



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE



HÉRCULES GONÇALVES DE ALMEIDA MEDEIROS

**BIOESTÍMULO DE SOLO DE MILHOCULTURA COM RESÍDUO DE MALTE
DE CEVADA ORIUNDO DO SETOR CERVEJEIRO ARTESANAL**

JOÃO PESSOA

2023

HÉRCULES GONÇALVES DE ALMEIDA MEDEIROS

**BIOESTÍMULO DE SOLO DE MILHOCULTURA COM RESÍDUO DE MALTE
DE CEVADA ORIUNDO DO SETOR CERVEJEIRO ARTESANAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Desenvolvimento e Meio
Ambiente da Universidade Federal da
Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: ULRICH VASCONCELOS DA
ROCHA GOMES

Co-orientador: JOSÉ SOARES DO
NASCIMENTO

JOÃO PESSOA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

M488b Medeiros, Hércules Gonçalves de Almeida.

Bioestímulo de solo de milhocultura com resíduo de malte de cevada oriundo do setor cervejeiro artesanal / Hércules Gonçalves de Almeida Medeiros. - João Pessoa, 2023.

71 f. : il.

Orientação: Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes.

Coorientação: José Soares do Nascimento.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Agroindústria. 2. Agricultura. 3. Resíduo de malte de cevada. 4. Microbiota de solo. I. Gomes, Ulrich Vasconcelos da Rocha. II. Nascimento, José Soares do. III. Título.

UFPB/BC

CDU 631.145(043)



ATA Nº 571 / 2023 - PRODEMA – MEST

João Pessoa-PB, 29 de abril de 2023

Ata da 571ª Sessão Pública de Defesa de Dissertação HÉRCULES GONÇALVES DE ALMEIDA MEDEIROS do Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Mestrado, na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente. No dia vinte e nove de abril, às 09h00min, reuniram-se na sala virtual

<https://us02web.zoom.us/j/87223754344?pwd=cnBMWEZGYnVGb28zTHdhUmRZbzdQdz09>, nos termos do art. 82 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de PósGraduação “stricto sensu” da UFPB, anexo à Resolução CONSEPE no 79/2013, apenas o discente e a Banca Examinadora, composta pelos professores(as) doutores(as): SILDIVANE VALCACIA SILVA, examinador(a) externo(a) ao Programa, MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA, UFPB, examinadora interna e ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES, orientador(a) - presidente. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do(a) presidente da banca, ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou o(a) candidato(a) que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada “Bioestímulo de solo de milhocultura com resíduo de malte de cevada oriundo do setor cervejeiro artesanal”, presidente, passou a palavra o(a) professor(a) Dr(a) SILDIVANE VALCACIA SILVA, para arguir o(a) candidato(a), e, em seguida, o(a) professor Dr(a) MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA, para fazer o mesmo. Após alguns comentários sobre a defesa, o(a) presidente da banca examinadora solicitou a retirada do discente para que a banca pudesse proceder com a avaliação do(a) discente em sessão secreta. Na sequência, a banca examinadora atribuiu o conceito (APROVADO), conforme o art. 83 do anexo à Resolução CONSEPE-UFPB Nº 79/2013.

Assinatura digital abaixo

ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES
Presidente/orientador

Assinatura digital abaixo

SILDIVANE VALCACIA SILVA
Examinador externo

Assinatura digital abaixo

MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA
Examinadora interna

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA FOLHA DE ASSINATURAS
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

Emitido em 29/04/2023

ATA Nº 1/2023 - CBIOTEC - DB (18.62)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 29/04/2023 11:40)
MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
2335304

(Assinado digitalmente em 29/04/2023 11:49)
ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
2009494

(Assinado digitalmente em 29/04/2023 11:53)
SILDIVANE VALCACIA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1652922

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **1**, ano: **2023**, documento (espécie): **ATA**, data de emissão: **29/04/2023** e o código de verificação: **8 b5078facc**

Agradecimentos:

Obrigado, Deus

Obrigado a FAPESQ - Fundação de Apoio à
Pesquisa do Estado da Paraíba pelo financiamento
da bolsa de minha pesquisa, EDITAL Nº 07/2021,
SEECT/FAPESQ/PB - CONCESSÃO DE QUOTAS DE
BOLSAS DE MESTRADO, Programa
22210.19.573.5011.1680/202 rubrica 3390.18 da Fonte
112.

Declaração de responsabilidade:

“As opiniões, hipóteses e conclusões ou
recomendações expressas neste material são de
responsabilidade do(s) autor(es) e não
necessariamente refletem a visão da FAPESQ”.

MEDEIROS, HÉRCULES GONÇALVES DE ALMEIDA. Bioestímulo de solo de milhocultura com resíduo de malte de cevada oriundo do setor cervejeiro artesanal. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

RESUMO

O milho é um importante cereal produzido e consumido em várias partes do mundo, no qual a produção brasileira ocupa um dos primeiros lugares no *ranking*. Na região Nordeste do Brasil, o cultivar apresenta um importante papel para a segurança alimentar e garante renda para a população. A agroindústria é um setor em crescimento na Paraíba, com destaque para a indústria cervejeira, sendo que o setor gera resíduos em altas quantidades. O resíduo de malte de cevada é subutilizado e ainda pouco explorado, devido às dificuldades tecnológicas e carência de pesquisas, principalmente para a agricultura. Sendo assim, o objetivo desse estudo é elucidar o potencial agrícola do resíduo de cevada como possível estímulo sobre a microbiota do solo que é intimamente ligada ao desenvolvimento vegetal, favorecendo a fertilidade na produção. Para isso, foram realizados cultivos de milho (*Zea mays*) em vasos preenchidos com terra ou areia, testando substratos com diferentes proporções de resíduo de malte de cevado com os seguintes tratamentos: T1, T2, T3, T4, T5, sendo respectivamente: tratamento controle; 2,5% de resíduo de malte de cevada, 5%, 10% e Areia + fertilizante NPK. Após 50 dias de cultivo, foi obtida a massa seca da parte aérea, raízes, bem como as medições da altura da planta, número de folhas e área foliar. Amostras dos substratos no início e no 50º dia de cultivo foram coletados para análise microbiológica. As variáveis analisadas foram submetidas às análises estatísticas. Nos resultados observou-se que os tratamentos T3 e T4 com adição de 5% e 10% de RMC influenciaram no maior desenvolvimento das plantas de milho, relacionados à altura, massa da parte aérea e das raízes, mas a influência na microbiota do solo foi pouco expressiva, em face dos períodos analisados. Concluiu-se que a adição do resíduo de malte de cevada favoreceu pouco os micro-organismos do solo promotores de crescimento vegetal e promoveu maior desenvolvimento das plantas de milho.

Palavras-chave: Agricultura; Agroindústria; Resíduo de malte de cevada; Microbiota de solo;

ABSTRACT

Corn is an important cereal produced and consumed in various parts of the world, in which Brazilian production occupies one of the first places in the ranking. In the Northeast region of Brazil, the cultivar plays an important role in food security and guarantees income for the population. Agroindustry is a growing sector in Paraíba, with emphasis on the brewing industry, and the sector generates waste in high quantities. Barley malt residue is underutilized and still little explored, due to technological difficulties and lack of research, mainly for agriculture. Therefore, the objective of this study is to elucidate the agricultural potential of barley residue as a possible stimulus on the soil microbiota, which is closely linked to plant development, favoring fertility in production. For this, corn (*Zea mays*) was cultivated in pots filled with earth or sand, testing substrates with different proportions of barley malt residue with the following treatments: T1, T2, T3, T4, T5, respectively: treatment control; 2.5% barley malt residue, 5%, 10% and Sand + fertilizer NPK.. Substrate samples at the beginning and on the 50th day of cultivation were collected for microbiological analysis. The analyzed variables were submitted to statistical analyses. In the results it was observed that the treatments T3 and T4 with addition of 5% and 10% of RMC influenced in the greater development of the corn plants, related to the height, mass of the aerial part and of the roots, but the influence in the microbiota of the soil was little expressive, considering the analyzed periods. It was concluded that the addition of barley malt residue did little to promote soil microorganisms that promote plant growth and promoted greater development of corn plants.

Key-words: Agriculture; Agriindustry; Barley malt bagasse; Soil microbiota.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MUDAS DE MILHO EM VASOS, SUBMETIDAS OU NÃO A BIOESTIMULAÇÃO DO SOLO COM RESÍDUO DE CEVADA DE MALTE.....	41
FIGURA 2 – BOXPLOT REFERENTE A VARIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS UNIDADES FORMADORAS DE COLÔNIAS POR TRATAMENTO	47
FIGURA 3 - BOXPLOT REFERENTE ÀS VARIAÇÕES PARA A BIOMASSA VEGETAL (EIXO 1 DA PCA) ENTRE OS TRATAMENTOS.....	48
FIGURA 4 - BILOT DA PCA MOSTRANDO A SEGREGAÇÃO DOS TRATAMENTOS EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS MENSURADAS PARA BIOMASSA VEGETAL.....	50

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1: DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS USADOS NO EXPERIMENTO DE CULTIVO DE MILHO NA PRESENÇA OU NÃO DE RESÍDUO DE MALTE DE CEVADA SOB DIFERENTES PROPORÇÕES

.....42

TABELA 1: DADOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SUBSTRATOS AREIA E TERRA USADOS NO EXPERIMENTO.....45

TABELA 2: ESTIMATIVA DA MICROBIOTA INICIAL E FINAL PARA BHT DA AREIA E TERRA.....46

TABELA 3: MÉDIAS DOS PARÂMETROS DE BIOMASSA VEGETAL.....48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATER: Assistência Técnica e Extensão Rural

Ca: Cálcio

cm: Centímetros

cm²: centímetros quadrados

g: gramas

ha: Hectares

L: litros

K: Potássio

kg: quilogramas

km²:quilômetros quadrados

Mg: Magnésio

mg: miligramas

mL: mililitros

m³ : metros cúbicos

N: Nitrogênio

PCA: Priincipal Component Analysis

P: Fósforo

PIB: Produto Interno Bruto

R: Resíduos

RA : resíduos agroindustriais

RMC – Resíduo de Malte de Cevada

t = Toneladas

TT: Tratamentos

T1: Tratamento Controle

T2: Tratamento 2

T3: Tratamento 3

T4: Tratamento 4

T5: Tratamento 5

UFC – unidades formadoras de colônia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: MILHO	15
2.2 MILHO: CARACTERÍSTICAS DO CULTIVO	22
2.3 AGROINDÚSTRIA CERVEJEIRA BRASILEIRA	32
3. OBJETIVOS.....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 SUBSTRATO	40
4.2 MILHO.....	40
4.3 CULTIVO.....	40
4.4 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS.....	42
4.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DOS SUBSTRATOS	43
4.6 ANÁLISE DE BIOMASSA VEGETAL E MATÉRIA SECA	43
4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6. CONCLUSÃO	60
7. REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos principais cereais do mundo, de importância fundamental para a alimentação animal, humana, produção de biocombustíveis e outras aplicações industriais. Seu cultivo está presente em mais de 160 países, e graças a sua alta adaptação, um número alto de variedades pode ser encontrada, o que torna-o uma matéria-prima muito versátil e um elemento importante em muitas culturas e sociedades. O milho apresenta o maior rendimento médio dentre os três principais cereais, junto ao arroz e trigo (RONG et al., 2021). A produção nacional de milho ainda apresenta pontos em que pode melhorar, como no rendimento médio total, tendo em vista que há uma forte discrepância na produtividade média entre as regiões brasileiras (SOLOGUREN, 2015).

A produção de cereais no Brasil segue em crescimento desde a década de 1990, e tendo em vista que o setor agropecuário é muito participativo na balança comercial do país, é muito importante a sua estabilidade, tanto para a economia como também para que suceda de haver matéria-prima e alimentos no mercado, para suas mais variáveis derivações e utilidades. Além do milho apresentar uma contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) por ser um dos principais grãos exportados, também é fonte de renda e segurança alimentar de pequenos produtores, pois o seu consumo tem um apelo sociocultural de subsistência muito forte na região nordeste, sendo uma cultura tradicional e rústica, com muitas variedades e modelos de produção existentes, garantindo renda e alimento para famílias e animais (BRAINER, 2021).

Dentro do setor agropecuário, há o ramo crescente da agroindústria, que como consequência de seus processos, produz grandes quantidades de resíduos agroindustriais. Tendo em vista que esses resíduos são compostos orgânicos, sabe-se que apresentam nutrientes em quantidades consideráveis e com potencial de reaproveitamento nas mais diversas áreas: desde como substrato para bioprocessos, produção de biocombustíveis, biogás, insumos agrícolas e alimentação animal alternativa (ALIYU; BALA, 2011). O resíduo de malte de cevada (RMC) é um exemplo de subproduto oriundo da cadeia cervejeira artesanal, segmento crescente no Brasil. Conforme a literatura já demonstra, há potencial desse em ser reaproveitado como possível adubo para vegetais, e sabe-se que é pertinente sua reutilização, afinal, sendo despejado de maneira

inadequada no ambiente, causa alterações prejudiciais aos ecossistemas, tais como: acidificação dos leitos aquáticos, prejuízo na biodiversidade microbiana, flora e fauna (ASSANDRINI et al., 2021). O resíduo de malte de cevada é produzido no início da cadeia cervejeira, após a germinação do grão de cevada e filtração do mosto. Representa cerca de 85% do resíduo total da fabricação da cerveja, encontra-se disponível durante todo o ano, em altas quantidades e pode ser obtido um custo reduzido, visto que há poucas utilidades para esse. É um subproduto rico em nutrientes que normalmente é direcionado para usos de baixo valor agregado, como ração animal ou descarte em aterros sanitários (OLAJIRE, 2020).

Atualmente, muitas pesquisas giram em torno de avaliar o reaproveitamento de resíduos agroindustriais na agricultura, tendo em vista que tendem a conservar nutrientes contidos na matéria-prima mesmo após processada, e podendo agregar aos cultivos agrícolas alguns benefícios, incluindo: fornecimento de umidade e nutrientes, aumento da matéria orgânica do solo, melhoria na granulometria do solo e economia nos custos dos insumos (FILHO; FRANCO, 2015). A composição dos resíduos agroindustriais e o seu comportamento no ambiente podem variar de acordo com a natureza da matéria-prima, condições de processo e armazenamento (PIRES, MATTIAZZO, 2008). Então, recomenda-se estudos para averiguar se sua utilização como adubo é segura e eficaz, em prol de práticas agrícolas menos danosas aos solos e leitos aquáticos, menos onerosas, mais acessíveis e ainda sim eficazes para a produção sustentável de alimentos.

Para o reaproveitamento do RMC, torna-se relevante a averiguação da possibilidade de tornar-se adubo para o milho, assim, destinando-o para um fim diferente do descarte no ambiente ou sua subutilização como ração animal, podendo conferir uma alternativa aos pequenos produtores que fazem o uso de fertilizantes químicos nos seus cultivos. Para isso, é necessária a avaliação dos efeitos da adição do RMC sobre a microbiota do solo, pois ela é necessária na ciclagem dos nutrientes que serão necessários ao milho durante o seu crescimento e produção. Dessa forma, esta pesquisa focou no impacto da adição do resíduo de malte de cevada em solo de plantio de milho e seu efeito na microbiota de bactérias heterotróficas totais e no desenvolvimento das plantas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: MILHO

O milho é conhecido como “o rei dos cereais” pelo seu amplo consumo, alta variedade genética, ótimo potencial de adaptação, bons rendimentos e diversidade nos usos. Toda a planta pode ser aproveitada: grãos, folhas, colmo, espiga e borla, para destinar-se a ser alimento humano, insumo para artesanato, biocombustível, químico-industrial, e principalmente, ração animal. A planta é cultivada em 166 países ao redor do mundo, desde zonas temperadas, à subtropicais e tropicais; do nível do mar até altitudes acima de 3000 metros. A colheita de milho contribuiu 37% na produção global de grãos em 2019, configurando-se como uma das três culturas mais produzidas do mundo juntamente ao trigo e arroz, sendo o rendimento médio do milho maior que os outros. A produtividade média global estava em 10,4 toneladas (t) produzidas de milho por hectare (ha^{-1}), seguido pelo arroz ($8,5 \text{ t/ha}^{-1}$) e trigo ($7,7 \text{ t/ha}^{-1}$) (RONG et al., 2021).

