 0,01$) nos fatores principais resíduo e condição e também na interação resíduo × condição ($p < 0,05$). Para o Na⁺ só houve efeito significativo ($p < 0,01$) no fator condição. A variável acidez potencial (H+ Al) mostrou significância ($p < 0,01$) no fator resíduo.

Tabela 7 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez trocável e acidez potencial do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agronômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.

Resíduo	Condição	Cenário	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
			cmol _c kg ⁻¹					
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	com remineralizador	0,65 ^{ns}	14,31 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,03 ^{ns}	25,59 ^{ns}
		sem remineralizador	1,14 ^{ns}	16,00 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,13 ^{ns}	26,20 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	1,03 ^{ns}	14,36 ^{ns}	0,16 [*]	0,46 ^{ns}	0,88 ^{ns}	24,66 ^{ns}
		sem remineralizador	0,98 ^{ns}	12,19 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,03 ^{ns}	25,83 ^{ns}
Restolho de milho	<i>In natura</i>	com remineralizador	0,87 ^{ns}	10,32 ^{ns}	0,20 [*]	0,37 ^{ns}	0,93 ^{ns}	23,97 ^{ns}
		sem remineralizador	0,65 ^{ns}	15,41 ^{ns}	0,27 [*]	0,43 ^{ns}	0,98 ^{ns}	24,26 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	1,00 ^{ns}	14,06 ^{ns}	0,20 [*]	0,54 ^{ns}	1,00 ^{ns}	26,15 ^{ns}
		sem remineralizador	0,87 ^{ns}	12,45 ^{ns}	0,17 [*]	0,43 ^{ns}	1,00 ^{ns}	24,17 ^{ns}
Folha de bananeira	<i>In natura</i>	com remineralizador	1,03 ^{ns}	13,36 ^{ns}	0,18 [*]	0,38 ^{ns}	0,98 ^{ns}	25,83 ^{ns}
		sem remineralizador	1,14 ^{ns}	15,65 ^{ns}	0,18 [*]	0,39 ^{ns}	1,05 ^{ns}	25,71 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	0,84 ^{ns}	12,55 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,10 ^{ns}	27,97 ^{ns}
		sem remineralizador	0,95 ^{ns}	12,02 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,96 ^{ns}	25,95 ^{ns}
Testemunha			0,98	12,94	0,11	0,45	1,03	26,20
Resíduo			n.s	n.s	**	n.s	n.s	**
Condição			n.s	n.s	*	**	n.s	n.s
Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Resíduo × Condição			n.s	n.s	**	n.s	n.s	n.s
Resíduo × Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Condição × Cenário			n.s	**	n.s	n.s	n.s	n.s
Resíduo × Condição × Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
CV (%)			9,64	8,95	2,82	4,33	12,08	4,94

Testemunha = solo com apenas incorporação de remineralizador; Ca⁺² = cálcio trocável, Mg⁺² = magnésio trocável, K⁺ = potássio trocável, Na⁺ = sódio trocável, Al⁺³ = acidez trocável e H+Al = acidez potencial. Ca⁺², Mg⁺², K⁺ e Na⁺ = valores transformados para cumprir os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade ($x + 0,5$)^{0,5}. Média, $n = 4$. ns = não significativo pelo teste de Dunnett. n.s = não significativo pelo teste de média de Scott-Knott.

Considerando o efeito da interação condição \times cenário, observa-se que os teores de magnésio foram, aproximadamente, 24% maiores na condição *in natura* no cenário sem remineralizador ($Mg^{+2} = 15,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) comparada ao cenário com remineralizador ($Mg^{+2} = 12,66 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), não havendo diferença na condição pós-cultivo de cogumelo (Figura 4A). O cenário sem remineralizador alcançou teor de Mg^{+2} 12% maior na condição *in natura* ($Mg^{+2}=13,68 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) comparado à condição pós-cultivo de cogumelo ($Mg^{+2}=12,22 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na Figura 4B observa-se que o efeito do fator condição, analisado isoladamente sobre o Na^+ , demonstrou aumento em 18% no seu teor na condição pós-cultivo de cogumelo, comparado à condição *in natura* ($Na^+=0,40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), independente do resíduo orgânico utilizado.

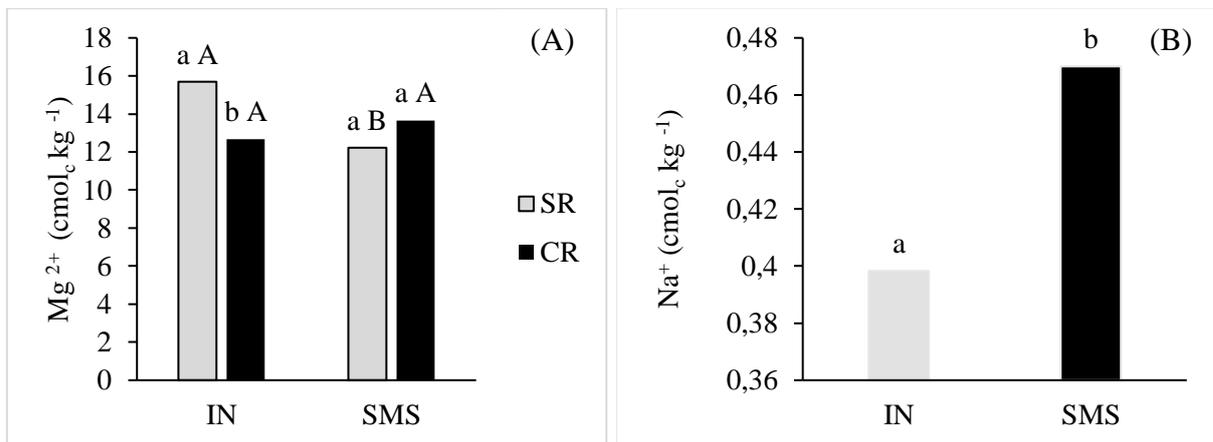


Figura 4. Magnésio (A) e sódio (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos em duas condições (*in natura* - IN e pós-cultivo de cogumelo - SMS) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR – sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas da mesma letra minúscula não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B).