O milho funciona como uma *commodity* agrícola: seus grãos servem de matéria-prima para muitos processos, podendo ser armazenados e estocados sem perda de sua qualidade ou comprometimento de sua composição, bem como podem ser destinados para a exportação comercial. Os grãos não requerem processamentos industriais avançados para essa finalidade e podem até ser comercializados *in natura* (FLORÊNCIO; MELO, 2022). O milho brasileiro é muito requerido no mercado internacional, e ao passo que a produção brasileira de milho cresce, a demanda internacional pelo milho brasileiro acompanha esse em crescimento. A demanda interna também é significativa: o consumo de milho (direto ou indireto) no Brasil já ultrapassa os 90 kg/habitante/ano (SOLOGUREN, 2015).

De acordo com o Serviço de Agricultura Estrangeira dos Estados Unidos (USDA, 2022a), a área mundial total destinada ao cultivo de milho em 2021/2022 estava por volta de 203 milhões de ha, sendo superior ao período em 2020/2021 (em 199 milhões de ha) e com perspectivas de crescimento para 2023. A produção de grãos total também cresceu: de 1.129.000.000 de toneladas métricas para

1.216.070.000 no referido período. O aumento da produção deve-se ao fato da maior demanda pelo milho para alimentação animal, humana e setor industrial. Hoje, os países de maior produção do cereal são: os Estados Unidos, China e Brasil, que juntos corresponderam a cerca de 70% da produção global (NAFZIGER, 2010).

O Brasil configura-se como o maior exportador de milho e etanol. Em 2017, a produção brasileira de milho chegou a arrecadar 15 bilhões de dólares para o PIB nacional. O país conta com variedade imensa nas condições ambientais que possibilitam a expansão da atividade agrícola: terra e água em abundância, diversidade de solos e biomas, suporte de institutos de pesquisas, legislação adequada que asseguram fácil acesso à propriedade, insumos e tecnologias, e facilidade em multinacionais se instalarem e operarem no país. O setor permanece apresentando um alto potencial, pela crescente atividade agropecuária e do setor de biocombustível, que inclui o milho como uma matéria-prima para o bioetanol (PWC, 2019).

No período de 1990 a 2020 do Brasil, a produtividade de milho melhorou consideravelmente, graças a investimentos no setor que incluem: mecanização dos cultivos, desenvolvimento de cultivares e sementes modernas para a produção em larga escala, importação de fertilizantes, políticas de crédito e assistência técnica rural (USDA, 2021). O Brasil é um dos líderes globais no plantio de culturas transgênicas, com a taxa de adoção de milho transgênico em quase 90% (USDA, 2022b). No intervalo de 1997/98 a 2021/22 houve um registrado desenvolvimento relevante na cultura do milho brasileiro: Em 97/98 a produção total nacional era de 30.189 mil toneladas, área cultivada de 19943,6 mil hectares e com uma produtividade média de 2.650 kg/hectares (ha) (CONAB, 2022a) e em 2021/22 obteve-se 113.130,4 milhões de toneladas produzidas em 22.036,1 mil ha de área cultivada com 5.658 kg/ha de produtividade média (CONAB, 2022b).

O agronegócio no Brasil obteve porcentagem recorde de 27,6% na participação do PIB nacional dos anos 2020 e 2021. No quesito custos, no primeiro semestre de 2022 apresentou uma modesta instabilidade no faturamento devido ao aumento no preço de fertilizantes, defensivos, combustíveis e sementes de cultivares importados que foram afetados por conflitos da Rússia, também por oscilações no valor do dólar e o efeito climático *La Niña* que reduziu as chuvas. Mesmo assim, a produção em alguns estados conseguiu driblar esses

efeitos negativos e impedir o agravamento de prejuízos ao setor. Em relação ao ano anterior, houve uma pequena redução da participação do setor do agronegócio no PIB nacional de 27,6 para 26,24% em 2022, mas ainda sim muito participativo. A atividade agropecuária foi fundamental no sustento do PIB no ano de 2022 após pandemia do COVID-19, acumulando um saldo de US\$ 32,19 bilhões (CEPEA, 2022).

No Brasil, planta-se milho durante todo o ano, e são consideradas oficialmente duas safras principais: a safra maior (ou safra de verão), e a menor (chamada “Safrinha”). Em alguns lugares, estados específicos das regiões Nordeste e Norte, uma terceira safra anual é possível de ser encontrada, embora seja menos significativa e chegue a representar no máximo 3% da produção anual nacional, com aproximadamente 2,5 milhões de toneladas em 2020/21) (BRAINER, 2021). O milho em grão apresentou-se entre os 10 principais produtos da agricultura familiar nordestina em 2019 (AQUINO; ALVES; VIDAL, 2020).

Aproximadamente 70% da produção nacional do milho é direcionada ao consumo interno do país, principalmente para alimentação animal em vista que os setores de avicultura e suinocultura necessitam de 90% da alimentação de seus animais sendo compostas desse grão ou de seu farelo. Outra demanda interna significativa é a da indústria do bioetanol. Então, a balança comercial do grão acaba sendo determinada pela demanda e disponibilidade interna, mais do que fatores externos (embora também seja significativa mundialmente a disputa comercial entre Estados Unidos e China pela produção e importação do grão, que acaba se somando à desvalorização do real e interferindo no preço final do produto internacionalmente) (USDA, 2021).

Muitas propriedades produtoras de milho são de agricultores pequenos (ou familiares); então, além da participação no setor do agronegócio, o milho apresenta uma importância social como sustento de muitos agricultores familiares, sem grande poder de mecanização de produção. A região nordeste é muito comum ser encontrada a realidade da agricultura de subsistência com base na milhocultura, principalmente para obtenção de grãos (para alimentação humana e animal), milho verde para consumo *in natura* e palha para o rebanho (PAIVA et al., 2014). A participação do nordeste da 3ª safra nacional está sendo incrementada graças ao desenvolvimento de novas cultivares adaptadas às condições semiáridas da região

e continua crescendo, porém mais lentamente que a média nacional (BRAINER, 2021).

No entanto, a instabilidade climática, comum em estados nordestinos como Piauí, Maranhão e Bahia, ameaçam o crescimento da atividade, pois há poucas possibilidades implementadas para a atividade de cultivo de subsistência resistir. Então, para a região é importantíssimo adotar medidas que procurem amenizar os prejuízos devido a épocas de estiagem e secas, como cultivares adaptadas e transferências de tecnologia e sistemas para milhocultores familiares (como em adubação e irrigação) (BRAINER, 2021). Além do baixo índice pluviométrico da região, nota-se baixos teores de nitrogênio e fósforo nos solos (PAIVA et al., 2014). Entanto, como vantagem, sabe-se que o milho é uma cultura flexível e adaptável, que pode ser cultivada em muitos sistemas de rotação de culturas, consórcios, havendo muitas variedades (tradicionais ou modificadas), para vários tipos de uso do Brasil: milho para silagem, milho verde, milho pipoca, para fins de artesanato, mini-milho - conserva alimentícia, para alimentação animal ou humana (CRUZ et al., 2006).

O agronegócio pode ser definido por diferentes conceitos, um deles é: “A soma de todas as operações envolvidas na fabricação e distribuição de suprimentos agrícolas, operações de produção na fazenda e armazenamento, processamento e distribuição de *commodities* agrícolas” (ZYLBERSZTAJN, 2017). O agronegócio está dividido entre os setores: Produção de Insumos, Produção primária, Indústria e Agrosserviços. Dentre estes, o setor da agroindústria (que compreende a transformação e beneficiamento da matéria-prima gerada na atividade agropecuária) é significativo na participação do PIB nacional e geração de empregos. O setor agroindustrial compreende mais de 163397 de unidades industriais no Brasil, sendo 160101 de transformação de matéria-prima. A receita total do setor agroindustrial em 2020 estava em R\$ 4.275.416.656,00, cerca de 8,72% do PIB brasileiro em 2020 (o PIB do país totalizou R\$ 7,45 trilhões em 2020, e o PIB do agronegócio chegou a quase R\$ 2 trilhões) (CEPEA, 2022).

O Brasil apresenta potencial para aumentar sua produção, no entanto, há desafios que atrapalham o crescimento e otimização do agronegócio: falta de planos estratégicos de longo prazo para o setor, corrupção e fraude presentes em várias cadeias de valor, falta de acordos bilaterais e livre comércio, dependência

de insumos importados (principalmente fertilizantes), baixa capacidade de armazenamento, tanto privada como governamental. Além disso, infraestrutura logística e de transporte inadequada como resultado de décadas de investimentos limitados, falta de planejamento de longo prazo; escassez crítica de capital humano, aumentando os custos de produção, estrutura tributária e trabalhista complexa e ineficiente, juros altos nos financiamentos de maquinário agrícola e terras. Não obstante, também encontra-se taxas altamente voláteis dos produtos brasileiros no mercado internacional, conflitos não resolvidos entre entidades ambientais e interesses do agronegócio, havendo pouco diálogo e consenso para o desenvolvimento sustentável e alta dependência de insumos importados para a produção (PWC, 2019), e pouco planejamento para estocagem mínima visando a segurança alimentar nacional, ausência de logística na distribuição de alimentos, alta tributação na produção etc (BRAINER, 2021).

O agricultor familiar pode estar associado a uma variedade de modelos produtivos, culturais, sociais e econômicos, produzindo de maneira orgânica, agroecológica, convencional, agroflorestal, de alto ou baixo nível tecnológico, sendo, portanto, um grupo muito diverso e heterogêneo. Constantemente, o grupo apresenta indivíduos que obtém de seu próprio estabelecimento os insumos necessários (que vão desde fertilizantes aos defensivos agrícolas) para incrementar ou possibilitar sua produção, mas, não sendo totalmente independentes quanto a esses. A depender da cultura, a aquisição de insumos e a dependência de externos à propriedade pode ser de baixa ou alta necessidade. O agricultor familiar é mais participativo nos modelos mais sustentáveis de cultivo do que os grandes produtores; modelos tais que visam práticas menos poluentes ou nocivas ao ambiente, e à saúde do trabalhador (CRUZ et al., 2006)

O cenário na agricultura familiar brasileira apresenta distribuição heterogênea quanto a recursos produtivos, terra, capital, mão de obra qualificada bem como na contribuição no valor total da agropecuária a cada ano. Esse cenário é resultado de anos de desenvolvimento desigual no cenário agropecuário das regiões brasileiras, com altos índices de exclusão educacional, social e tecnológica, tendo em vista que a modernização do setor da agropecuária foi muito maior em algumas regiões do que em outras; além disso, grandes produtores com mais poder aquisitivo adquiriram insumos e tecnologias que beneficiaram suas

produções, enquanto o pequeno agricultor não, estando imerso em níveis muito lentos de desenvolvimento, com poucas alternativas de políticas de crédito e acesso a Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER). Nacionalmente, o setor emprega cerca de 10 milhões de pessoas e entre os produtos que mais produz, encontra-se 11% da produção total de arroz, 42% do feijão preto, 70% da mandioca, 71% do pimentão e 45% do tomate. Na pecuária, produzem 64% do leite bovino e detém 31% do rebanho bovino nacional, 51% de suínos e 46% de galinhas (SOUZA et al., 2019).

A região Nordeste apresenta relevante porcentagem de agricultores de pequena produção, ou agricultores familiares, pois tem a produção agropecuária como principal forma de trabalho no campo. Em 2017, foram contabilizados mais de 2 milhões de estabelecimentos rurais no ano de 2017, com 79,2 % de agricultores familiares, aproximado 1,838 milhão, cuja forma de produção é predominantemente manual e dependente de mão de obra familiar, a maior parte residindo no sertão (região de clima semiárido). Ao todo, na região composta por nove estados, a mão de obra familiar é constituída por 4,7 milhões de pessoas (AQUINO, ALVES, VIDAL, 2020). A agricultura familiar nordestina é importantíssima para a região, pois fornece alimentos, ocupação, trabalho e caracteriza realidades socioculturalmente ligadas à própria atividade, contribui para a economia e para a autonomia de inúmeras cidades sertanejas distantes das grandes capitais.

A precariedade da agricultura familiar no Nordeste, especialmente no semiárido, denota que o setor necessita investimento de políticas públicas e também iniciativa privada para melhorar seu cenário. A produtividade média em muitas cidades ainda é baixa, quando comparada com outros locais do país nos quais há a forte presença de agricultura familiar, porém, de maneira mais bem assistida por serviços de ATER. Modelos de produção que atendam às condições da região como o clima seco e solos pobres devem ser pensados e aplicados, como modelos de irrigação diferentes do convencional, processos alternativos de adubagem, plantio, combate de pragas e que contornem as condições semiáridas, não dependendo de insumos químicos e não sejam atrapalhados pelas temporadas de estiagem. A transferência de tecnologia, políticas públicas, e capacitação dos produtores e educação formal, para que, assim, agricultores

dependam cada vez menos de outrem e que incrementem a sua produção e tenham possibilidades de sustento complementares à agropecuária (AQUINO, ALVES, VIDAL, 2020). Outro fator preocupante é a cada vez menor participação de produtores mais jovens (18-24 anos) no setor, o que indica que os chefes de família estão envelhecendo, se aposentando e as gerações mais recentes não estão integrando como mão-de-obra neste tipo de atividade, o que pode, certamente, trazer carência em um futuro próximo de mão de obra na polos produtores de alimentos da região (AQUINO; ALVES; VIDAL, 2020).

Alguns dos fatores envolvidos nessa situação de precariedade são a falta de maquinário agrícola para o pequeno produtor, reforçando a condição de mão de obra familiar, bem como a falta de qualificação nos trabalhadores do setor, pois comprometem a qualidade dos serviços prestados - sejam por setores privados (prestadores de serviços) ou públicos (associações, prefeituras); dificuldade no acesso às sementes de variáveis mais sofisticadas e resistentes, que são patenteadas e tem um custo mais elevado de aquisição; a dimensão das terras disponíveis para cultivo também interferem na quantidade produzida e colhida tendo em vista que os pequenos agricultores possuem terras menores que os produtores de médio ou grande porte; o controle de ervas daninhas é rústico e insuficiente, muitas das vezes; a prática de consórcio milho x planta forrageira é comum, ou seja, as terras são divididas para mais de um tipo de cultura diminuindo a quantidade produzida de cada variedade; o armazenamento inadequado para os grãos, refletindo na qualidade, quantidade e faturamento do produto comercializado e ainda dependência de fertilizantes químicos (CRUZ et al., 2011).

O milho da Paraíba, e em muitos outros estados nordestinos, normalmente, é fruto das lavouras plantadas no período chuvoso (ou de “sequeiro”) na região, ou seja, são de ocorrência sazonal e dependentes da chuva (nessa época, a precipitação é cerca de 5 mm, sendo quase impossíveis os cultivos na época da estiagem). Outros produtos como oriundos da atividade de fruticultura na região, que obtém banana, melão e manga são muito relevantes, tendo em vista que quando há a possibilidade de irrigação, muitos trabalhadores encontram assim o seu sustento; então, há muito potencial para aumentar a produção com o espaço que é disponível, contudo, melhorando as condições de cultivo. Em 2019, o setor

da agropecuária nordestina gerou um montante de R\$15,8 bilhões de reais (cerca de 30% do total, R\$53,5 bilhões no referido ano) (AQUINO; ALVES; VIDAL, 2020).

A Paraíba é um estado brasileiro presente na região Nordeste do país, apresentando 56,467,242 km², dividido em quatro mesorregiões: sertão paraibano, planalto da borborema, agreste paraibano e mata paraibana e fazendo divisa com os estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. A sua população está por volta de quatro milhões de habitantes e cerca de 24,6% habitam na zona rural. Nesta, em 2021, foram constatados 125489 estabelecimentos rurais, e 76% destes, caracterizados por agricultura familiar, ocupando 42% da área total destinada para agricultura, e a sua maior parte está no sertão paraibano. Em 2021, o estado produziu em 48 mil toneladas colhidas em 86 mil hectares destinados ao cultivo do milho, de uma produtividade média de 655 kg/hectare (cerca de 14% da nacional) enquanto o rendimento médio nacional era de: 4,650 kg/ha (IBGE, 2022).

Quanto ao nível tecnológico e práticas agrícolas dentre os agricultores familiares paraibanos, ainda observa-se uma necessidade de orientação para que estes saibam manejar melhor os seus recursos, de forma que possam conhecer e optar pela adoção de práticas mais sustentáveis de cultivo, como: o reflorestamento, proteção de encostas, rotação de culturas, cultivo integrado e adubação verde. Por exemplo: no quesito orientação técnica, em 2021, 80% dos trabalhadores que alegou administrar defensivos agrícolas em seus cultivos não recebiam a orientação, 75% não recebeu no quesito irrigação e 74,3% dos estabelecimentos que possuem produção orgânica estavam sem assistência. As queimadas também são práticas comuns na agricultura familiar, como forma de “limpar” o solo de espécies não desejáveis, sendo feita previamente à semeadura ou como forma de colheita (ex: cana de açúcar), porém, essas e outras práticas acabam trazendo prejuízos para a qualidade dos agroecossistemas (FORTINI, 2021).

2.2 MILHO: CARACTERÍSTICAS DO CULTIVO

O milho é criticamente dependente de água, nutrientes e luminosidade, e seu crescimento e frutificação dependem da disponibilidade desses fatores. Os processos metabólicos são muito sensíveis à variações de temperaturas e

temperaturas extremas, tanto muito elevadas quanto baixas: o intervalo ideal de desenvolvimento do milho no Brasil está entre 25 e 30° C. Temperaturas acima de 40 °C ou menos de 10 °C podem inviabilizar a germinação e retardar a maturação dos grãos. Temperaturas acima de 35 °C prejudicam a atividade de enzimas como a nitrato redutase, alterando o rendimento e composição das proteínas dos grãos. Acima de 26 °C e abaixo de 15 °C a floração é acelerada ou retardada, respectivamente - após 60 dias de crescimento principalmente (CRUZ, 2010).

A quantidade de água durante o ciclo completo se aproxima de 600 mm por planta ou próxima a 900 mm em zonas mais áridas. Inicialmente em condições secas e quentes, o consumo é cerca de 2,5 mm ao dia; durante o espigamento e maturação, 5 a 7,5 mm ao dia, ou até 10 mm/dia em períodos ou condições mais quentes. A demanda de água pode ser menor, caso o milho esteja sendo cultivado em solos com maiores teores de matéria orgânica, pois armazenam mais água e a perdem bem menos que os demais tipos. Ao longo do crescimento do milho, a demanda hídrica vai aumentando gradativamente, então, é proveitoso para a produção conhecer a capacidade higroscópica do solo (NAFZIGER, 2010).

A escassez de água durante este período pode impedir a floração e a fertilização bem-sucedidas e, assim, reduzir bastante o rendimento de grãos. Para uma alta produtividade ser obtida, é requerida uma alta demanda por água. O *déficit* hídrico causa danos na cultura, alguns deles são: redução da massa vegetativa, diminuição da taxa fotossintética, produção de grãos, dessecação das estruturas florais, abortos de sacos embrionários, inviabilização dos grãos de pólen, etc (CRUZ, 2010).

O solo, além de fornecer nutrientes que vão ser utilizados para o desenvolvimento da planta, serve de substrato no sistema radicular do milho. Então, não somente o nível de macro e micronutrientes deve estar adequado, como será necessário um bom manejo e conhecimento acerca da acidez, teor de matéria orgânica, declividade do terreno, textura (composição granulométrica do solo, constituída por porcentagens variáveis de argila, silte e areia) proporcionando diferentes estruturas, consistência, permeabilidades, retenção de água, fixação de fosfatos e capacidade de troca de cátions para adequar metodologias ao cultivo (CRUZ, 2010).

Solos de teor argiloso (latossolos) retêm muita água e nutrientes, portanto, são os mais indicados para o milho. Já os solos arenosos (cerca de 15% teor de argila) são os menos indicados, pois perdem mais água e nutrientes por lixiviação e evaporação. Solos com alto teor de argila podem apresentar forte agregação dos grânulos, prejudicando a permeabilidade e livre desenvolvimento das raízes do milho, e portanto, também devem ser evitados. Solos rasos (menos de 1m disponível para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular) também devem ser evitados, pois limitam o crescimento da planta (CRUZ, 2010).

O cultivo do milho envolve diversas práticas necessárias, como: controle de pragas, fertilização química, implementação de técnicas de manejo do solo (que envolvem operações de aração e gradagens, correção de pH de solo com corretivos tipo o calcário e gesso). O incremento de práticas na produção se faz ainda mais necessário quando em regiões de condições desfavoráveis à produção, como no cerrado (caracterizado pela baixa fertilidade natural do solo, com deficiência generalizada de nutrientes e alta acidez). Os gastos com fertilizantes representam a maior parte do investimento no cultivo de milho, afinal, a disponibilidade dos nutrientes no solo são fundamentais para a receita final da lavoura; contudo, pequenos agricultores ainda carecem de tecnificação e instrução no uso de insumos agrícolas, tanto resultando em maiores custos de cultivo devido à dependência dos insumos comerciais onerosos, uso inadequado desses insumos e ocasionalmente, provocando danos ambientais e à sua saúde (RESENDE et al., 2012).

Os agricultores de qualquer porte, podem se beneficiar com a transição de seus modelos de cultivo convencionais - monocultura, alto emprego de insumos químicos, retirada intensa da vegetação, mecanização intensa e outras práticas que levam a tendências rápidas de lixiviação de nutrientes, redução da infiltração de água nos lençóis freáticos, erosão e compactação do solo- para modelos alternativos mais sustentáveis como agricultura orgânica ou agroecológica. As pesquisas para essa possibilidade avançaram pouco ao longo dos anos, além do aspecto de transferência de tecnologia para o campo serem defasados no Brasil. Associado a isso, técnicas inadequadas e estresses ambientais limitam o potencial produtivo da produção orgânica. Essa, por sua vez, pode trazer aumento do valor agregado dos produtos obtidos nas propriedades, conservação do ambiente e

diminuição da dependência de insumos (barateando o custo de produção e preservando a saúde dos trabalhadores do campo) (CRUZ et al., 2006).

A adubação nitrogenada e a adubação fosfatada são duas das principais práticas agrícolas utilizadas na produção de milho, sendo diretamente proporcional à produtividade final e sua necessidade é inversamente proporcional à disponibilidade de nutrientes no solo. O emprego da adubação está diretamente relacionado ao comprimento e diâmetro das espigas de milho (com ou sem palha), peso final da espiga, altura da planta, número médio de grãos totais, aumento da produção de biomassa das raízes e biomassa seca total, principalmente em solos argilosos. Ou seja, as plantas de milho cultivadas na presença de altos níveis de nutrientes como nitrogênio N e fósforo não são apenas maiores, mas também apresentam uma distribuição diferente de biomassa em comparação com aquelas cultivadas em níveis mais baixos (CAIRES, MILLA; 2015)

A dose de fertilizante a ser aplicada varia de acordo com a necessidade do solo. O ideal é previamente analisar a disponibilidade de nutrientes, condições ambientais, planejamento da produção, mas nem sempre isso pode ser feito, o que leva a doses inadequadas de fertilizantes serem aplicadas em frequências e doses inadequadas. O fertilizante recebe ação dos fatores ambientais, como umidade, clima, sais do solo, e além desses fatores, a época de plantio interferirá também na sua solubilidade. Para uma estipulada uma produtividade de cerca de 5,8 toneladas/hectare de milho no Brasil, tem-se por média a exigência dos seguintes nutrientes nas seguintes quantidades: N 100 kg/ha; P 19 kg/ha; K 95 kg/ha; Ca 7/ha; Mg 17 kg/ha. Cada solo possui uma quantidade de nutrientes disponíveis ou imobilizados, então um acompanhamento do cultivo junto a um especialista é sempre bem-vindo a depender do quanto e como se pretende produzir. Porém, este tipo de monitoramento não é possível para muitos produtores de pequeno porte (COELHO, 2006).

As doses recomendadas de fertilizante químico podem variar de 60 a 150 kg de N/ha, e as doses podem ser parceladas por período ou aplicada em vez única. A planta do milho apresenta maior demanda do nitrogênio cerca de 2 a 3 semanas antes do florescimento. Em paralelo à adubação química, a adubação orgânica pode apresentar resultados satisfatórios para a produção e sem depender de um investimento alto. O uso de dejetos animais como fertilizantes é um método

utilizado por muitos produtores (para isto, recomenda-se a "maturação" do resíduo, ou seja, a sua estabilização por 90 a 120 dias principalmente para a redução da sua acidez). Para o uso de dejetos suínos em regiões do cerrado, recomenda-se a aplicação de 50 a 100m³/ha. A eficiência relativa dos compostos orgânicos equivale a 60 ou 70% da eficiência da adubação química (KONZEN, 2006).

As necessidades de fertilizantes químicos podem ser supridas pela introdução de fertilizantes orgânicos, que ajudam a aumentar a produtividade das culturas sem afetar a fertilidade do solo e o pH, e sob um custo mais acessível. Um exemplo, é o estrume de aves- fonte primária de nitrogênio, fósforo e potássio. Este nitrogênio está disponível principalmente na forma de ácido úrico (61%), nitrogênio orgânico (31%) e amônia (8%), e apresenta capacidade de alcalizar o solo, reduzindo a acidez promovida por minerais básicos. Contudo, os fertilizantes orgânicos apresentam uma notável limitação que afeta a disponibilidade dos nutrientes para o cultivo pois são muito suscetíveis a volatilização: o esterco de aves, por exemplo, é facilmente fermentável o que altera a disponibilidade de nitrogênio e potássio. Já o fósforo neste esterco, nem tanto (VILELA, 2020).

Compostos orgânicos, como esterco aviário, apresentam menor custo de aquisição (as vezes nulo, quando o resíduo é produzido na própria propriedade do produtor) do que fertilizantes químicos comerciais e ainda com nutrientes sob pronta disponibilidade para as plantas. Contudo, uma das limitações de utilizar compostos orgânicos é a sua alta volatilidade, pois tendem a sofrer degradação rápida sob temperaturas altas e umidade do ambiente (principalmente a uréia, que perde seu nitrogênio na forma de amônia), sendo diretamente proporcional ao nível de sua solubilidade (o que é um problema pois a absorção de nitrogênio por parte da planta é criticamente dependente de água). A uréia (44 a 46% de N), sulfato de amônio (20 a 21% de N) e nitrato de amônio (32 a 33% de N) estão entre os compostos orgânicos mais comuns. A ureia apresenta como vantagens o baixo custo de aquisição e menor acidificação do solo, mas tem uma taxa alta de perda de N por volatilização apresentando eficiência média de 88% em relação a sulfato de amônio ou nitrato de amônio (MARTHA JUNIOR, 2012).

Uma alternativa possível para substituir fertilizantes químicos na agricultura podem ser Resíduos agroindustriais (RA), produzidos em altas quantidades no Brasil, pois o setor de beneficiamento de alimentos é muito desenvolvido e

apresenta milhares de produtos no mercado, e com eles, milhões de toneladas de resíduos e rejeitos são gerados. Alguns exemplos de RA comuns são: torta de filtro, fuligem, vinhaça (oriunda da indústria do açúcar e álcool). Em caso de despejo no ambiente, os RA contaminam o ambiente pois apresentam natureza complexa; e nem sempre há reaproveitamento desses materiais, já que para isso envolve um custo operacional adicional para as empresas. Então, faz-se necessário oferecer as empresas e sociedade alternativas de reaproveitamento a baixo custo. Podem ser encontradas uma infinidade de Resíduos (R.) das composições mais variadas, com cascas, sementes caroços, polpas, que conservam e podem apresentar vitaminas, minerais, compostos fenólicos, carotenoides, antioxidantes, nutrientes, fibras, umidade e minerais (FILHO; FRANCO, 2015).

Comumente, não há uma padronização da composição química e administração de fertilizantes orgânicos, pois variam de acordo com os sistemas que são gerados e composição dos produtos; as proporções dos nutrientes podem estar desbalanceadas para a nutrição vegetal e seu comportamento e eficiência no ambiente também depende muito das condições existentes (PIRES, MATTIAZZO, 2008). Por exemplo, NH_4 está sujeito às volatilizações de N na forma de NH_3 em ambiente neutro a alcalino; também pode ocorrer rápida lixiviação em forma nítrica; a desnitrificação (redução do NO_3^- para as formas gasosas (N_2 e N_2O), ocorre nos ecossistemas e condições de baixos índices de O_2 (DAL MOLIN, 2016). Além disso, a depender da origem dos R., ainda há legislação quanto ao seu reaproveitamento, pois muitos apresentam contaminantes.

Outro fator importante na hora de avaliar a possibilidade de reaproveitamento de RA é a sua degradabilidade, pois nem todo componente é passível de ser decomposto por ação microbiana, e caso esses compostos se acumulem no solo, pode ocasionar prejuízo para a microbiota e lençóis freáticos. O lodo orgânico, por exemplo, para ser aproveitado na agricultura deve ser decomposto em mais de 30% do total. Se o intuito for proporcionar fornecimento de nitrogênio ao solo a partir de R., o fator fração ou taxa de mineralização do nitrogênio é interessante conhecer, pois o mineral não se comporta de maneira constante no solo: se a mineralização for alta, o nitrato pode lixiviar para o lençol freático; se a taxa for baixa, o R. não consegue suplementar a produção (PIRES, MATTIAZZO; 2008).

O Brasil importa 85% de seus fertilizantes, principalmente da Rússia, Canadá, China, Marrocos, Estados Unidos e Belarus. O principal motivo do aumento dos custos de produção recentemente é o aumento do preço dos fertilizantes, sempre importados. Em maio de 2021, os produtores gastaram 41,26 sacas de milho para produzir um hectare em Mato Grosso. Esse custo operacional aumentou para 64,31 sacas/ha em abril de 2022, ou quase 56% a mais de um período para o outro. Os gastos com fertilizantes, neste caso, passaram de 11,2 sacas de milho por hectare para 24,54 sacas/ha, um incremento de quase 120%. O Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA) também projetou o impacto de fertilizantes e outros insumos na safra 2021/2022. Segundo o instituto, o custo de produção da cultura do milho em Mato Grosso (principal produtor) é de R\$ 3.327,43/ha, um aumento de 40% em relação à safra passada. Os componentes que mais participaram desse aumento foram fertilizantes (60%), outros agrotóxicos (23%) e sementes (21%). No entanto, como já mencionado, os preços recordes do milho compensam a volatilidade e a alta nos custos de produção. Geralmente, os contatos pós são otimistas sobre sua lucratividade para o atual e a próxima temporada (USDA, 2021). Urge, então, encontrar outras fontes de suplementação mineral para o milho e outros cultivos, preferencialmente produzidas nacionalmente, seguras, de fácil uso e rápida aquisição.

Algumas práticas agrícolas são necessárias para o cultivo do milho, como a aplicação de fertilizantes químicos que ajudam a superar as deficiências de nutrientes do solo e possibilitar a produtividade agrícola desejada. Porém, o uso excessivo e inadequados desses pode reduzir a fertilidade do solo a longo prazo, acidificando o seu pH. Essa e outras diversas práticas inadequadas podem gerar compactação do solo, formação de crostas, deficiência de nutrientes, redução da biodiversidade e biomassa da biota do solo, desequilíbrio hídrico e interrupção dos ciclos dos elementos. Então, urge como necessário a adoção de outras maneiras de aumentar o nível dos nutrientes do solo de modo que possibilite a produção mas que não traga ou diminuam prejuízos quanto à sua qualidade a longo prazo. É importante que a qualidade do solo seja preservada tanto quanto à própria produção, afinal, há fortes relações entre a biota do solo, a fertilidade do solo, saúde das plantas e até na saúde humana e animal. Então, reduzir os efeitos

ambientais da atividade humana e manter a produção agrícola estável torna-se cada vez mais importante (ODELADE; BABALOLA, 2019).

A extração dos nutrientes do solo pelo milho aumenta com base na sua produtividade, com o nitrogênio e potássio como elementos de maior importância, seguidos pelo cálcio, magnésio e fósforo. Os micronutrientes: ferro, manganês, zinco, boro e cobre são importantes mas em menor quantidade: para 9 t de grãos/ha, são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e 9 g de molibdênio (RIBEIRO, 2014).