Observa-se que, considerando a interação entre os fatores resíduo \times condição, o valor de K^+ foi significativamente maior para o tratamento RM na condição *in natura* ($K^+=0,235 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), enquanto o BC foi o menor comparado aos demais tratamentos (Figura 5A). Na condição pós-cultivo de cogumelo, os tratamentos não diferiram entre si. Os resíduos RM e FB obtiveram valores de K^+ 27% e 35%, respectivamente, maiores na condição *in natura*, comparados à condição pós-cultivo de cogumelo. Em relação à acidez potencial, observando o efeito do fator resíduo agrônômico isoladamente, constatou-se que o tratamento RM obteve o menor valor ($H^+ + Al^{+3} = 24,64 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) comparado aos demais tratamentos (Figura 5B).

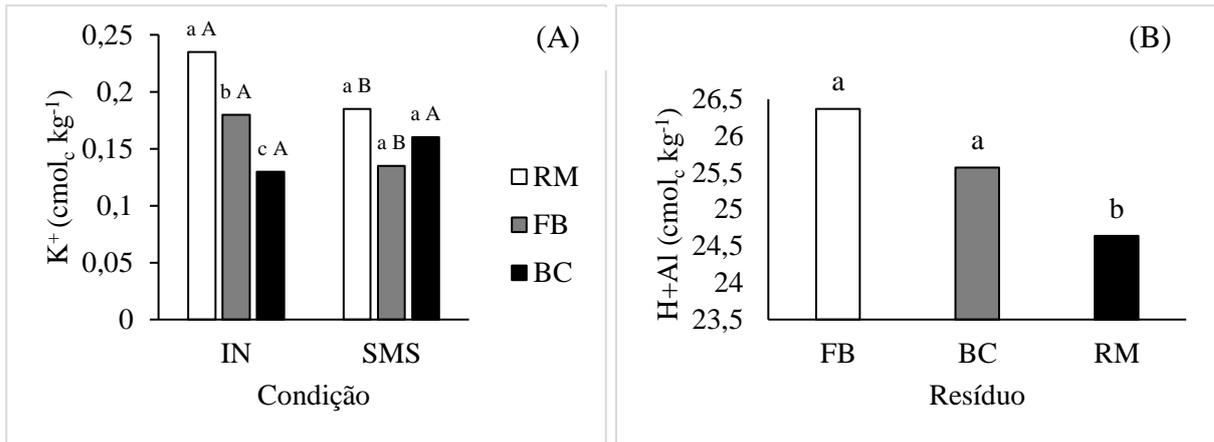


Figura 5. Potássio trocável (A) e acidez potencial (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos (Folha de bananeira – FB; cana de açúcar - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (In natura - IN e Pós-cultivo de cogumelo – SMS). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre substratos na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo substrato, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas das mesmas letras minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B).

Com base no teste estatístico de Dunnett, observou-se (Tabela 7) que a variável K^+ apresentou diferença significativa em relação a testemunha nos tratamentos que continham o restolho de milho em ambas condições e cenários, a folha de bananeira na condição *in natura* e em ambos os cenários e o bagaço de cana na condição pós-cultivo e com remineralizador. Todos esses tratamentos, anteriormente citados, apresentaram valores de K^+ maiores que o apresentado pela testemunha ($K^+ = 0,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), no entanto, o tratamento com o restolho de milho *in natura* e sem remineralizador teve aumento expressivo de 145% em relação a testemunha.

Os efeitos dos fatores isolados (resíduo, condição e cenário) e suas interações sobre o carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MOS) e fósforo disponível (P) do solo após 270 dias de incubação são apresentados na Tabela 8. Para a COT houve efeito significativo ($p < 0,01$) apenas no fator cenário. Com relação a MOS observou-se significância ($p < 0,05$) na interação resíduo \times cenário. Para o P houve significância nos fatores principais (ou isolados) resíduo ($p < 0,05$) e cenário ($p < 0,01$).

Tabela 8 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para carbono orgânico total, matéria orgânica do solo e fósforo disponível do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.

Resíduo	Condição	Cenário	COT	MOS	P
			(g kg ⁻¹)	dag kg ⁻¹	(mg kg ⁻¹)
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	com remineralizador	29,41 ^{ns}	11,53 ^{ns}	16,60 ^{ns}
		sem remineralizador	28,78 ^{ns}	10,54 ^{ns}	10,96 [*]
	Pós-cultivo	com remineralizador	30,28 ^{ns}	11,94 ^{ns}	15,36 ^{ns}
		sem remineralizador	28,17 ^{ns}	11,04 ^{ns}	12,42 ^{ns}
Restolho de milho	<i>In natura</i>	com remineralizador	29,78 ^{ns}	11,78 ^{ns}	20,22 ^{ns}
		sem remineralizador	29,02 ^{ns}	12,04 ^{ns}	16,38 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	29,33 ^{ns}	11,05 ^{ns}	23,07 ^{ns}
		sem remineralizador	29,13 ^{ns}	11,72 ^{ns}	14,92 ^{ns}
Folha de bananeira	<i>In natura</i>	com remineralizador	30,29 ^{ns}	11,75 ^{ns}	17,99 ^{ns}
		sem remineralizador	28,14 ^{ns}	11,17 ^{ns}	12,92 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	31,61 [*]	12,05 ^{ns}	14,42 ^{ns}
		sem remineralizador	28,60 ^{ns}	11,11 ^{ns}	13,27 ^{ns}
Testemunha			28,23	10,82	21,86
Resíduo			n.s	n.s	*
Condição			n.s	n.s	n.s
Cenário			**	n.s	**
Resíduo × Condição			n.s	n.s	n.s
Resíduo × Cenário			n.s	*	n.s
Condição × Cenário			n.s	n.s	n.s
Resíduo × Condição × Cenário			n.s	n.s	n.s
CV (%)			5,42	6,24	14,65

Testemunha = solo com apenas incorporação de remineralizador; COT = carbono orgânico total do solo; MOS = matéria orgânica do solo; P = fósforo disponível; P = valores transformados para cumprir os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade $(x + 0,5)^{0,5}$. Média, $n = 4$. ns = não significativo pelo teste de Dunnett. n.s = não significativo pelo teste de média de Scott-Knott.

O carbono orgânico total (Figura 6A), considerando o fator cenário isoladamente, obteve valores significativamente maiores para o cenário com remineralizador (COT= 30,12 g kg⁻¹), o que representou 5,1% a mais comparado ao cenário sem remineralizador (COT= 28,64 g kg⁻¹). A Figura 6B mostra que a matéria orgânica do solo (MOS) diferiu significativamente entre resíduos considerando o cenário sem remineralizador, sendo o RM (MOS= 11,88 dag kg⁻¹) com os maiores teores de MOS comparado aos tratamentos FB (MOS= 11,14 dag kg⁻¹) e BC (MOS= 10,79 dag kg⁻¹). No cenário com o remineralizador não houve diferença entre os resíduos. Os tratamentos FB e BC foram 6,8 e 8,7%, respectivamente, maiores no cenário com a presença do remineralizador em comparação ao cenário sem sua presença.