O solo é um elo significativo entre a água e o ar consumidos no ambiente. Para mensurar características relacionadas à qualidade do solo, bem como suas eventuais mudanças, podem ser eleitos e analisados indicadores químicos, físicos e biológicos. Dentre os biológicos, os microrganismos de solo estão entre pois conectam-se com as raízes das plantas, reciclam nutrientes, decompõem a matéria orgânica e respondem rapidamente a qualquer mudança que ocorra no ecossistema do solo, atuando como indicadores precisos de funções específicas no ambiente, como bioprocessos naturais e presença de contaminantes (ODELADE; BABALOLA, 2019).

As funções da comunidade microbiana contidas na sua relação com o solo e plantas podem estabelecer um ambiente ecológico sustentável para apoiar o crescimento, desenvolvimento e rendimentos a longo prazo. Portanto, uma compreensão das funções, comportamento e processos de comunicação das comunidades microbianas no solo com as plantas é fundamental para a prevenção de práticas de manejo inesperadas antes do início de danos irreparáveis no agroecossistema. De fato, a compreensão das atividades microbianas fornecerá diagnósticos consistentes da qualidade sustentável do solo e da produção agrícola. O papel da biota do solo na melhoria da produtividade e fertilidade do solo por meio de processos biológicos foi reconhecido como uma estratégia fundamental para a sustentabilidade agrícola (TAHAT et al., 2020).

A ciclagem dos elementos, água, matéria orgânica, supressão de patógenos, sustento de atividades biológicas, inativação de materiais tóxicos são características de processos de solos saudáveis, pois, a biodiversidade microbiana está em pleno desenvolvimento e manutenção, estando intimamente ligada a disponibilidade de carbono e nitrogênio no ambiente. O nitrogênio molecular

presente na atmosfera está indisponível para a maior parte dos organismos, apenas alguns microrganismos conseguem assimilá-lo diretamente. Algumas bactérias participam da decomposição de matéria orgânica e realizam a redução de nitrogênio orgânico em amônia ou íon amônio e dessa forma disponibilizam o nutriente ao solo e a outros seres. Em condições de equilíbrio no ambiente, é caracterizado por uma proporcional relação amônio:nitrato e baixa emissão de gases de nitrogênio (INAGAKI et al., 2013).

O nitrogênio pode ser encontrado na natureza no formato de gases: N_2 , NO, NO_2 , N_2O , NH_3 , em formas ionizadas (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) ou em formas orgânicas constituindo a matéria orgânica. As formas que o milho consegue absorver e utilizá-lo no seu metabolismo de crescimento são: amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), contudo, no ambiente essas formas estão em concentrações muito mínimas para possibilitar a produtividade esperada para a cultura - cerca de 2% do nitrogênio total (SHIMADA, 2021).

Há 2 processos biológicos realizados por micro-organismos relacionados à mineralização do nitrogênio a partir de fontes orgânicas, tornando-se disponíveis aos vegetais: O primeiro é a amonificação, que é realizado por bactérias e fungos decompositores de matéria orgânica, que liberam amônia NH_3 no ambiente. Essa amônia combina-se com a água do solo e liberam íon amônio NH_4^+ e hidroxila OH^- . As plantas podem absorver esse íon amônio direto do solo oriundo da presença natural de fezes animais, decomposição de matéria orgânica ou da adubação nitrogenada. O outro processo é a nitrificação, que inicialmente transforma amônio em nitrito NO_2^- (na fase nitrificação, mediado por bactérias dos gêneros (*Nitrosomonas* e *Nitrosospira*) e posteriormente a conversão de nitrito a nitrato NO_3^- (na rápida fase nitratação, realizado por nitrobactérias, cujo produto raramente se acumula no solo pois é facilmente lixiviado) (POLETTTO; GROHS; MUNDSTOCK, 2008). Durante o crescimento do milho, o pico de absorção desses compostos, amônia e nitrato, é durante o período de formação das estruturas reprodutivas e no estágio reprodutivo, variando em literatura entre 80 e 100 ou 100 e 120 dias após a emergência (PINHO et al., 2009).

Microrganismos podem aumentar a produtividade das culturas, devido a diversos mecanismos de atuação envolvendo sua capacidade de induzir produção reguladores de crescimento de plantas (fitormônios), suprimir doenças ao induzir

maior resistência nos vegetais, conferir maior fornecimento de nutrientes às plantas quando em associação, aumentar a tolerância a estresse hídrico ou salino, mineralizar nutrientes e solubilizar fosfatos (MAJEED, MUHAMMAD, AHMAD, 2018). Alguns gêneros bacterianos citados como Bactérias promotoras de crescimento vegetal comuns são: *Streptomyces*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum* (GODOY; FERREIRA, 2017).

Vários desses gêneros podem estar presentes no solo, colonizando a região das raízes (rizosfera), filosferas (região das folhas), ou ainda tecidos internos. A especificidade da interação e os benefícios possíveis dependem das características tanto das plantas, como dos microrganismos e do ambiente. Poucos organismos, a exemplo do *Rhizobium*, conseguem realizar todos os processos envolvendo a assimilação do nitrogênio atmosférico e convertê-lo em amônia, depois em nitrito e posteriormente em nitrato. Então, é proveitoso para o ecossistema a diversidade de microrganismos no solo para que a manutenção do ciclo do nitrogênio e outros nutrientes seja mantida (SPOLAOR et al., 2016).

Os microrganismos estão presentes em maior quantidade e diversidade em ecossistemas nos quais há um maior cuidado com a qualidade do solo preservando ao máximo suas características inerentes, com baixa quantidade de insumos químicos administrados, pois fertilizantes nitrogenados em altas quantidades reduzem o potencial de nitratação do solo, nos quais há preservação da diversidade vegetal (tendo em vista que monocultivos esgotam mais rapidamente nutrientes), onde há rotação de culturas e mais água presente (MORO et al., 2016),.

Uma das formas de promover a manutenção da saúde do solo é adoção de boas práticas de cultivo para que aumente a fixação biológica de nitrogênio no solo, e assim, o incremento das atividades metabólicas vegetais. Além disso, o bioestímulo através da adição no ambiente de compostos orgânicos ricos em nutrientes para que aumentando a microbiota vegetal, intensifiquem-se as suas funções biológicas e proporcionem ao ecossistema o efeito desejado, tanto o crescimento vegetal quanto outros efeitos (MACIK et al., 2020). O resíduo de malte de cevada já foi estudado como substrato para microrganismos atuantes em biorremediação de solos contaminados por diesel, provando-se capaz de fornecer

nutrientes para as bactérias estudadas e, neste caso, com o aumento da sua população, promover a metabolização e degradação de petróleo bruto ou derivados depositados no solo (OGUGBUE; MBAKWEM-ANIEBO; SOLOMON; 2011).

2.3 AGROINDÚSTRIA CERVEJEIRA BRASILEIRA

O setor cervejeiro no Brasil está em crescimento contínuo nos últimos anos. O Brasil é o terceiro maior produtor da bebida no planeta, sendo a bebida alcoólica mais consumida nacionalmente. Os dados do Anuário da Cerveja de 2021 mostram um crescimento no setor, apontando o aumento do número de registros de cervejarias desde 2000, quando havia 40 cervejarias registradas em todo o território nacional, até totalizar 1549 estabelecimentos em 2021 (um crescimento de 3678%), com pico de crescimento em 2016, com 85% dos estabelecimentos sediados nas regiões sudeste e sul do país (MAPA, 2021).

A cerveja é uma bebida feita do grão de cevada, água, lúpulo e a levedura (Fermento). Em algumas formulações, podem ser incluídos outros ingredientes - ditos, adjuntos- como o milho, o trigo, o sorgo e o arroz na qualidade de fontes alternativas de carboidrato para a produção da cerveja, diminuindo os custos de produção e fornecendo fonte de nutrientes para a levedura fermentar a solução. Mas, nem a cevada nem o lúpulo são dispensáveis. E quando a cerveja é pura, sem adjuntos, sua qualidade é considerada melhor. A formulação final da cerveja será constituída de: 90 a 95% de água, 2 a 6% de etanol, 0,35 a 0,50% de dióxido de carbono e 2 a 6% de extrato residual. Seu pH final em torno de 4,0 normalmente, de alto teor de carboidratos, vitaminas do complexo B (B1, B2, B5) e sais minerais (Ca, P, K, Zn, Mg) incluídos em sua composição – 0,4 g L⁻¹ (MAPA, 2021).

Após a mosturação, a fração líquida “mosto” é direcionada para ser base para a cerveja, e o malte de cevada, pode ser seco ou diretamente coletado e armazenado ou descartado. Ao final dessa etapa, obtém-se o resíduo de malte de cevada (RMC) como subproduto, que representa cerca de 85% do total de subprodutos da produção cervejeira. Assim, é um subproduto orgânico, gerado em alto volume e com baixo custo de aquisição, e potencialmente valioso para a exploração industrial. O RMC é basicamente constituído pelas cascas da cevada maltada, predominantemente fibroso (70% do peso seco) e proteico (15 a 25% do peso seco), e também contém lipídios, minerais, vitaminas, aminoácidos e

compostos fenólicos. Para cada cem litros de cerveja produzidos, são gerados 20 kg de resíduos secos, representando 85% do total de resíduos sólidos do processo de produção (ONOFRE et al., 2017).

O RMC quando degradado, gera substâncias orgânicas complexas como: dióxido de carbono, água, sulfato, fosfato e nitrato, que podem promover alterações no equilíbrio ecológico do ambiente em que são despejados – Existem dados que são produzidos entre 3 a 10 litros de efluentes residuais por litro de cerveja produzida nas cervejarias (KANAGACHANDRAN; JAYARATNE, 2006). As pesquisas em torno do aproveitamento do RMC concentram-se em torno de: produção de rações animais, produção de compostos de alto valor agregado (xilitol, ácido láctico, enzimas), cultivo de microrganismos, produção de biogás por fermentação anaeróbia e matéria-prima para extração de compostos como açúcares, proteínas, ácidos e antioxidantes (ALIYU; BALA, 2011).

O RMC é de alto valor nutritivo, uma vez que contem alto teor de celulose, hemiceluloses, lignina e proteínas. Os monossacarídeos mais abundantes encontrados no RMC são xilose, glicose e arabinose. Outros incluem minerais, vitaminas e aminoácidos. As vitaminas incluem: biotina, colina, ácido fólico, niacina, ácido pantotênico, riboflavina, tiamina e piridoxina. Altas quantidades de cálcio, magnésio, silício e fósforo foram relatadas, enquanto outros minerais (como cobalto, cobre, ferro, manganês, potássio, selênio, sódio e enxofre) detectados no RMC foram de concentrações mais baixas. A variação na composição percentual dos componentes é atribuível à variedade dos grãos utilizados, época de colheita, condições de maltagem e mosturação, e a qualidade e tipo de adjuntos utilizados durante o processo (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008).

O baixo valor comercial do RMC e os problemas associados ao seu descarte inadequado em quantidades de milhares de toneladas todos os anos levaram a indústria e a comunidade científica a explorar formas alternativas de utilizá-lo. Uma das dificuldades quanto ao reaproveitamento de R.A. é a dificuldade em mudar o estado em que são coletados mas preservando sua composição, pois geralmente, necessitam ser tratados antes de seu descarte no ambiente ou para o uso em um segundo momento, o que demanda custo e mão de obra adicionais para as indústrias, sendo considerado, em muitos casos, um custo operacional adicional muito alto (TREVIZAN et al., 2021).

Os Resíduos Agroindustriais (R.A.), como o RMC, devem ser tratados antes de serem lançados no ambiente para evitar interferências no equilíbrio ecológico. Como tal, existe um grande incentivo para reduzir a geração de resíduos ou promover a sua reutilização em outros processos. Na perspectiva de produzir produtos de maior valor agregado e destinar os R.A. gerados para fins mais nobres, os bioprocessos industriais têm se apresentado como uma forma potencial de destinação desses materiais (ONOFRE et al., 2017). R.A. são despejados em aterros, que muitas vezes não possuem estrutura de contenção dos poluentes ali despejados, ou poluentes gerados com a decomposição dos resíduos, contaminando o ambiente. Alguns dos possíveis efeitos relatados são: ecotoxicidade e acidificação terrestre, ecotoxicidade e acidificação e eutrofização aquática, oxidação fotoquímica, formação de materiais particulados poluentes (micropoluentes), ocupação de grande espaço de área, depleção de metais pesados (caso o resíduo esteja contaminado) (PETIT et al., 2020).

Várias aplicações potenciais para os R.A. têm sido propostas e exploradas aproveitando suas propriedades físico-químicas e alto valor nutricional e, por exemplo: fabricação de etanol, ácido lático, carvão ativado, xilitol, aproveitamento para alimentação animal, materiais de construção, matéria-prima na indústria de fabricação de papel devido ao seu baixo teor de cinzas e sua alta quantidade de material fibroso, produção de energia a partir da combustão direta, produção de tijolos de carvão, também testado como adsorvente para vários tipos de compostos, substrato para microrganismos obterem bioprodutos, incorporação em outros produtos de alimentação humana e animal e aproveitamento na agricultura (ALIYU, BALA, 2011).

A utilização do RMC apresenta muitos desafios: o composto é gerado em altas quantidades, apresenta baixo valor de mercado (o que faz os produtores perderem o interesse em adotar e padronizar processos de reaproveitamento para vendê-lo), o alto teor de açúcares fermentáveis, proteínas e umidade constitui uma condição adequada para o crescimento de microrganismos deteriorantes do composto, em cerca de 7 a 10 dias, dificultando o seu armazenamento, problemas ambientais proporcionados pela sua deposição no ambiente de maneira inadequada e desconhecimento de protocolos de armazenamento duradouro. Também há o quesito importante da segurança alimentar: o processamento da cevada até ser obtido o malte de cevada não inviabiliza todas as micotoxinas que

podem estar presente no subproduto, e se for destinado para ração configura-se como um perigo a saúde animal. Para a sua secagem em altos volumes, as cervejarias requerem custos altos com maquinário específico e com energia elétrica e nem todos os produtores dispõem desse interesse e condições. Alguns métodos que podem ser usados para a diminuição da umidade total do resíduo: secagem em estufa ou liofilização, congelamento, a secagem em camada fina usando vapor superaquecido e membranas de filtração para pressões. (ASSANDRINI et al., 2021).

Nos últimos anos, houve uma tendência crescente para a utilização de resíduos orgânicos, como resíduos das indústrias agrícola, florestal e alimentar como matéria-prima para a produção de produtos de valor agregado usando diferentes técnicas. A utilização desses resíduos, além de fornecer substratos alternativos, ajuda a solucionar problemas ambientais que de outra forma são causados pelo seu descarte incorreto. No entanto, tempo, localização e composição, eficácia ambiental, viabilidade tecnológica, aceitabilidade social e acessibilidade econômica estão entre os principais desafios associados à utilização confiável e sustentável do RMC. Embora muitos processos de laboratório, produtos e tecnologias tenham sido explorados, a produção em escala industrial de recursos renováveis a partir do RMC ainda carece de informações. Assim, a reciclagem eficiente de RMC requer um extenso trabalho de Pesquisa e Desenvolvimento para explorar novas aplicações e maximizar o uso de tecnologias existentes para uma gestão sustentável e ambientalmente correta. Finalmente, é necessário mais conhecimento para a utilização em larga escala, que envolve experimentos de laboratório e de campo com processos de controle adequados (ALIYU, BALA, 2011).

O RMC ao ser coletado e diretamente despejado no solo pode gerar efeitos adversos no crescimento das plantas e/ou na germinação de sementes. Os efeitos tóxicos dos resíduos orgânicos são o resultado da combinação de vários fatores, incluindo depósito de amônia, sais, metais pesados e ácidos graxos de baixa massa molecular. Conforme relatado em literatura, devido à sua caracterização química, o RMC não é adequado para ser despejado no solo direto, necessitando ser adicionados outros compostos para reduzir sua acidez e digerir parte de seus componentes mais complexos para torna-los acessíveis aos vegetais. A adição de agentes de volume lignocelulósicos ao RMC, como palha de trigo, lascas de

madeira ou serragem, reduz o teor de umidade durante o processo de compostagem. A adição desses subprodutos ricos em carbono também pode melhorar a otimização das propriedades do substrato, como sua relação C:N, espaços aéreos e pH, podem beneficiar positivamente o processo de compostagem (ASSANDRINI et al., 2021).

A degradabilidade do RMC é considerada baixa devido ao seu alto teor de materiais complexos em sua composição, como lignina, hemicelulose e celulose. Algumas pesquisas avaliaram tratamentos para o material a fim de constatar se há como torná-lo mais aproveitável, incluindo tratamentos físicos, químicos, biológicos e híbridos. O tratamento físico pode incluir etapas de moagem, cavitação, refinamento mecânico, extração por água quente, aquecimento por micro-ondas e outros, que incluem submeter o material ao aumento de temperatura e pressão. Tratamentos químicos incluem digestão ácida, digestão alcalina e reações de fenton - porém, ambientalmente danosas. Tratamentos biológicos incluem ensilagem, microaeração, consórcio microbiano, pré-tratamento enzimático e digestão anaeróbica com outros materiais. Ainda há a oxidação úmida e congelamento, considerada um tratamento híbrido (EMMANUEL; NGANYIRA, SHAO, 2022).

Buscando em literatura é possível encontrar diversos estudos de autores avaliando o potencial agrícola do RMC no estímulo do crescimento de plantas: Muhammed; Thomas; Hamed (2015) determinaram a viabilidade de explorar diferentes níveis de RMC misturados com o solo como substrato para cultivo de repolho e alface, investigando a sua capacidade de aumentar o crescimento das plantas e também a sua segurança microbiológica no quesito patógenos em doenças de plantas, tendo em vista sua microbiota endógena. Os resultados mostraram o efeito positivo do RMC em favorecer o crescimento de repolho e alface, aumentando o número de folhas, bem como o peso da planta, especialmente na proporção de 40% e 20%. As melhorias observadas no experimento refletiu a melhoria da fertilidade do solo, possivelmente devido aos altos teores de N, P, K, Ca, Mg e C, maior número de folhas de repolho e alface, maior índice de área foliar que levariam ao aumento da fotossíntese e ao aumento do crescimento da planta. O estudo também demonstrou aumento dos níveis de bactérias heterotróficas totais no solo.

Vicente et al. (2020) avaliaram o uso do RMC para a produção de adubo fermentado orgânico (do tipo “*Bokashi*”) como fonte alternativa de matéria orgânica para alface (*Lactuca sativa*), sendo a porcentagem de melhores resultados a de 15%. Maeda et al. (2006) avaliaram o cultivo do eucalipto (*Eucalyptus badjensis*) com o RMC associado a esterco caprino compostado e a serragem de madeira, e constataram que é possível o cultivo, sendo a melhor proporção de 25% ou um quarto para RMC/serragem de madeira. Brito et al. (2010) analisaram a possibilidade de empregar o RMC na formulação de adubo, bem como sua influência sobre os atributos químicos do solo. Os resultados indicaram que usar o RMC como substrato até na proporção de 50% do volume total de solo possibilita diversas melhorias, incluindo capacidade de Troca Catiônica e aumento de minerais. Rosin e Teixeira (2018) analisaram a possibilidade de empregar o RMC na formulação de substratos a serem usados como adubo, bem como sua influência sobre os atributos químicos do solo. Os resultados indicaram que usar o RMC como substrato até na proporção entre 5% e 10% do volume total de solo possibilita diversas melhorias, incluindo na capacidade de Troca Catiônica, aumento de matéria orgânica e minerais disponíveis no solo (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro), melhoria na aeração do solo, capacidade de retenção de água e de nutrientes e ligeiro acréscimo ao pH do solo. De acordo com os resultados obtidos por Brito et al. (2010), pode-se concluir que a compostagem pode ser considerada como uma alternativa para o tratamento de RMC, obtendo-se um composto com possível uso como corretivo de solo, de relação de C/N < 12, aumento na capacidade de troca catiônica, evidenciando a humificação da matéria orgânica, redução da fitotoxicidade em relação ao RMC puro e possibilitando índice de germinação de agrião (*Lepidium sativum* L.) maior que 50%.

Kanagachandran e Jayaratne (2006) avaliaram a composição e potencial agrícola do RMC seco ao sol na taxa de germinação e crescimento da abóbora e pimenta. Quanto à germinação, as sementes de abóbora e pimenta semeadas com substratos contendo 50% do peso em RMC seco ao sol + 50% outros compostos orgânicos, apresentaram aumento do peso seco em comparação com as que não possuíam essa condição (47% e 130% para essas duas condições citadas em comparação com as que não tinham adição alguma). A adição de 30% RMC resultou em uma elevação de 155% na biomassa seca em plantas de pimenta em

comparação com as germinadas em composto orgânico sozinho. Pode-se observar que a porcentagem de nitrogênio incorporado no tecido vegetal foi quase o dobro nas plantas germinadas sob a presença de RMC. Embora esse RMC apresentou-se com baixo teor de potássio, as plantas que cresceram em contato com o substrato tiveram mais absorção desse mineral (KANAGACHANDRAN; JAYARATNE, 2006).

Em suma, tendo em vista o alto teor nutricional do RMC e as dificuldades com seu reaproveitamento, assim como a relevância da temática de agricultura sustentável, e a importante produção de milho no Brasil, preconiza-se averiguar se há possibilidade de reutilizar o RMC na agricultura familiar e oferecer uma alternativa para fertilização orgânica dos cultivos de milhos.

3 OBJETIVOS

- **Objetivo Geral**

Elucidar o potencial agrícola que este resíduo apresenta por meio do possível estímulo sobre a microbiota do solo, que é intimamente ligada ao desenvolvimento vegetal, favorecendo a fertilidade na produção.

- **Objetivos Específicos:**

1. Analisar influência da adição do Resíduo de Malte de Cevada sobre a microbiota do solo para bactérias heterotróficas totais.
2. Mensurar o desenvolvimento vegetal do milho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Substrato

A terra utilizada no plantio do milho foi adquirida em casa de materiais para jardinagem e a areia foi adquirida em uma casa de material de construção. A caracterização dos substratos compreendeu determinações de pH, Capacidade de Retenção de Água, Carbono Total, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Granulometria (Metodologias descritas na subseção 4.4). O Resíduo de Malte de cevada foi cedido por uma cervejaria artesanal do município de Cabedelo, Paraíba e mantido refrigerado até o uso.

4.2 MILHO

O milho usado para todos os cultivos foi adquirido como semente, de uma variedade comercial AG 1051 adquirida “à granel” em uma casa de sementes na cidade de Patos, Paraíba, Brasil. A amostra era uniforme e de mesma origem para o experimento.

4.3 CULTIVO

O cultivo foi realizado no Centro de Biotecnologia, da Universidade Federal da Paraíba, em ambiente aberto ao ar livre, durante os meses de outubro e dezembro de 2022. Vale salientar que houve mudanças sazonais nas estações durante o período do experimento, o que tornou o fornecimento de rega não padronizado na frequência, pois dependia dos períodos de estiagem e chuva. A irrigação do cultivo consistia em fornecer até 60% da capacidade de retenção de água do solo. A frequência de irrigação variava, tendo em vista que a frequência que o substrato se encontrava úmido, seco ou muito úmido também variava em

decorrência das alterações sazonais (ocorrência de chuvas ou sol prolongado); e aconteciam de 3 a 4 vezes por semana com o auxílio de um regador. Foram plantadas 5 a 6 sementes por vaso, em sulcos abertos manualmente, de cerca de 3 cm de profundidade. Após 9 dias, foi realizado o desbaste de algumas plantas, deixando apenas 3 por vaso, e depois, apenas 1 por vaso (Figura 1). O projeto contou com um experimento prévio, e esse continha um tratamento no qual havia Areia + 10% de RMC, no qual não houve crescimento vegetal, e notou-se crescimento de lodo e odor, então, o grupo foi desconsiderado para a repetição do plantio. O tratamento foi substituído por outra condição: a adição do fertilizante químico NPK 10:10:10 na areia para avaliar o desenvolvimento do milho em um substrato pobre em nutrientes na presença de um fertilizante químico comercial.

FIGURA 1- Mudas de milho em vasos, submetidas ou não a bioestimulação do solo com resíduo de cevada de malte



Fonte: Dados da Pesquisa. (2023)

Para cada vaso, foram produzidos diversos furos abaixo para o escoamento da água. Cada um destes, recebeu 6 kg de substrato total, sendo terra, areia, ou terra acrescido de RMC, em diferentes proporções, para servir de substrato. Para

o experimento, foram formados cinco tratamentos (TT): Tratamento Controle (T1) – no qual havia um solo local sem bioestimulação, Tratamento T2: solo acrescido de 2,5% de Resíduo de Malte de cevada, Tratamento T3: solo acrescido de 5% de Resíduo de Malte de Cevada, Tratamento T4: solo acrescido de 10% de Resíduo de malte de cevada, Tratamento T5 (no qual recebeu 1 g de NPK 10:10:10 como forma de fertilização para o milho). Cada tratamento, ao final do desbaste, continha quatro repetições (1 por vaso) viáveis que cresceram durante 50 dias e foram avaliados. N = 4 por tratamento, n total= 20 indivíduos (Quadro 1):

Quadro 1: Descrição dos Tratamentos Usados No Experimento de cultivo de milho na presença ou não de resíduo de malte de cevada sob diferentes proporções

Sigla	Descrição
T1	Tratamento Controle
T2	Terra + 2,5% de Resíduo de Malte de cevada
T3	Terra + 5% de Resíduo de Malte de Cevada
T4	Terra + 10% de Resíduo de malte de cevada
T5	Areia + 1g de NPK 10:10:10

Fonte: Dados da pesquisa. (2023)

4.4 ANÁLISE FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS

As análises da terra foram realizadas pelo Laboratório Merieux Nutriscience, sediado em Paulista (Estado de Pernambuco). Foram empregadas as metodologias descritas pela Agência Ambiental Estadunidense (USEPA, 1992). A areia foi analisada pela empresa Bioagri Ambiental Ltda., Piracicaba/SP Seguindo as metodologias: Para granulometria: ISO 13320: 2009 / Para Carbono Orgânico: POP PA 182 (EMBRAPA, 2011); Para Porcentagem de Sólidos e Cinzas: SMWW, 23a Edição, Método 2540 G (APHA, 2017); Para Nitrogênio Total: POP PA 005 (EMBRAPA, 2011). A capacidade de retenção de água do solo (vide Embrapa, 2011) e umidade (VASCONCELOS; FRANÇA; OLIVEIRA, 2011) foram obtidas no Laboratório de Microbiologia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba.

4.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DOS SUBSTRATOS

As análises microbiológicas foram conduzidas no Laboratório de Microbiologia Ambiental do Centro de Biotecnologia da Universidade Federal da Paraíba, para o dia 0 e dia 50 de cultivo, buscando quantificar o grupo das Bactérias Heterotróficas Totais – BHT para a terra e areia usados no experimento. Para a quantificação de BHT, dos substratos foram retiradas amostras de 3 cm de profundidade e armazenando-as em coletores plásticos esterilizados. Depois, 10 gramas dessa massa de solo foram diluídos em solução salina NaCl 0,9% por diluição seriada, de 10^{-2} à 10^{-6} e de cada diluição, foi transferida uma alíquota de 0,1 mL em placas de Petri, semeada pela técnica de *Pour plate* contendo meio de cultura TSA (Tryptic Soy Agar, 50g/ L). As placas foram incubadas a 25 °C por 48 h. Para efeito de contagem consideraram-se as placas contendo entre 30 e 300 colônias, com os resultados expressos em Unidades Formadoras de Colônia/cm² /grama de solo (EMBRAPA, 1979). A contagem foi realizada com o auxílio de um contador de colônias, correspondente à área de 1 cm² da placa, com três quadrantes observados por placas (EMBRAPA, 1979). A população das bactérias heterotróficas totais foi estimada aplicando as seguintes fórmulas (SILVA et al. 2018...):

$$X \text{ (UFC/g/cm}^2\text{)} = M \times A \times d \times 10 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, M – média das colônias contadas nos quadrantes, A – área da placa de Petri, d – diluição empregada (10^5), e 10 (conversão da massa para grama).

4.6 ANÁLISE DE BIOMASSA VEGETAL E MATÉRIA SECA

Ao 50º dia de cultivo, foi realizada a medição das plantas com o auxílio de uma fita métrica, usando a escala em centímetros, para altura (h), largura e comprimento das folhas e diâmetro do colmo. Também foi realizada a contagem das folhas viáveis por planta. Depois, com o auxílio de uma serrilha, foi separado o caule das raízes de todas as plantas, sendo as raízes lavadas em água corrente para separar a terra. As raízes e os caules foram separados em sacos de papel e levados à estufa de secagem à 65 °C por 7 dias e depois pesados para obtenção da massa seca em gramas (g) seguindo metodologia de PALHARES (2003).

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados das Unidades Formadoras de Colônias (representando a população microbiana estimada) e Biomassa vegetal foram examinados para a normalidade e homogeneidade de variâncias, mostrando-se não normais (empregando o teste de Shapiro-Wilk: $p = 0.0008$) e homocedásticos (empregando o teste de Levene, $p = 0,7527$). Os dados de substrato de areia (dia 0 e 50º dia) não foram incluídos na análise, visto que não apresentaram variabilidade intra-grupo, bem como os milhos plantados na areia não apresentaram crescimento (altura $h < 30$ cm) e a estimativa da microbiota final e inicial não diferiram estatisticamente. Alternativamente, adotou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar diferenças entre os tratamentos com o teste a posteriori de Dunn para comparações par-a-par.

A segunda abordagem estatística testou a hipótese que a biomassa vegetal do milho (mensurado a partir de seis variáveis: altura, número de folhas viáveis, diâmetro do colmo, diâmetro foliar e massa seca da parte aérea e das raízes) é diretamente influenciada pela maior presença do RMC. Para isso, usou-se uma análise dos componentes principais “PCA” (*Principal Component Analysis*) como método de ordenamento no intuito de sumarizar em poucos eixos a multidimensionalidade dos dados e encontrar padrões de segregação entre os tratamentos. Os dados de altura, diâmetro do colmo, diâmetro foliar, número de folhas, massa da parte aérea e massa da raiz foram transformados em $\log(x)$ para padronização das unidades. Posteriormente, extraiu-se o componente principal 1 (eixo 1) e o utilizou-se como proxy da biomassa vegetal (variável-resposta) para verificar diferenças entre os TT (variáveis categóricas). Esta nova variável mostrou-se normal (Teste de Shapiro-Wilk, $p = 0.6384$) e homocedástica (Teste de Levene, $p = 0,5271$) permitindo aplicar uma Análise de Variância (ANOVA) unifatorial com o teste de *post-hoc* de Tukey para comparações par-a-par. Todas as análises foram realizadas pelo programa R (R Core Team, 2020) adotando-se nível de significância 0,05 para diferenças estatísticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A terra empregada no experimento continha alta concentração de fósforo e nitrogênio (Tabela 1) o que possibilitou o crescimento do milho mesmo no tratamento controle que não recebeu suplementação do RMC. Sua umidade

estava em 1,4%, e sua capacidade de retenção de água, 1,39. A granulometria da terra também favoreceu seu desenvolvimento, pois não apresentava teores altos de areia ou argila – tendo em vista que solos arenosos são mais passíveis de perderem nutrientes, água e matéria orgânica, pois os nutrientes são pouco adsorvidos. Já os solos com teores altos de argila são mais compactados e o sistema radicular dos vegetais como o milho não desenvolve-se bem em virtude de não ser permeável para as suas raízes (CRUZ et al., 2011). Um dos tratamentos recebeu areia como substrato tendo em vista o intuito de comparar um substrato pobre suplementado por um fertilizante químico com o solo suplementado com o RMC e o solo controle. Ademais, conforme afirmado, em substrato arenoso ocorre facilmente lixiviação dos nutrientes, não sendo aproveitados pela planta.