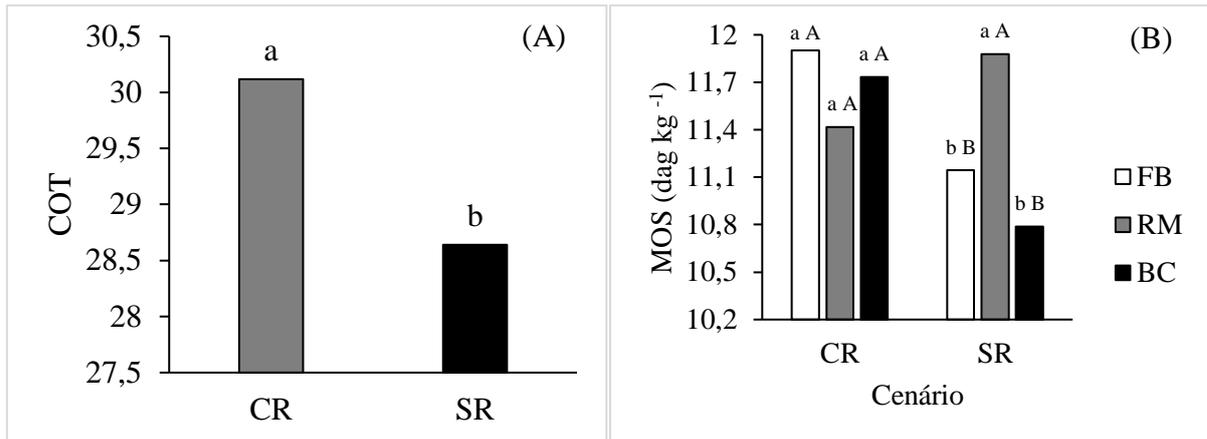


Figura 6. COT (A) e MOS (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos (Folha de bananeira – FB; cana de açúcar - BC; restolho de milho – RM), em duas condições (In natura - IN e Pós-cultivo de cogumelo – SMS) e dois cenários (Com remineralizador - CR e Sem remineralizador - SR). Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (A) e médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre substratos no mesmo cenário, maiúscula entre cenários no mesmo substrato, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$) (B).

O fósforo disponível (Figura 7A) comparado isoladamente no fator “resíduo agrônômico” foi significativamente maior no tratamento RM ($P = 18,65 \text{ mg kg}^{-1}$) comparado aos demais, representando 15,7% a mais em relação ao resíduo com menor teor (BC). Considerando o fator cenário isoladamente, o P demonstrou maior valor médio no cenário com remineralizador ($P = 17,94 \text{ mg kg}^{-1}$) em comparação ao cenário sem ($P = 13,48 \text{ mg kg}^{-1}$), representando uma diferença de 14% (Figura 7B).

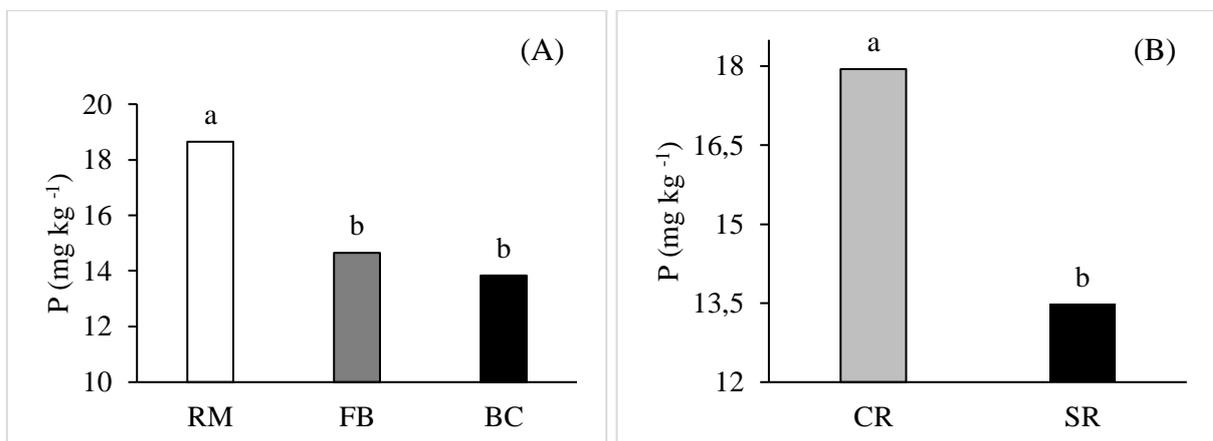


Figura 7. Fósforo disponível de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos (folha de bananeira – FB; bagaço de cana-de-açúcar – BC; restolho de milho – RM) (A) em dois cenários (Com Remineralizador - CR e Sem Remineralizador - SR) (B). Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).

Foi possível observar também, na Tabela 8, que as variáveis COT e o P apresentaram resultados significativos para o teste de Dunnett. O COT mostrou que o tratamento com folha de bananeira na condição pós-cultivo e com remineralizador obteve um aumento de 12% em

relação a testemunha (COT= 28,23 g kg⁻¹). Com relação a variável P, o efeito significativo se deu no tratamento com bagaço de cana na condição *in natura* e sem remineralizador, que resultou na diminuição de cerca de 50% do teor de P disponível em relação a testemunha (P= 21,86 mg kg⁻¹).

A Tabela 9 apresenta os efeitos dos fatores isolados (resíduo, condição e cenário) e suas interações sobre a capacidade de troca catiônica potencial (CTC), porcentagem de saturação por alumínio (m), porcentagem de saturação por base (V), porcentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo após 270 dias de incubação. Com relação a CTC observa-se que houve significância ($p < 0,01$) na interação condição × cenário. A saturação por alumínio não apresentou efeito significativo. Na V% houve efeito significativo ($p < 0,05$) no fator condição e na interação condição × cenário. As variáveis PST e RAS apresentaram significância apenas no fator condição ($p < 0,01$).

Não houve diferença significativa no CTC, m, V, PST e RAS para nenhum tratamento comparado à testemunha utilizada neste estudo, de acordo com o teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Observando a interação entre os fatores condição × cenário, nota-se que a CTC potencial apresentou aumento de 8,7% nos valores do cenário sem remineralizador na condição IN, enquanto na condição pós-cultivo de cogumelo o cenário com remineralizador (CTC= 41,55 cmol_c kg⁻¹) obteve valor 6% maior em comparação ao cenário sem (CTC= 39,06 cmol_c kg⁻¹) (Figura 8). Observa-se também que o cenário sem remineralizador foi 8% menor na condição pós-cultivo de cogumelo (CTC= 39,06 cmol_c kg⁻¹) em relação à condição *in natura* (CTC= 42,65 cmol_c kg⁻¹).

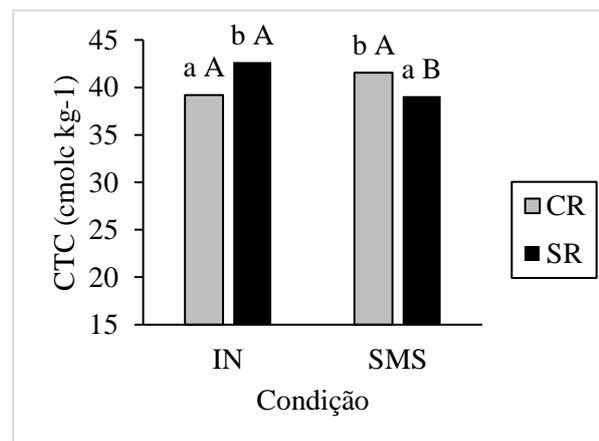


Figura 8. CTC potencial (T) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos em duas condições (*in natura* - IN e pós-cultivo de cogumelo - SMS) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR –

sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).

Observa-se que para a saturação por bases (V), o cenário sem remineralizador alcançou valor 12% maior em relação ao cenário com remineralizador na condição *in natura* (IN), enquanto na condição pós-cultivo de cogumelo (SMS) não houve diferença entre os cenários (Figura 8). Observa-se ainda que o tratamento sem remineralizador alcançou valor 15% maior na condição IN ($V = 40,23\%$) comparada à condição SMS ($V = 34,80\%$).

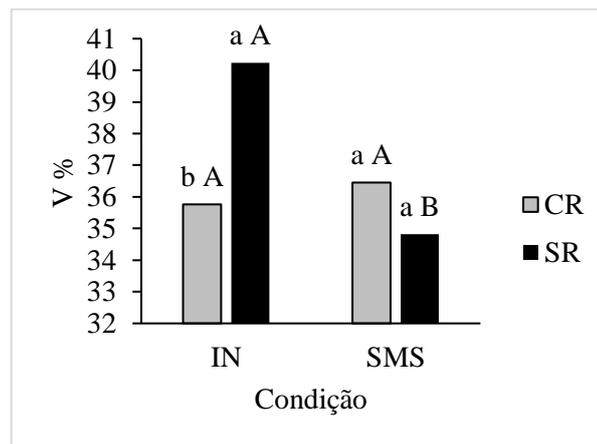


Figura 9. Saturação por base (V) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos em duas condições (*in natura* e pós-cultivo de cogumelo) e dois cenários (CR – com remineralizador e SR – sem remineralizador). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula entre cenários na mesma condição, maiúscula entre condições no mesmo cenário, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).

Tabela 9 - Médias dos tratamentos e resumo das análises de variância para capacidade de troca catiônica potencial, saturação por alumínio e por base, porcentagem de sódio total e razão de adsorção de sódio do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.

Resíduo	Condição	Cenário	CTC	M	V	PST	RAS
			cmol _c kg ⁻¹	%			
Bagaço de cana	<i>In natura</i>	com remineralizador	41,11 ^{ns}	6,30 ^{ns}	37,66 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}
		sem remineralizador	43,86 ^{ns}	6,12 ^{ns}	40,05 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,14 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	40,67 ^{ns}	5,47 ^{ns}	38,81 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,17 ^{ns}
		sem remineralizador	39,61 ^{ns}	7,05 ^{ns}	34,73 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Restolho de milho	<i>In natura</i>	com remineralizador	35,74 ^{ns}	7,32 ^{ns}	32,96 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,16 ^{ns}
		sem remineralizador	41,03 ^{ns}	5,65 ^{ns}	40,68 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	41,96 ^{ns}	6,11 ^{ns}	37,23 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,20 ^{ns}
		sem remineralizador	38,09 ^{ns}	6,96 ^{ns}	35,95 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Folha de bananeira	<i>In natura</i>	com remineralizador	40,78 ^{ns}	6,18 ^{ns}	36,66 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,14 ^{ns}
		sem remineralizador	43,07 ^{ns}	5,95 ^{ns}	39,96 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,14 ^{ns}
	Pós-cultivo	com remineralizador	42,02 ^{ns}	7,56 ^{ns}	33,31 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,20 ^{ns}
		sem remineralizador	39,48 ^{ns}	7,05 ^{ns}	33,79 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Testemunha			40,67	6,79	35,51	1,10	0,17
Resíduo			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Condição			n.s	n.s	*	**	**
Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Resíduo × Condição			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Resíduo × Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Condição × Cenário			**	n.s	*	n.s	n.s
Resíduo × Condição × Cenário			n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
CV (%)			6,90	18,93	10,96	6,58	2,73

Testemunha = solo com apenas incorporação de remineralizador; CTC = capacidade de troca catiônica potencial; m = porcentagem de saturação por alumínio; V = porcentagem de saturação por base; PST = porcentagem de sódio trocável; RAS = razão de adsorção de sódio. PST e RAS = valores transformados para cumprir os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade $(x + 0,5)^{0,5}$. Média, $n = 4$. ns = não significativo pelo teste de Dunnett. n.s = não significativo pelo teste de média de Scott-Knott.

A porcentagem de sódio trocável, analisando o fator condição isoladamente, obteve valores significativamente maiores na condição *in natura* (PST= 1,29%) em relação à condição pós-cultivo de cogumelo (PST= 1,21%) (Figura 10A). O RAS, considerando o fator condição isoladamente, demonstrou valores aproximadamente 24% maiores na condição pós-cultivo de cogumelo (RAS= 0,18) comparada à condição *in natura* (RAS= 0,14) (Figura 10B).