TABELA 1- DADOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SUBSTRATOS AREIA E TERRA USADOS NO EXPERIMENTO

Parâmetro	Unidade	Terra	Areia
Sólidos totais	%	85,5	85,4
Carbono orgânico total	%	0,52	0,17
Nitrogênio total	mg/kg	311	35,2
Fósforo	mg/kg	30,5	<1
Argila (<0,002 mm)	g/kg	25	8
Silte (0,053 a 0,002mm)	g/kg	196	64
Areia total (2,00 a 0,053 mm)	g/kg	779	928
Areia grossa (2,00 a 0,210 mm)	g/kg	610	601
Areia fina (0,210 a 0,053 mm)	g/kg	169	327

Fonte: Dados da pesquisa. (2023)

Como esperado, a análise do substrato areia demonstrou baixos teores em nutrientes como nitrogênio e fósforo, indispensáveis para o desenvolvimento do milho, e mesmo com a adição do fertilizante NPK 10:10:10 na razão 1g/6kg de substrato, não foi o suficiente para suplementar o crescimento do milho plantado no experimento. O RMC utilizado contém um teor de nitrogênio total de cerca de 14%, obtido pelo método de *Kjeldal* vide AOAC (2012), outros componentes não foram quantificados.

A terra e a areia, após analisadas, tiveram os valores da população microbiana estimada em Unidades Formadoras de Colônia - UFC para BHT, foram esquematizados e estão apresentados na Tabela 2 contendo Médias $\pm$ Desvio padrão. A tabela também contém a porcentagem de diferença positiva ou negativa

de T2, T3 e T4 em relação a T1, indicando diminuição ou aumento da população microbiana da terra em relação a microbiota inicial. T5 não apresentou diferenças estatísticas intra-grupo e nem entre a microbiota final e inicial.

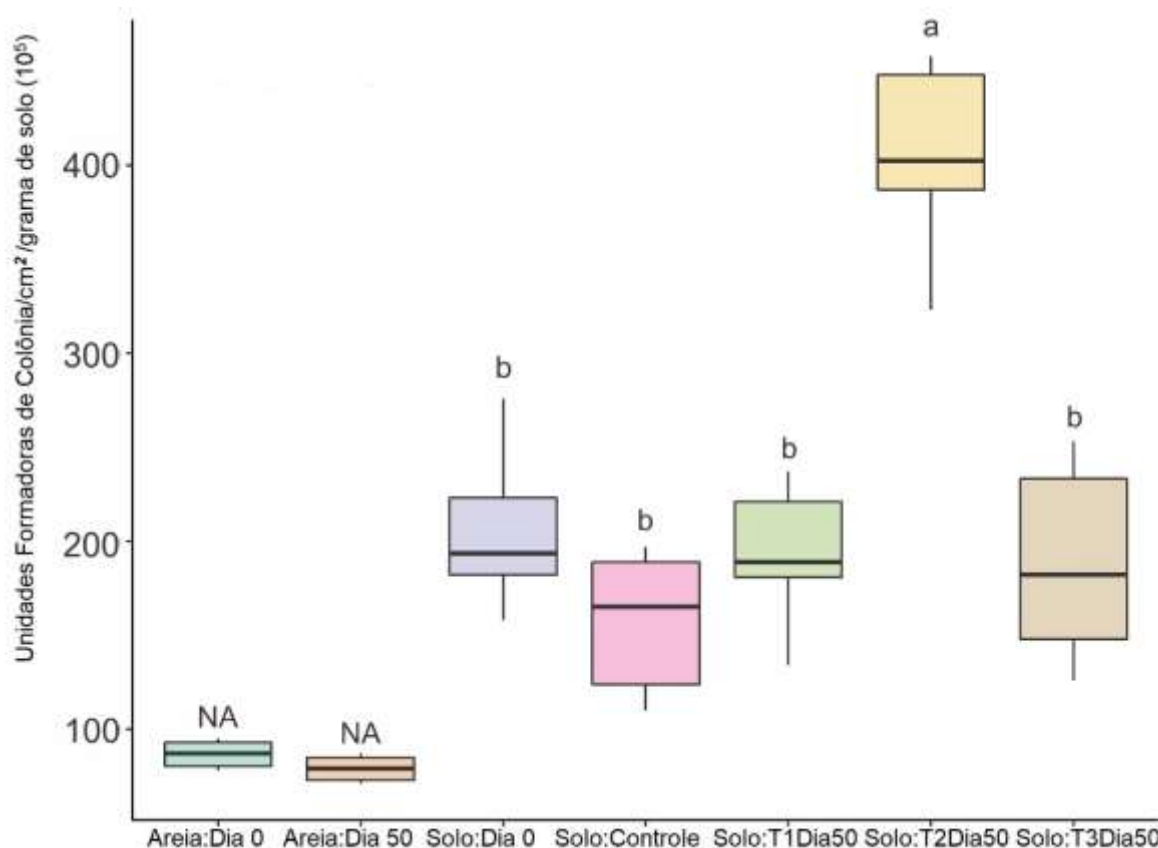
Tabela 2- Estimativa da microbiota inicial e final para BHT da areia e terra

Tratamento	Microbiota inicial (UFC x 10^5 /g)	Microbiota final – Dia 50 (UFC x 10^5 /g)	Diferença percentual entre o dia 0 e 50
T1	205 ± 42,15	157 ± 39,35	-23%
T2	205	193 ± 37,46	-6%
T3	205	405 ± 51,3	+7%
T4	205	188 ± 52,94	-8%
T5	86	79	0

Fonte: Dados da pesquisa. (2023)

O T3 foi o único dos TT que manteve um aumento (+7%) de população microbiana entre o intervalo analisado. T5 não diferiu percentualmente entre o final e início do experimento. T1 apresentou a maior queda percentual, provavelmente devido a ausência de matéria orgânica (presente no RMC) no solo, tendo em vista que o tratamento evidencia o crescimento do milho na terra adotada para o experimento a fim de correlacionar o crescimento do milho na terra sem e com adição de RMC. Então, ao final dos 50 dias, observou-se que a terra utilizada continha nutrientes o suficiente para proporcionar crescimento para o milho mesmo sem adição de matéria orgânica suplementar. T4 e T2 apresentaram uma ligeira queda da população microbiana, em 8% e 6%. A figura 2 mostra estatisticamente as diferenças entre os grupos.

FIGURA 2- Boxplot referente a variação estatística das unidades formadoras de colônias por tratamento



Legenda: NA: NÃO-APLICÁVEL. Para UFC, “a” e “b” representam grupos estatísticos, na qual “a” (T3) difere de “b”: T1, T5, T2, T4. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Uma diferença significativa foi observada para a população microbiana entre os diferentes TT utilizados (pelo teste de Kruskal-Wallis, $p = 0,002$). O teste a posteriori de Dunn demonstrou que T3 apresentou uma abundância de densidade microbiana significativamente maior que todos os outros TT (T3 x microbiota inicial; $p = 0,017$; T3 x T1; $0,001$; T3 x T2: $p = 0,005$; T3 x T4: $p = 0,005$) conforme mostrado na Figura 2. A proporção de 5% RMC/Terra se fez mais razoável para as condições do experimento, tendo em vista que o T4 continha 10% de RMC/ total substrato, e por algum fator desconhecido, não proporcionou efeito significativo para o crescimento da população microbiana. Possivelmente, a quantia de 10% de RMC para as condições testadas foi muito alta, pois uma oferta alta de matéria orgânica pode ter proporcionado um aumento exponencial da população microbiana no início do experimento, mas depois uma rápida queda quando o substrato foi consumido pelos microorganismos, resultando em uma queda ligeira

ao final do experimento. Além disso, em face da natureza orgânica do RMC e possivelmente a relação C/N do RMC, que precisa ser decomposto para haver assimilação. Se essa relação for alta, acima de 30/1, haverá imobilização de N e a população microbiana demora a crescer (CANTARELLA, 2010). T2 e T4 provavelmente tiveram um aumento inicial da população microbiana na terra devido à presença do RMC que serve de substrato de matéria orgânica para a população microbiana, e depois uma esperada queda ou estabilização. T5 era composto por uma areia pobre em nutrientes e não tinha matéria orgânica adicionada, então entende-se a variação nula na população microbiana.

Conforme Figura 3 demonstra, os dois primeiros eixos da PCA explicaram 72,7% da variação total dos dados, discriminando claramente os TT (T2, T3 e T4) e o T1 estando mais abrangente. Escores positivos do eixo 1 (52,54%) separaram os grupos T3 e T4, enquanto escores negativos do eixo 1 segregaram o grupo T2. Após a análise estatística, constatou-se que o T2 apresentou dados da biomassa vegetal menores que os outros grupos (CRUZ, 2006). A Tabela 3 apresenta em porcentagem quanto obteve-se de diferença de T2, T3, T4 em relação ao T1, admitindo-o como tratamento testemunha, para cada parâmetro. T5 não apresentou crescimento vegetal.

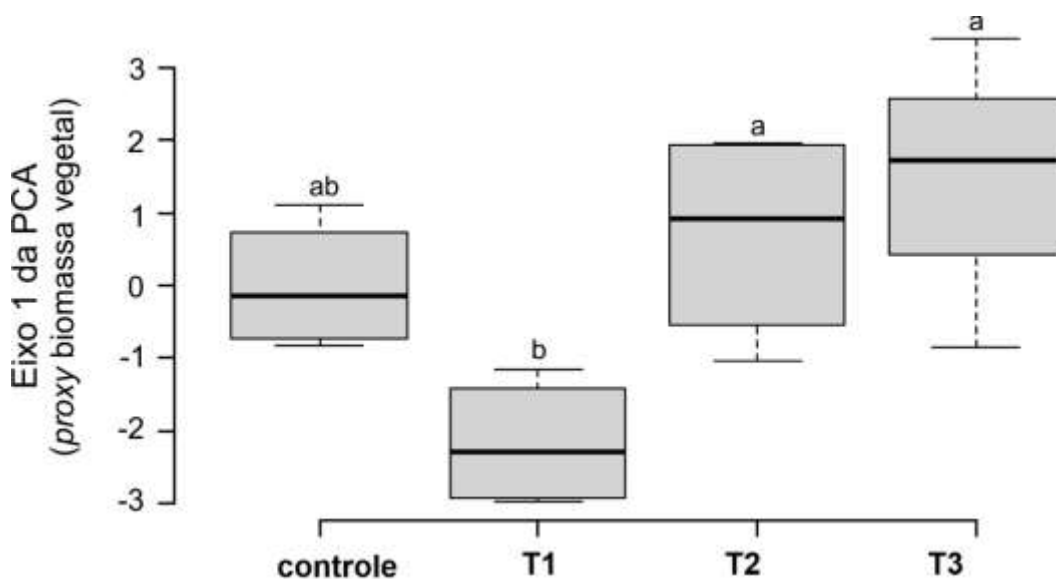
Tabela 3: Médias dos parâmetros de biomassa vegetal

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro do colmo (cm)	Diâmetro foliar (cm)	Número de folhas	Massa seca da parte aérea (g)	Massa seca das raízes (g)
T1	90±10.09	8±1.17	0,43±1.50	11±1.5	25±2.66	24±5.9
T2	81±11.23 (-10%)	7±0.49 (-12,5%)	0,38±0.06 (-11,6%)	11±0.95 (0)	19±2.74 (-24%)	18±7.22 (-25%)
T3	91±10.56 (+1%)	8±0.75 (0)	0,54±0.11 (+25%)	12±0.95 (+9%)	27±5.4 (+8%)	88±61.56 (+266%)
T4	104±12.25 (+15%)	8±0.49 (0)	0,52±0.19 (+20%)	14±1.7 (+14%)	32±6.88 (+21%)	58±23.29 (+141%)
T5	0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O grupo T2 apresentou rendimento menor do que T1 para todos os parâmetros analisados. Porém, não se pode afirmar que a porcentagem usada de 2,5% do RMC/substrato tem efeito inibitório sobre o crescimento do milho, tendo em vista que em concentrações maiores em T3 e T4 foi possível um crescimento vegetal maior que o T1 para o milho, conforme a Tabela 3 apresenta as Médias $\pm$ Desvio padrão. O grupo T3 apresentou rendimento de 266% da biomassa das raízes, como parâmetro mais significativo, também rendimento de 25% maior que T1 para diâmetro foliar. Para os outros parâmetros, foram observados rendimentos inferiores a 10% de diferença em relação a T1. O grupo T4 apresentou ganhos consideráveis para biomassa das raízes (141%), biomassa do caule (21%), diâmetro foliar (20%), altura (15%) e número de folhas (14%). Por fim, a biomassa vegetal foi superior nos grupos T3 e T4 ($p < 0,05$). O grupo T2 foi inferior aos grupos T3 e T4 ($p < 0,05$).

Figura 3- Boxplot referente às variações para a biomassa vegetal (eixo 1 da PCA) entre os tratamentos



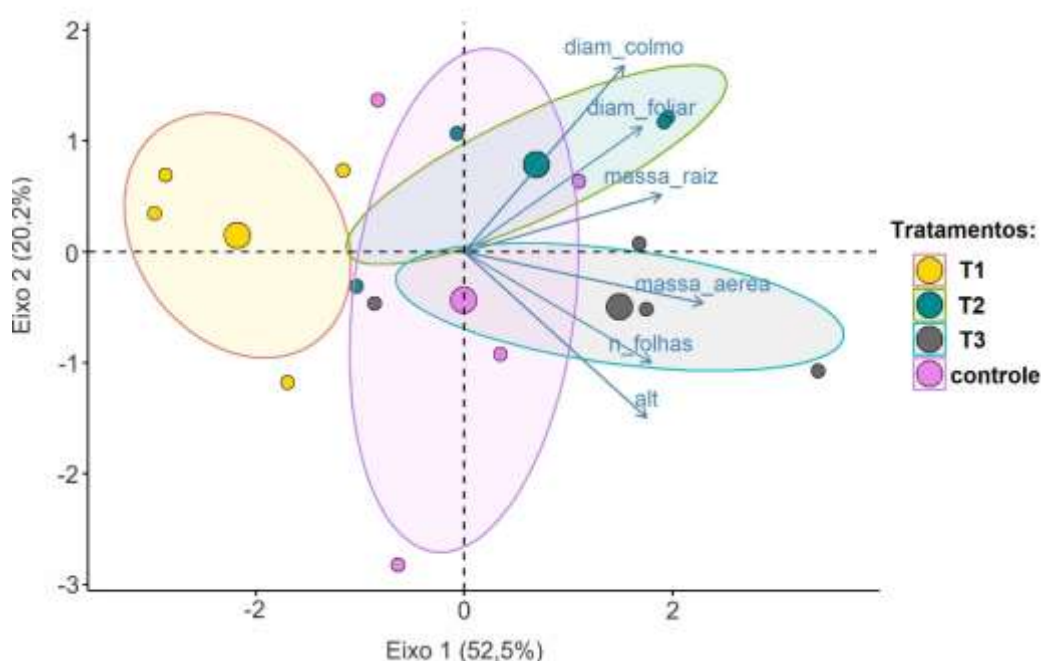
LEGENDA: T1 se assemelha estatisticamente a T2, T3 e T4; T2 difere significativamente de T3 e T4. T3 e T4 se assemelham estatisticamente, mas com diferenças não-significativas.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

T3 e T4 apresentaram dados maiores para biomassa vegetal ($p < 0,05$), conforme figura 4 demonstra, porém, manifestaram superioridades para parâmetros diferentes: Para T3, Diâmetro do colmo, diâmetro foliar e massa raiz demonstraram superioridade e para o T4, massa aérea, número de folhas e altura, ou seja, as variáveis “diâmetro do colmo”, “diâmetro foliar” e “massa da raiz” foram

superiores em T3, enquanto “massa aérea”, “número de folhas” e “altura” foram superiores em T4. Uma diferença significativa foi registrada para a biomassa vegetal (eixo 1 da PCA usado como proxy) entre os diferentes tratamentos (ANOVA unifatorial: $p = 0,011$). O teste de Tukey mostrou que o T2 difere significativamente de T3 ($p = 0,04$) e T4 ($p = 0,009$), porém não de T1 ($p = 0,14$) - conforme figura 4 demonstra.