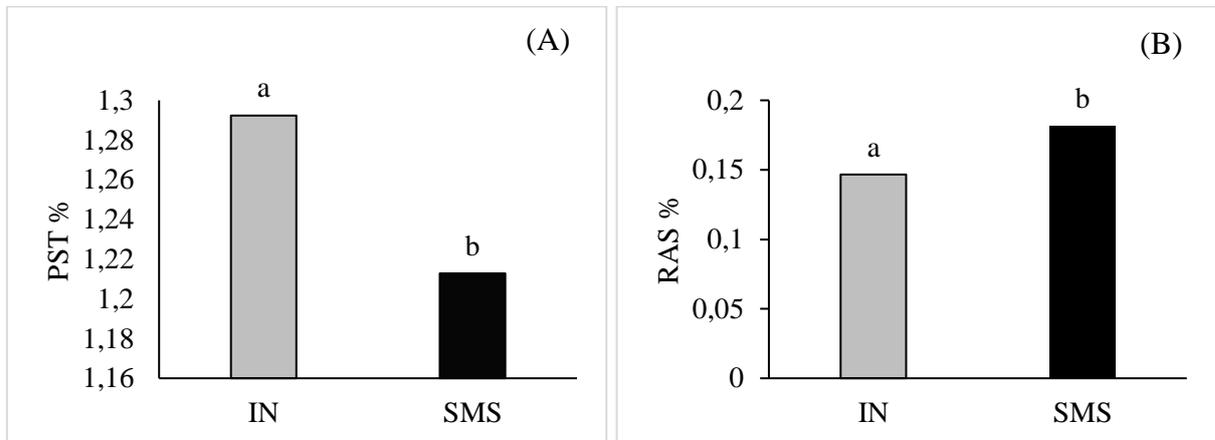


Figura 10. Porcentagem de sódio trocável – PST (A) e Razão de Adsorção de Sódio – RAS (B) de Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos em duas condições (*in natura* e pós-cultivo de cogumelo). Média seguida da mesma letra não difere entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \geq 0,05$).

4.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais (ACP), aplicada na matriz de correlações das variáveis químicas e de fertilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias mostrou que dois componentes principais (CPs) explicaram 55,62% da variância total, sendo 33,36% na CP₁ e 22,26% na CP₂ (Tabela 10). No CP₁ as variáveis selecionadas com base no critério de Raghupathi et al. (2002) foram, pH em água, CE, COT, MOS, P, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, SB, Al⁺³, CTC, m, V, PST e RAS, já no CP₂, todo o grupo de variáveis também se mostraram importantes, com exceção do COT, P, Ca⁺², m e V.

Tabela 10 - Autovalores e autovetores dos componentes principais.

Componente principal		
	Componente 1	Componente 2
Autovalor (λ)	5,67	3,78
Variância explicada (%)	33,36	22,26
Variância acumulada (%)	33,36	55,62
Variáveis	Autovalores	
	Componente 1	Componente 2
pH em água	-0,38*	-0,70*
CE	0,57*	0,34*
COT	0,39*	0,13
MOS	0,32*	-0,29*
P	0,40*	-0,15
Ca ⁺²	-0,35*	-0,03
Mg ⁺²	-0,84*	0,42*
Na ⁺	0,51*	0,71*
K ⁺	-0,08	-0,36*
SB	-0,84*	0,44*
Al ⁺³	-0,24*	0,64*
H+Al	0,13	0,83*
CTC	-0,60*	0,78*
M	0,73*	-0,04
V	-0,86*	0,15
PST	0,76*	0,36*
RAS	0,82*	0,44*

Obs.: em (*) as variáveis consideradas de acordo com Raghupathi et al. (2002).

Potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MOS), fósforo (P), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), soma de bases (SB), alumínio (Al⁺³), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V), porcentagem de sódio total (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS).

A Figura 11 foi obtida por meio da ACP, formando um gráfico de dispersão que representa os componentes principais 1 e 2, sendo composta pela nuvem de variáveis (indicadores), sobreposta pela distribuição dos tratamentos. Observa-se que as variáveis V, CTC, SB e Mg⁺², estão correlacionadas positivamente e na região do gráfico onde estão os tratamentos BCinSR (bagaço de cana *in natura* sem remineralizador) e FBinSR (folha de bananeira *in natura* e sem remineralizador), sendo essas variáveis positivas para a fertilidade do solo. No lado oposto do gráfico estão as variáveis MOS, m e P, as quais estão mais correlacionadas ao tratamento RMinCR (restolho de milho *in natura* com remineralizador).

As variáveis, H+Al, Na⁺, RAS, PST, CE e COT, posicionaram-se correlacionadas positivamente entre si e próximas dos tratamentos FBssCR (folha de bananeira pós-cultivo de cogumelo com remineralizador) e RMssCR (restolho de milho pós-cultivo de cogumelo) e negativamente as variáveis pH em água e K⁺. Os tratamentos BCinCR, BCssCR, RMinSR,

FBinCR, FBssSR, BCssSR e o controle (testemunha) não demonstraram estar associadas a nenhuma variável analisada (Figura 10).

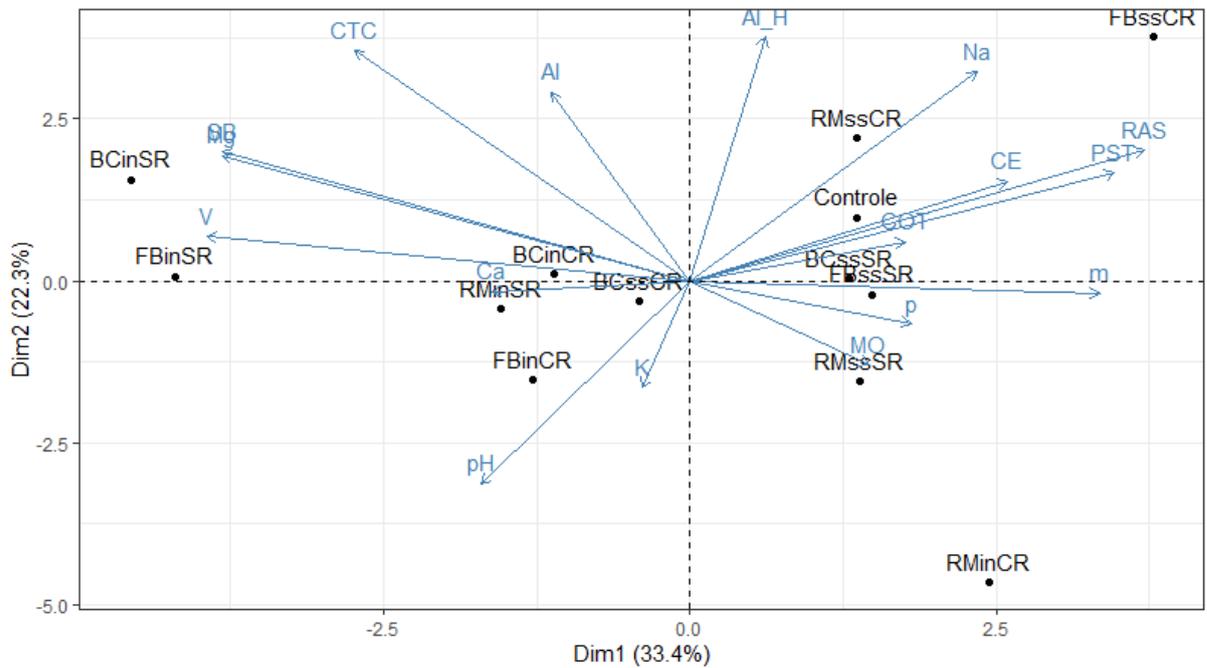


Figura 11 – Análise de componentes principais das variáveis químicas e de fertilidade em Argissolo Vermelho-Amarelo incorporado com resíduos agrônômicos *in natura* e pós-cultivo de cogumelos, com e sem incorporação de remineralizador, durante 270 dias.

5 DISCUSSÃO

O pH em água do solo controla os processos que ocorrem no solo, como a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Na mensuração do pH (H₂O) foi observado aumento no pH do solo, principalmente, com a incorporação dos resíduos RM (restolho de milho) e BC (bagaço de cana). Isso sugere que houve a decomposição de ácidos orgânicos provenientes dos resíduos agronômicos inseridos no solo, decorrente da complexação dos H⁺ e Al⁺³ livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos (PAVINATO e ROSOLEM, 2008). Porém, o aumento do pH pode estar associado à neutralização da atividade de H⁺ ocasionada pela liberação de cátions trocáveis (LANDELL et al., 2018). No entanto, o pH ainda ficou abaixo da faixa de 6,0 e 6,5 indicada de maior disponibilidade de nutrientes.

Chintala et al. (2014), analisando as propriedades químicas de um Argissolo, aplicou doses de biocarvão de palha de milho, biocarvão de switchgrass (capim) e cal, em quatro doses (0; 52; 104 e 156 Mg ha⁻¹), deixando incubado no solo por um período de 165 dias, constatando uma elevação significativa do pH do solo com o tratamento com o biocarvão de palha de milho em todas as taxas de aplicação. Desse modo, o biocarvão de palha de milho, devido sua maior concentração e liberação de cátions básicos, obteve uma maior capacidade de neutralização de prótons (H⁺) no solo.

A salinidade do solo é medida através da condutividade elétrica (CE) e valores de CE > 2 dS m⁻¹ pode prejudicar o rendimento das culturas, influenciando o desenvolvimento da maioria das plantas (ABUELGASIM e AMMAD, 2019). Os resultados mostraram que a aplicação dos resíduos agronômicos foi abaixo desse limite prejudicial. No que tange o efeito das condições dos resíduos de forma isolada, a condição *in natura* diminuiu, aproximadamente, 13% comparada a condição SMS, independentemente do resíduo utilizado. Essa diferença se justifica pela característica química dos resíduos obtidos nas diferentes condições, podendo ser observado na Tabela 2, valores menores para a condição *in natura*.

Resultados semelhantes foram obtidos por Paredes et al. (2016), ao avaliar a condutividade elétrica de um solo franco-argiloso em um experimento utilizando quatro tratamentos, sendo dois tipos de resíduos pós-cultivo de cogumelos (SMS), um de *Agaricus bisporus* e outro de uma mistura de SMS de *A. bisporus* e de *Pleurotus*, uma adubação mineral e uma testemunha. Constatando que houve diminuição da CE após a incorporação desses resíduos, devido à absorção de nutrientes pela cultura.

No que tange as bases trocáveis (Ca⁺², Mg⁺², K⁺ e Na⁺) foi observado um aumento expressivo nos teores de Ca⁺², K⁺ e Na⁺ em relação as características apresentadas no solo de

origem (sem tratamento, ver Tabela 1). Isso pode ter ocorrido em função da incorporação do remineralizador que continha teores consideráveis de bases trocáveis em sua composição (Tabela 3). No entanto, o mesmo não ocorreu com o Mg^{+2} . Estudo realizado por Ribeiro et al. (2010) também não obteve aumento no teor de Mg^{+2} após aplicação de materiais rochosos, o que implica dizer que o remineralizador pode ou não apresentar efeito significativo no solo a depender de sua natureza química.

Em um experimento realizado por Basak et al. (2021), utilizando palha de leguminosa, esterco de vaca e pó de rocha mineral, incubados em laboratório, por um período de 90 dias, constatou que o tratamento com os materiais orgânicos contribuiu com a biodisponibilidade de K do pó de rocha durante a incubação, por meio da solubilização dos ácidos orgânicos oriundos da decomposição do material orgânico.

É provável que o período de incubação do solo não tenha sido suficiente para solubilizar completamente todos os nutrientes presentes no remineralizador no presente estudo. Nesta perspectiva, de acordo com Swoboda et al. (2022), os remineralizadores apresentam uma lenta liberação de nutrientes e os efeitos como corretivo do solo são notáveis de médio a longo prazo. De modo geral, os resultados apresentaram respostas significativas, pois os teores de bases do solo aumentaram expressivamente em relação ao solo de origem (sem tratamento, ver Tabela 1), possibilitando uma maior disponibilidade desses nutrientes para as plantas, com exceção do Mg^{+2} .

O carbono orgânico total (COT) é uma fonte de energia para os microrganismos e um excelente indicador da qualidade do solo. Nesta pesquisa, foi verificado um aumento no teor de COT no cenário com a incorporação de remineralizador, esse desempenho, possivelmente, ocorreu em virtude da interação do remineralizador com os resíduos agrônômicos, independente da condição, que contém teores expressivos de COT (Tabelas 2 e 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Carpio et al. (2023) ao avaliar as alterações dos parâmetros físico-químicos de dois solos diferentes com tratamentos com resíduos de pós-cultivo de cogumelo (SMS) e pó de rocha, ao longo de dois anos. Os autores verificaram que o teor de COT nos solos corrigidos com SMS e pó de rocha foram maiores em relação aos solos não corrigidos, em decorrência do teor de COT encontrado nos resíduos aplicados.