FIGURA 4- Biplot da PCA mostrando a segregação dos tratamentos em relação às variáveis mensuradas para biomassa vegetal



Legenda: diam_colmo: diâmetro do colmo; diam_foliar: diâmetro foliar; massa_raiz: massa da raiz; massa_aerea: massa da parte aérea; n_folhas: número de folhas; alt: altura.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

T2 contendo 2,5% de RMC apresentou resultados de biomassa vegetal inferiores ao T1 (controle), mas para os grupos T3 e T4, obtiveram-se resultados superiores aos dois primeiros, demonstrando o potencial do RMC como fertilizante e corroborando com outros estudos em literatura. Quanto à interferência na população microbiana do solo, o intervalo de coleta dos dados microbiológicos (dia 0 e dia 50) foi em um intervalo longo para um sistema biológico; caso tivesse ocorrido mais coletas para estimativa microbiológica, muito provavelmente, seria observado um aumento exponencial de microrganismos no início do processo, e

depois uma queda, devido à morte de mesófilos e à predominância de termófilos (como actinobactérias e outras bactérias termófilas), conforme informado o efeito do aumento da temperatura no sistema (VALENTE et al., 2009). As concentrações de 5% e 10% demonstraram ser capazes de fornecer nutrientes para a população de BHT e diminuir a sua queda em relação ao T1, que apresentou a maior queda no número de BHT dentre os TT que receberam RMC, o que pode ser explicado pelo fato de não receber adição de matéria orgânica como o RMC. O T3 demonstrou que a adição de RMC na proporção de 5% para o solo foi benéfico para aumentar a população de microrganismos e mantê-las em quantidade mais alta que a inicial. Dentre as bactérias heterotróficas totais estimadas, as bactérias nitrificantes estão dentre o grupo de maior interesse, pois participam da mineralização do nitrogênio orgânico, para as formas minerais inorgânicas como íon Amônio e Nitrato, beneficiando o crescimento vegetal (MORO et al., 2016).

Para o aproveitamento agrícola do RMC, há estudos envolvendo sua compostagem juntamente com outros resíduos ou aplicado direto no solo. A compostagem é um processo de natureza aeróbica e exotérmica, que leva a um produto estabilizado. A compostagem implica na redução de: volume total, peso, odores, acidez, umidade, microrganismos deteriorantes e o produto final vai depender tanto da composição do material como das condições do processo (ASSANDRINI et al., 2021). O pouco crescimento do T2 pode estar ligado a metodologia do estudo dessa dissertação, que apresentou alguns fatores que sugere-se adaptações para estudos futuros a fim do melhor proveito da ação microbiana sobre a esperada mineralização do nitrogênio orgânico do RMC:

Oxigênio: Sabe-se que o processo de nitratação (produção de nitrato: NO_3^-) é aeróbico. Em solos arejados, como os que passaram por processos de melhoria na sua compactação ocorre maior presença de nitratação (MORO et al., 2016), assim como em processos de compostagem, que é um processo aeróbico, quando a porosidade do composto é acima de 50% ocorre uma otimização da ação microbiana, impedindo superaquecimento do sistema e formação de odores; O nível de O_2 tido como ideal para essa é de 15% a 20% (ASSANDRINI et al., 2021). Nesse estudo, tendo em vista que o RMC foi adicionado não compostado à terra dentro dos vasos, as condições para a microbiota da terra eram anaeróbicas; ou seja, havia limitação do fator oxigênio, necessário para o metabolismo das bactérias obterem o nitrato, e limitou-se o seu rendimento.

Temperatura: Temperaturas mais elevadas estão relacionadas a maior obtenção de amônia (amonificação), bem como sua volatilização rápida, tendo em vista que a hidrólise da ureia consegue ser maior em temperaturas por volta dos 30 °C. Nessa faixa, o metabolismo dos microrganismos torna-se mais acelerado, resultando maior mineralização e menor acúmulo do composto no solo, caso não seja prontamente absorvido pelos vegetais (VIERO et al., 2014). A temperatura no sistema do estudo passou por oscilações devido às mudanças sazonais de períodos de chuva e estiagem (Temperatura mínima registrada: 23,5 °C e Temperatura Máxima: 31,6 °C; Umidade relativa do ar mínima registrada: 54% e máxima: 93%, segundo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022); durante longos períodos, o sistema estava sob o sol intenso, portanto, extremamente aquecido. Isso pode ter favorecido a atividade microbiana inicial como crescimento e consumo de matéria orgânica do sistema, mas não necessariamente ter ocorrido alta mineralização do nitrogênio, pois outros fatores como umidade e oxigênio estavam em condições abaixo do ideal. Conforme apontado por CRUZ (2010), oscilações de temperatura prejudicam o desenvolvimento do milho, interferindo no crescimento e absorção de nutrientes.

Umidade: O processo de obtenção de amônia (amonificação) é realizado na presença da água. Se a mesma está indisponível ou em quantidade mais baixa que o desejado, por motivos de temperatura alta (causando evaporação rápida) ou irrigação em baixa quantia, também limita a ação microbiana, portanto, reduz as chances e taxas do processo ocorrer. Se a água está muito acima da capacidade de campo do solo, também há uma tendência a atrapalhar o processo de mineralização do nitrogênio pois reduz a aeração do solo (ROCHA et al., 2008). Então, a umidade entre 50 e 70% da capacidade de campo é considerada uma condição ideal para ocorrer a mineralização da amônia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2008).

No estudo, a água estava limitada aos dias de rega, desfavorecendo a sobrevivência e ação microbiana para digestão do RMC, além de que o próprio milho apresenta sua alta demanda de água para crescimento, transportes de nutrientes do solo para a planta e regulação da temperatura, que pode ser mais alta nos dias de temperaturas mais quentes (VALENTE et al., 2009). Além disso, ainda pode ter acontecido de superaquecimento do sistema devido as condições climáticas com longos períodos de sol intenso, com a água limitada, limitou-se a

atividade microbiana com o passar dos dias. Então, ao ter limitação nesse fator, há limitação na amonificação e na absorção dessa pela planta para se beneficiar da molécula no seu crescimento (MAGALHÃES, DURAES, 2006).

Em solos de alta umidade, há mais risco da amônia ser volatilizada junto com a evaporação da água, pois a atividade de hidrólise da amônia (que já é hidrossolúvel) é ativada pela presença da água, então é convertida e evapora rapidamente – por isso preferencialmente opta-se para que o fertilizante a base de uréia, que converte-se em amônia, seja aplicado no solo seco. A alta temperatura também aumenta a volatilização da amônia (ocasionando maior perda do composto), então, o composto aplicado direto no solo sob o sol, sendo convertido para amônia, pode se perder em alta velocidade antes que seja absorvido pela planta (ASSANDRINI et al. 2021)

Ritmo de crescimento vegetal e absorção de nutrientes: Sabe-se que o crescimento do milho apresenta picos de absorção do nitrato e amônia em períodos específicos de seu crescimento: entre a aparição da folha número 12 e 18 (período pré-floração) e fase reprodutiva. Então, mesmo que o nitrato e amônia estejam disponíveis antes disso, não seria de grande proveito se o milho não estivesse no período propenso a absorver essas moléculas e estas rapidamente se volatilizariam pelo calor ou seriam lixiviadas. O tempo de nitrificação também pode variar de uma região para outra e de um ecossistema para outro, mas em literatura, tem-se entre 15 e 30 dias de cultivo como um tempo razoável (sob condições favoráveis) para a toda a amônia disponível se converter em nitrato. Por isso, em muitos lugares do Brasil, aduba-se o milho com amônia 30 a 35 dias após a semeadura; para que em período favorável a absorção, a amônia seja absorvida lentamente e não toda ofertada antes que a planta possa necessitá-la e absorvê-la. Já o fósforo nos primeiros 30 a 40 dias há uma maior demanda no crescimento inicial do milho (COELHO, 2006) o que sugere que o crescimento vegetativo nesse experimento pode ter sido muito beneficiado pelo alto índice de fósforo contido na terra do experimento ou até mesmo no RMC, tendo esse como elemento de “arranque”, e não necessariamente pelo sucesso da degradabilidade e mineralização dos nutrientes do RMC.

Os estágios do crescimento do milho durante esse estudo foram do Estágio de Emergência até o V14 (14^a folha desenvolvida no grupo de mais folhas presentes), porém, antes do último estágio de crescimento vegetativo: o VT

(pendoamento), que antecede o crescimento reprodutivo. Durante esse estágio, pré-pendoamento (pré emissão do pendão), o milho é muito sensível a estresse por altas temperaturas e seca, condições também presentes nesse estudo, e interferindo no desenvolvimento normal da planta (MAGALHÃES, DURAES, 2006).

De acordo com literatura, o processo de absorção de nutrientes pelo milho aumenta linearmente com o aumento da produtividade, desde o dia da emergência até o quadragésimo ou octogésimo dia, com o máximo de acúmulo de nutrientes e matéria seca entre os dias 100 e 110 sendo o nitrogênio absorvido em maior quantidade, e em subsequência, o potássio, o fósforo, o Cálcio e o Magnésio. A maior demanda nutricional durante o crescimento do milho é no seu estágio produtivo, na qual a planta concentra na parte reprodutiva os nutrientes e começa a perdê-los na parte vegetativa, o que indica que o período mais crítico para a adubação é antes do início da produção do pendão (PINHO et al. 2009). Nesse estudo, o RMC foi ofertado logo no início do experimento, misturando-o à terra e constituindo a mistura como substrato para plantio do milho, então a oferta da matéria orgânica inicial não foi vantajosa para a época em que, após mineralizada, beneficiaria o crescimento do milho. O milho estava crescendo vegetativamente e o composto que, em teoria serviria para beneficiar o seu crescimento, já estava sendo consumido pela microbiota da terra e mineralizado (ou não) antes do período propenso à absorção dos produtos dessa mineralização. Então, ocorreu nesse experimento um cenário em que, tanto a fonte de nitrogênio foi ofertada logo no início do experimento antes mesmo do milho estar propenso a absorvê-lo, ocorrendo altas chances da volatilização ou lixiviação do íon amônio e nitrato, quanto também havia dificuldade na sobrevivência microbiana, que é necessária para a mineralização do nitrogênio, devido às condições do processo em que o oxigênio do solo e umidade estavam abaixo do ideal. Mesmo assim, foi observado um crescimento maior do milho na presença do RMC em relação à sua ausência.

Relação C/N: para um processo ideal de mineralização, a razão carbono/nitrogênio está por volta de 20 a 25:30. Em níveis diferentes, há maior risco da imobilização do nitrogênio pelos microrganismos (assimilação do nitrogênio inorgânico do ambiente para o interior dos microrganismos, transformando-o em orgânico). Solos com mais matéria orgânica tendem a beneficiar os microrganismos pois há uma maior conservação de nutrientes e, água favorecendo sua sobrevivência e metabolismo, resultando em maior

degradação de compostos fenólicos inibitórios à decomposição da matéria orgânica e processos como mineralização (MACIK et al., 2020). A Relação C:N do RMC utilizado no estudo não foi conhecida, porém, entende-se que pode ser vantajoso misturar o RMC com outros substratos para tornar essa proporção mais vantajosa para a ação microbiana. A adição de compostos como esterco de aves ou serragem (rica em lignina) em um processo de compostagem prévia, equilibrando essa proporção C:N, ajudaria no fornecimento de nutrientes, umidade e também a manter o pH controlado do substrato, pois sabe-se que o pH do RMC é tipicamente mais ácido, o que pode trazer limitações na ação microbiana ou até no metabolismo da própria planta, caso o RMC esteja em grande quantidade e aplicado diretamente no solo (ASSANDRINI et al. 2021)

Luz: Conforme a Figura 1 demonstra, a distribuição de luz no cultivo foi heterogênea, interferindo no grau de desenvolvimento vegetal e umidade do solo, tendo em vista a presença de construções de alvenaria e vegetação maiores ao redor do local de cultivo que proporcionavam sombreamento para algumas plantas e outras não, variando ao longo do dia – de acordo com a posição do sol- quanto a sombra e luz; esse efeito certamente influenciou na absorção de água do solo, na evapotranspiração das plantas – pois os vegetais regulam a temperatura interna pelas folhas através da perda de água - e na evaporação da água do solo (MAGALHÃES, DURAES, 2006).

pH: o pH do solo interfere na mineralização do nitrogênio orgânico. Um pH entre 6 e 7 é considerado ideal para o processo ocorrer (VIEIRA, 2017). Nas proporções 5% e 10% do estudo, espera-se que o RMC por ser tipicamente ácido pode ter acidificado o substrato, favorecendo levemente o processo de mineralização do nitrogênio. Em condições alcalinas, o processo de nitrificação não é completo e tende a acumular NO_2^- no solo, pois as Nitrobactérias são inibidas pela presença da amônia, que é formada em pH mais elevado (GOOSSENS et al., 2001). Em solos que passaram por correção do pH encontra-se maior ocorrência do processo de nitratação (MORO et al., 2016).

Em suma, há potencial do RMC fornecer outros nutrientes necessários ao crescimento do milho além do nitrogênio e fósforo, o que pode ser complementado com outros compostos adicionados ao RMC. Minerais podem se encontrar presentes no RMC: segundo SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO (2008), alguns desses são: cálcio, magnésio, silício e fósforo, cobalto, cobre, ferro, manganês, potássio,

selênio, sódio e enxofre. A quantidade será dependente da variedade dos grãos de cevada utilizados. Para esse estudo dessa dissertação, os minerais não foram quantificados. Em literatura encontra-se a seguinte demanda para o milho com produtividade média de 5,8 toneladas/hectares, se fazem necessários: 100 kg/ha de N, 19 kg/ha de P, 95 kg/ha de K, 17 kg/ha de Ca e 17 kg/ha de Mg (COELHO, 2006).

Em literatura, encontra-se outros autores que testaram a possibilidade do aproveitamento agrícola do RMC: Kanagachandran e Jayaratne (2006); Muhammed; Thomas; Hamed, (2015); Vicente et al., (2020) e encontraram incremento da produção de espécies como pimentas, repolho, alface e melhoria do solo. Os resultados desse estudo, confirmados e embasados por outros estudos em literatura, confirmaram a hipótese de que o RMC tem potencial de beneficiar o crescimento do milho e promover o aumento na população de bactérias heterotróficas totais de solo, tendo em vista que nas proporções de 5% e 10% houve valores maiores de biomassa vegetal do que no tratamento controle T1. Ajustes metodológicos como irrigação constante e compostagem do RMC antes de adicioná-lo ao solo, junto com análises complementares ao final do experimento, como pelo Método *kjeldahl* para quantificar nitrogênio orgânico seguido de destilação de amônia e nitrato podem inferir se houve mais amônia e nitrato produzidos pelas bactérias de solo e por meio dessa via, prover o crescimento do milho. No tratamento T3 houve um aumento na contagem de BHT (7%), já em T2 e T4 houve uma queda menor nesse parâmetro do que em T1, o que sugere que o fornecimento de RMC para o solo pode aumentar a população de bactérias heterotróficas totais ao fornecer matéria orgânica, já que para as condições testadas, a ausência de RMC resultou em uma queda maior na população de BHT (23%).

Em suma, observando os resultados estatísticos, indicou-se que houve benefício agregado pela adição do RMC, sugerindo que houve uma correlação não fortemente expressiva entre o aumento da população microbiana estimada por UFC e o aumento de biomassa vegetal pela adição do RMC puro no solo (entende-se puro como Não compostado). O que sugere-se com os resultados obtidos é que as plantas que cresceram beneficiadas pela adição de RMC se aproveitaram dos minerais e nutrientes orgânicos ali presentes, mas em virtude da metodologia empregada, conclui-se que houve uma baixa mineralização do nitrogênio, que

ocorre quando as condições são propícias para o crescimento das bactérias nitrificantes, sugerindo ajustes metodológicos para otimizar essa ação microbiana.

Conforme Assandrini et al. (2021) pontuam, a compostagem é importante para aplicar um resíduo orgânico no solo, tendo em vista que auxilia que os nutrientes orgânicos não mineralizados sejam disponibilizados para as plantas em formatos inorgânicos como NO_3^- e NH_4^+ (ou “minerais”); então, nem todo o nutriente encontrado em uma matéria orgânica como o RMC está prontamente disponível para as plantas. O processo de compostagem realizado por microrganismos pode ser aplicado para essa transformação química ocorrer no RMC e outros compostos orgânicos, e assim, otimizar o processo de adubação- além de proporcionar redução na acidez do composto também melhora a umidade no solo, auxilia na retenção de umidade do solo, melhora a textura, dificulta a erosão e fornece macro e micronutrientes ao sistema (DORES-SILVA, LANDGRAF, REZENDE, 2013).