A matéria orgânica (MOS) é importante para o solo por contribuir com os seus aspectos biofísicos, melhorando a estrutura do solo promovendo a infiltração e retenção de água, aumento da microbiota e disponibilização de nutrientes (CARPIO et al., 2023; PAREDES et al., 2016). A elevação do teor de MOS com a presença do remineralizador, associado aos

resíduos de maneira geral, pode ser justificado pela interação ocorrida entre esses recursos agronômicos adicionados ao solo. Resultados similares foram constatados nos estudos de Carpio et al. (2023) após incorporação tanto de SMS como remineralizador em dois tipos de solos, um franco-siltoso e outro franco-arenoso. Paredes et al. (2016), também percebeu aumento no teor de MOS após a incorporação de SMS em um solo franco-argiloso.

O fósforo é um macronutriente fundamental para o crescimento das plantas, por isso é um dos principais elementos comercializados em fertilizantes. Com relação ao P disponível, neste trabalho, foi verificado maior teor do P nos tratamentos com incorporação de remineralizador ($P = 17,94 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação aos tratamentos sem incorporação ($P = 13,48 \text{ mg kg}^{-1}$). No entanto, por outro lado, houve diminuição no teor de P disponível em relação a testemunha ($P = 21,86 \text{ mg kg}^{-1}$). Isso se justifica pela alta capacidade de fixação de P em solos com alto grau de intemperização, como os Argissolos, cujo P fica retido na fase sólida/mineral do solo, conseqüentemente, ficando indisponível para as plantas e microrganismos. Os resultados são similares aos encontrados por Jacobson e Bustamante (2019) que verificaram que os teores de P não aumentaram em virtude da alta fixação de P que ocorre em latossolos. Theodoro et al. (2021) também apresenta a hipótese de que o macronutriente P não teve seu teor aumentado pela provável captura de átomos de P na estrutura de argilas cauliníticas em latossolos.

Em solos tropicais altamente intemperizados, os tipos de argilas dominantes são do tipo 1:1, predominantemente caulinita e óxidos de ferro e alumínio, que são coloides de carga variável, ou seja, dependente de pH. Isto pode justificar o fato de que a CTC do solo foi significativamente maior no tratamento sem remineralizador na condição IN ($CTC = 42,65 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), uma vez que, os valores médios de pH sem remineralizador foram predominantemente maiores, conforme pode ser observado na Tabela 6. Já na condição SMS, com a maior liberação dos ácidos orgânicos, a presença do remineralizador resultou em CTC maior ($CTC = 41,55 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), comparada à condição sem remineralizador ($CTC = 39,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Analisando a aplicação de biocarvão e pó de rocha em três tipos de solo (Latosolo, Argissolo e Neossolo), Chaves e Mendes (2016), observaram diminuição da CTC após 100 dias de incubação em todos os solos. Considerando que a CTC potencial se refere à soma dos cátions trocáveis com a acidez potencial a pH 7,0, este resultado foi atribuído ao aumento na acidez potencial causado pelos tratamentos, em maior proporção do que a liberação de cátions trocáveis.

Para o V% houve comportamento semelhante ao da CTC, com os resíduos na condição IN sem o remineralizador (V= 40,23%), obtendo maiores valores em relação ao cenário com remineralizador (V= 35,76%) e comparado à condição SMS. Essa superioridade nos valores de saturação por bases se justifica, provavelmente, devido os maiores teores de carbono orgânico desses materiais na condição *in natura* comparado à condição SMS, como observa-se na Tabela 2. Esses resultados estão opostos aos encontrados por Collela et al. (2019), possivelmente devido as diferenças no tempo de avaliação e natureza dos resíduos entre os estudos.

Nos parâmetros PST e RAS, ambos levando em consideração o fator condição, demonstraram resultados diferentes. Para o PST, os resíduos na condição IN obtiveram valores estatisticamente maiores comparados a condição SMS, no entanto, o maior valor foi de 1,3%, não apresentando risco de sodificação, o qual de acordo com a FAO (2000), seria acima de 15%. Na RAS, apesar dos maiores valores serem obtidos na condição SMS (0,18%) também não representam risco algum de dano aos solos, uma vez que somente valores acima de 13 é que tem potencial efeito negativo no solo (Pereira, 1998).

A ACP demonstrou que os tratamentos BCinSR e FBinSR são os mais indicados para uso como substrato, devido estarem mais correlacionados com as variáveis de fertilidade do solo, porém, para melhores resultados, é recomendado utilizar alguma fonte de MOS e P. Chintala et al. (2014) em seu estudo comparando a aplicação de resíduos agronômicos, também verificou um aumento no teor das variáveis relacionadas com a fertilidade do solo, como a CTC e constatou que o aumento pode ter ocorrido pela concentração de cátions de base dos resíduos. O tratamento RMssCR apresentou mais relação com as variáveis de salinidade, como a CE, H+Al e Na⁺, sendo esse tratamento não recomendado para uso, devido seu potencial de elevação da salinidade. Resultados semelhantes foram obtidos no trabalho de Kabirinejad et al. (2014) onde foi observado que a aplicação dos resíduos agronômicos ao solo aumentou a salinidade da solução do solo, devido a decomposição dos resíduos que pode promover o aumento da liberação de íons na solução do solo.

Comparando os tratamentos com as variáveis MOS e P, a maior correlação foi mostrada nos tratamentos RMssSR e RMinCR, provavelmente em decorrência da decomposição do resíduo de milho utilizado e, também, pelo fato desse resíduo ser rico em nutrientes. Coulibaly et al. (2020), em seu estudo sobre liberação de nutrientes advindos de resíduos culturais incorporados no solo, também mostrou que houve aumento no teor de P disponível após a incorporação de resíduos de milho, sorgo, palha de arroz e milheto.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de resíduos agronômicos nas condições *in natura* e pós-cultivo de cogumelos (SMS) aumentaram a fertilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo, nas variáveis carbono orgânico total, matéria orgânica do solo, capacidade de troca catiônica e pH em água, embora o pH não tenha alcançado a faixa ideal de disponibilidade de nutrientes

A presença do remineralizador, associado aos resíduos aumentou os teores de P disponível, porém sem aumento em relação ao solo de origem.

A análise de componentes principais mostrou que os tratamentos bagaço de cana-de-açúcar e folha de bananeira, ambos na condição *in natura* e sem incorporação de remineralizador foram os mais correlacionados com as variáveis da CTC, SB e V%, porém, para uso, recomenda-se adicionar fontes complementares de matéria orgânica e P.

REFERÊNCIAS

- ABUELGASIM, A.; AMMAD, R. Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 415-425, 2019.
- AGHUPATHI, H.B.; REDDY, B.M.C.; SRINIVAS, K. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in banana. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33 (13&14), 2131–2143, 2002.
- ALFAIA, R. G. S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, Juacyara Carbonelli. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 2017.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., DE MORAES GONÇALVES, J.L., SPAROVEK, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22, 711-728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AZEVEDO, A. R.G.; AMIN, M.; HADZIMA-NYARKO, M.; AGWA, I. S.; ZEYAD, A. M.; TAYEH, B. A.; ADESINA, A. Possibilities for the application of agro-industrial wastes in cementitious materials: A brief review of the Brazilian perspective. **Cleaner Materials**, v. 3, p. 100040, 2022.
- BASAK, B. B.; SARKAR, B.; NAIDU, R. Environmentally safe release of plant available potassium and micronutrients from organically amended rock mineral powder. **Environmental geochemistry and health**, v. 43, p. 3273-3286, 2021.
- CARMO, F. F.; LANCHOTTI, A. O.; KAMINO, L. H. Y. Mining waste challenges: environmental risks of gigatons of mud, dust and sediment in megadiverse regions in Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8466, 2020.
- CARPIO, M. J.; ANDRADES, M. S.; HERRERO-HERNÁNDEZ, E.; MARÍN-BENITO, J. M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Changes in vineyard soil parameters after repeated application of organic-inorganic amendments based on spent mushroom substrate. **Environmental research**, v. 221, p. 115339, 2023.
- CARVALHO, A. M. X.; DELIBERALI, D. C.; COSTA, M. D.; CARDOSO, I. M. Plantas, micorrizas e microbiota do solo na disponibilização de nutrientes de pós de rocha. In: **II Congresso Brasileiro de Rochagem**. p. 13, 2015.
- CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S. Interpretação das características químicas dos solos, submetidos à incubação com biocarvão e pó de rocha MB-4. **Espacios**, Vol. 37 (Nº 30) Año 2016.
- CHILAKAMARRY, C.; SAKINAH, A. M. M.; ZULARISAM, A. W.; SIROHI, R.; KHILJI, I. A.; AHMAD, N.; PANDEY, A. Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. **Bioresource technology**, v. 343, p. 126065, 2022.
- CHINTALA, R.; MOLLINEDOA, J.; SCHUMACHERA, T. E.; MALO, D.D.; JULSON, J.L. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 3, p. 393-404, 2014.

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

COULIBALY, S. S.; TOURÉ, M.; KOUAMÉ, A. E.; KAMBOU, I. C.; SORO, S. Y.; YÉO, K. I.; KONÉ, S. Incorporation of crop residues into soil: a practice to improve soil chemical properties. **Agricultural Sciences**, 2020.

FAO, 2000. Management and rehabilitation of salt affected soils. Disponível em: <<http://www.fao.org/AG/aGL/agll/spush/topic4.htm>>.

HANAFI, F. H. M.; REZANIA, S.; TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; YAMAUCHI, M.; SAKAMOTO, M.; HARA, H.; PARK, J.; EBRAHIMI, S. S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, p. 1383-1396, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria&t=destaques>. Acesso em: 05 mar. 2023.

JACOBSON, T. K. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of nutrient addition on polyphenol and nutrient concentrations in leaves of woody species of a savanna woodland in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 35, n. 6, p. 288-296, 2019.

KABIRINEJAD, S.; KALBASI, M.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; HOODAJI, M.; AFYUNI, M. Effect of incorporation of crops residue into soil on some chemical properties of soil and bioavailability of copper in soil. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, n. 11, p. 2819-2824, 2014.

LAL, R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. **Environment International**, v. 31, n. 4, p. 575-584, 2005.

LANDELL, M. G. DE A.; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; DOS ANJOS, I. A.; BAPTISTA, A. S.; DE AGUIAR, C. L.; OGATA, B. H. Residual biomass potential of commercial and pre-commercial sugarcane cultivars. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 299-304, 2013.

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

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, n. 4, p. 487-494, 2016.

PAREYN, F. G.; PEREIRA, W. E.; SALCEDO, I. H.; RIEGELHAUPT, E. M.; GOMES, E. C.; MENECHLI, H. T.; SKUTSCH, M. What controls post-harvest growth rates in the caatinga forest?. **Agricultural and Forest Meteorology**, 284, 107906, 2020.

- PAVINATO, Paulo Sérgio; ROSOLEM, Ciro Antonio. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.
- PEREIRA, J. R. Solos afetados por sais. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação, 2, 76-82, 1998.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>.
- RAMOS, C. G.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. **Geoscience Frontiers**, v. 13, n. 1, p. 101185, 2022.
- RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 891-897, 2010.
- RODRIGUES, A. S. L.; MESAK, C.; SILVA, M. L. G.; Geovanna Souza SILVA, G. S.; LEANDRO, W. M.; MALAFAIA, G. Organic waste vermicomposting through the addition of rock dust inoculated with domestic sewage wastewater. **Journal of environmental management**, v. 196, p. 651-658, 2017.
- SOUSA, A. A. P.; LIMA, V. E.; PIMENTEL, E. L.; PAIVA, W.; RODRIGUES, D. P.; NOGUEIRA, H. C. N.; ANDRADE, A. R. A.; GALDINO, M. N. Aproveitamento de rejeitos de granitos em bentonita para pelletização de minério de ferro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 54708-54715, 2020.
- SOUZA, F. N. S.; SANTANA, A. P.; ALVES, J. M. Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol. **Planta**, v. 17, p. 12, 2010.
- SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. Manual of soil analysis methods. 3. ed. Brasília. 2017.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F.; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: **II Congresso Brasileiro de Rochagem**. 2013.
- THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F.M.; IANNIRUBERTO, M.; JACOBSON, T.K.B. Soil remineralization and recovery of degraded areas: an experience in the tropical region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103014, 2021.