Valente et al (2009) levantam que a interação microbiológica com resíduos orgânicos depende muito das condições de temperatura, umidade, aeração, pH, relação C:N, granulometria do material, tipo de compostos e composição empregados. A fase inicial de consumo da matéria orgânica é rápida, sendo um processo exotérmico, mesófilo (25-40 °C), e de intensa atividade metabólica celular, que os microrganismos metabolizam compostos ricos em energia e facilmente degradáveis, como açúcares e proteínas, aumentando a temperatura do sistema. Na segunda fase, termofílica (35–65 °C), a temperatura continua alta e a decomposição rápida até por volta de 60 °C quando a microbiota mesófila é substituída pela microbiota termófila e então ocorre a morte de microrganismos patogênicos e a microbiota termofílica continua atuando até cessar o substrato, e a temperatura cai. Por fim, Microorganismos mesófilos voltam a colonizar o substrato, e degradar polímeros como amido, lignocelulose e celulose, Depois, ocorre uma estabilização da taxa de consumo de nutrientes, produção de compostos residuais como ácidos orgânicos, maturação do composto e mineralização (Transformação de nutrientes orgânicos em minerais inorgânicos) de componentes ali presentes, como nitrogênio, cálcio, magnésio, fósforo e tornando-os disponíveis às plantas (ASSANDRINI et al., 2021).

Esse processo demanda a presença de água e oxigênio para que não comprometa as funções e manutenção celular de bactérias e fungos do solo.

Vários fatores contribuíram para não haver aproveitamento da metabolização do RMC no solo, então, ressalta-se que a metodologia empregada que não favoreceu o aproveitamento melhor do RMC, e não a porcentagem mínima de 2,5% do resíduo, tendo em vista que sob concentrações maiores houve dados numericamente maiores para o crescimento vegetal, e também houve menores quedas na população de UFC de solo ao fim do experimento, menores quedas que o T1 que apresentou a maior queda percentual de 23% na população microbiana do solo.

Por fim, o número amostral = 20 do estudo foi baixo. Segundo o princípio de Gauss, os dados tendem à normalidade em estudos com um n amostral maior; as pequenas variações numéricas tem uma interferência maior na variação estatística quando o n amostral é pequeno, dentro de um mesmo tratamento. A amplitude estatística torna-se mais significativa com mínimas variações (SHEATS, PANKRATZ, 2002). Em sistemas biológicos, não é possível controlar o desenvolvimento dos organismos, apenas as condições de cultivo. Então, supõe-se que em um n amostral maior, o mesmo experimento tenderia a uma normalidade dos dados, e seriam observados dados menos discrepantes entre si para o crescimento das plantas, possivelmente havendo menos diferenças estatísticas entre os tratamentos, tendo em vista que foi observado indivíduos com 20 cm de diferença de altura em um mesmo tratamento.

A fabricação de cerveja gera grandes quantias de efluentes líquidos e resíduos sólidos, entre um deles, o RMC. Para descarte no ambiente, há legislações específicas como a Resolução Nº 430 DE 13/05/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2011). Além dessa, há a lei nº 12.305/10, que descreve a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que estabelece a prioridade da reciclagem e reutilização de resíduos, e quando não possível, a suas destinações ambientalmente corretas após eliminar os riscos que podem ser trazidos ao ambiente (BRASIL, 2010). Para que não se condicione o reaproveitamento do RMC a custos onerosos, e portanto, mais um obstáculo à indústria, sociedade civil e poder público que diminuiria as chances de seu reaproveitamento, torna-se pertinente pensar em maneiras mais simples de reutilizá-lo em uma condição mais próxima de seu estado em que é coletado ou com o mínimo de processamento possível. O estudo em questão procurou utilizar

o RMC in natura, mantido sobre refrigeração até o momento do experimento, misturando-o com a terra do cultivo.

Os resultados desse estudo indicam o potencial do RMC como bioestimulante de crescimento vegetal e como composto enriquecedor para aumentar a população de bactérias heterotróficas totais do solo, ao promover uma fonte alternativa de nutrientes para a microbiota do solo, além de ser uma maneira alternativa de reaproveitamento desse resíduo agroindustrial, podendo evitar que ele seja descartado incorretamente no ambiente, contaminando ecossistemas e sendo desperdiçado, e diminuindo a dependência de insumos comerciais. Outros estudos podem ser desenvolvidos com alterações na metodologia de irrigação, ou compostagem do RMC antes de aplicá-lo no solo podem ser realizadas a fim de otimizar os resultados. Outras metodologias podem ser empregadas para averiguar se o RMC se faz eficaz no aumento de produtividade do milho durante todo o ciclo do milho (180 Dias) incluindo o crescimento reprodutivo e produtividade (grãos, espigas). Outros estudos com outras espécies vegetais brasileiras podem ser realizados para ver se há incremento na produção a partir da adição de RMC, para as condições edafoclimáticas tropicais e temperadas do país.

6. CONCLUSÃO

A adição do resíduo de malte de cevada para as proporções de 5% e 10% do total de substrato promove o maior desenvolvimento do milho nas condições testadas, evidenciando incremento nos parâmetros de biomassa vegetal e concentração da população de UFC de bactérias heterotróficas totais no solo do sistema experimentado, portanto, sendo uma alternativa para reaproveitamento do resíduo na agricultura familiar nacional e melhoria do cultivo familiar do milho.

7. REFERÊNCIAS

American Public Health Association - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, 23 edição. Washington, D.C, USA, American Public Health Association, 2017.

ALIYU, S. BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **Afr. J. Biotechnol.**, Nairobi, V. 10, n. 3, p. 324-331, 2011.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19ª edição, Washington D.C, USA, 2012.

AQUINO, J. R.; ALVES, M. O.; VIDAL, M. F. Agricultura familiar no Nordeste: um breve panorama dos seus ativos produtivos e da sua importância regional. **BRU**, Brasília, v. 23, p. 97-110, 2020.

ASSANDRINI D.; PAMPURO N.; ZARA G.; CAVALLO E.; BUDRONI M.; Suitability of Composting Process for the Disposal and Valorization of Brewer's Spent Grain, **Agriculture**, Basel, v.11, n.2, p.2-12, 2021.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. Produção de cacau. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.149, 2021. (Caderno Setorial ETENE, n.149)

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 1 de fev de 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Nº 430 de 13/05/2011 (Federal)** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357,

de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/1FY24dj>>. Acesso em: 10 Fev. 2023

BRITO, E.; BUSTAMANTE, M.A.; PAREDES, C.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M.D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; MORAL, R.; Composting of Brewery wastes with agricultural forest residues. In Ramiran International Conference , 14, 2010, Lisboa, **Anais**: Treatment and use of organic residues in agriculture: challenges and opportunities towards sustainable management: proceedings. Lisboa: FCB . 5p. p.12-15, 2010.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. v. 2, p. 1-65.

CEPEA: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. AUMENTO DOS CUSTOS CAUSA QUEDA DE 0,8% NO PIB DO AGRONEGÓCIO NESTE INÍCIO DE ANO. CEPEA-USP/CNA. MARÇO/JUNHO 2022. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB-do-Agronegocio-20junho22.pdf. Acesso em 01 de dezembro de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 12- décimo segundo levantamento, Brasília, p-188, Setembro, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em outubro de 2022.

_____, CONAB, Portal de informações agropecuárias–Produção Agrícola-Safra-Série Histórica dos Grãos, 2022. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html> . Acessado em Março de 2023.

CAIRES, MILLA, Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p.87-95, 2015.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78).

CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50198/1/189-perda.pdf>>. Acesso em: 21 de abril de 2022.

CRUZ, J. C.; ALEXANDRE FILHO, I.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V.; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. Produção de milho na agricultura familiar. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 42 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 159).

CRUZ, J. C.; KONZEN, E. A.; FILHO, I. A. P.; MARRIEL, I. E.; CRUZ, E.; DUARTE, J. O.; OLIVEIRA, M. F.; ALVARENGA, R. C. Produção de milho orgânico na agricultura Familiar. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2006, 17p. (Embrapa-CNPMS, Comunicado Técnico, 81).

DAL MOLIN, S.J. Desempenho de fertilizantes nitrogenados na volatilização de amônia, na lixiviação e no rendimento do feijoeiro. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC, Lages, Santa Catarina, p. 86

DORES-SILVA, P.R. LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 271p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: 2011, 230 p.

EMMANUEL, J.K.; NGANYIRA, P.D.; SHAO, G.N. Evaluating the potential applications of brewers' spent grain in biogas generation, food and biotechnology industry: A review. **Heliyon**, Cambridge, v. 8, 10, 2022.

FLORENCIO, M. C. F. L.; MELO, A.S. Exportações de milho do Brasil: o papel da taxa de câmbio, **Rev. Agro Amb**, Maringá, v.15, n.2, 2022.

FILHO, W.B.N.; FRANCO, C.R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil. **Rev. Virtual Quím**, Niterói, V.7, N.6, p.1968-1987, 2015.

FORTINI, R. M; SANTOS, E. A; BRAGA, M. J. Um novo retrato da agricultura familiar do estado da Paraíba: a partir dos dados do censo agropecuário 2017. Viçosa- MG: UFV, IPPDS, 2021.

GODOY, F. A.; FERREIRA, A.S. ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO. In: II Jornada de Verão de Microbiologia, 2017, Viçosa. Sessão painel na II Jornada de Verão de Microbiologia, 2017.

GOOSSENS, A.; VISSCHER, A.D.; BOECKX, P.; CLEEMPUT, O. V.; Two-year field study on the emission of N₂O from coarse and middle textured Belgian soils with different land use. **NUTR CYCL AGROECOSYS**, Dordrecht, v. 60, n. 1, p. 23-34, 2001.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal: lavouras permanentes. 2022. 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=sobre. Acesso em 12 de dezembro de 2022.

INAGAKI, A. M.; GUIMARAES, V. F; LANA, M. C. ; RODRIGUES, L. F. O. S. ; DIAMANTE, M. S. SILVA, M. B.; Desenvolvimento inicial do milho em resposta à associação com bactérias diazotróficas e níveis de acidez do solo. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013, Florianópolis/SC. Ciência do Solo: Para que e para quem? - Programa & Resumos. Florianópolis/SC: Epagri e SBCS, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET (2022). Mapas de condições registradas. Brasília. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>. Acesso em: fevereiro de 2023.

ISO 13320:2009 - Particle size analysis - Laser diffraction methods. [S.l.]: [s.n.], 2020.

KANAGACHANDRAN, K.; JAYARATNE, R. Utilization Potential of Brewery Waste Water Sludge as an Organic Fertilizer, **J. Inst. Brew.**, Londres, V.112, n.2, p.92–96, 2006.

KONZEN, E.A. Viabilidade Ambiental e Econômica de Dejetos de Suínos. Sete lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. 25 p.

MACIK, M.; GRYTA, A.; SAS-PASZ, L. FRAC, M. The Status of Soil Microbiome as Affected by the Application of Phosphorus Biofertilizer: Fertilizer Enriched with Beneficial Bacterial Strains, . **Int J Mol Sci.**, Basileia, v. 21, n.21, p.1-35, 2020.

MAEDA, S.; ANDRADE, G.C.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H. D.; AGOSTINI, R.B. Substratos alternativos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis*, obtidos a partir de resíduos das indústrias madeireira e cervejeira e da caprinocultura. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 5p. Comunicado técnico, 157.

MAGALHÃES, P.C.; DURAES, F.O.M. Fisiologia da Produção de Milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 76).

MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z.; AHMAD, H. Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. *Plant Cell Rep.*, Berlin, v. 37, n. 12, p. :1599-1609, 2018.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Projeções do agronegócio. Brasil 2020/21 a 2030/31. 12ª edição, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes->

de-politicaagricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio- -2020-2021-a-2030-2031.pdf/view. Acesso em: 14 dez. 2021.

MARTHA JUNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agric. Syst.**, Christchurch, v. 110, p. 173-177, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p

MORO, E.; Crusciol, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; CANTARELLA, H.; LAMBAIS, M.R. Bactérias amonificantes e nitrificantes e teores de amônio e nitrato afetados por plantas de cobertura e fertilizantes nitrogenados. **Rev Agr.**, Dourados, v.9, n.33, p. 210-218, 2016

MUHAMMED, A.A.; THOMAS, K.; BIN-HAMED, USAMA. Feasibility of using brewers spent grain as a fertilizer in agriculture. **IJEST**, Andhra Pradesh v.10, n.2, 2015.

MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain, **J. Chem. Technol. Biotechnol.** Nova Jersey, V.81, p. 268–274, 2006.

NAFZIGER, E. D. GROWTH AND PRODUCTION OF MAIZE: MECHANIZED CULTIVATION. **SOILS, PLANT GROWTH AND CROP PRODUCTION**, Illinois, V. 1, p.331-364, 2010.

ODELADE, K.A.; BABALOLA, O.O. Bacteria, Fungi and Archaea Domains in Rhizospheric Soil and Their Effects in Enhancing Agricultural Productivity. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, Basel, v.16, 38-73.2019

OGUGBUE, C. J.; MBAKWEM-ANIEBO, C.; SOLOMON, L. Efficacy of brewery spent grain and rabbit droppings on enhanced ex situ bioremediation of an aged crude oil contaminated soil, **Int. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Res.**, Southport, v.5, p. 27-39. 2017.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges, **J. Clean. Prod.**, Amsterdã, v. 256, 2020.

ONOFRE, S.B.; BERTOLDO, I.C.; ABATTI, D. REFOSCO, D. Physiochemical Characterization of the Brewers Spent Grain from a Brewery Located in the Southwestern Region of Parana – Brazil, **IJEAB**, Cidade do México, v.22, n 1, 2017.

PAIVA, M.R.F.C.; SILVA, G.F.; OLIVEIRA, F.H.T.; PEREIRA, R.G.; QUEIROGA, F.M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na Chapada do Apodi-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 1-10, 2014.

PALHARES, M. Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho. Dissertação (mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. São Paulo. 90 p. 2003.

PETIT, G.; KORBEL, EM; JURY, V.; AIDER, M.; ROUSSELIERE, S.; AUDEBRAND, L.K.; TURGEON, S.L.; MIKHAYLIN, S. Environmental Evaluation of New Brewer's Spent Grain Preservation Pathways for Further Valorization in Human Nutrition. **ACS Sustainable Chem. Eng.** , v.8, n.47, P. 17335-17344, 2020.

PINHO, R.G.V.; BORGES, I.D.; ANDRADE, J.L.; PEREIRA, R.; REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **RBMS**, Sete Lagoas, v.8, n.2, p. 157-173, 2009

PIRES, A.M.M. MATTIAZZO, M.E. Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio ambiente, 2008. 9 p. (Embrapa Meio ambiente. Circular técnica, 19).

POLETTTO, N.; GROHS, D.; MUNDSTOCK, C. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **RBCS**, Viçosa, v. 32, p. 1619-1626, 2008

PwC Agribusiness Research and Knowledge Center (2019). Doing agribusiness in Brazil. PwC Brazil. Ribeirão Preto, São Paulo.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available in: <<https://www.R-project.org>> (Accessed on June 10, 2016).

RESENDE, A. V. de COELHO, A. M. SANTOS, F. C. dos LACERDA, J. J. de J. Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 181. 220 p.

RIBEIRO, Sergio Silva. CULTURA DO MILHO NO BRASIL. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, Nº. 49, 2014.

ROCHA, F.A.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; CANTARUTTI, R.B.; SILVA, J.O. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **RBEAA**, Campina Grande, v.12, n.1, p.54–61, 2008.

RONG, LIANG-BING; GONG, KAI-YUAN; DUAN, FENG-YING; LI, SHAO-KUN; ZHAO, MING; HE, JIANQIANG; ZHOU, WEN-BIN YU. Yield gap and resource utilization efficiency of three major food crops in the world - A review, **J. Integr. Agric.**, Beijing, v.2, p.349 -362, 2021.

ROSIN, C. G.; TEIXEIRA, N. T. Barley bagasse as source of organic matter in the soil. **Ecosystema**, São Paulo, v.40, n.1, p.92-107, 2018.

SHEATS R.D.; PANKRATZ, V.S. Common statistical tests. **Semin Orthod.** V.8,n.2,p.77-86, 2002.

SHIMADA, B. S.; SIMON, M.V.; SILVA, V. B. ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO PELAS PLANTAS DE MILHO. **RVBMA**, Fortaleza, v.2, n.3, 2021.

SILVA, N.; TANIWAKI, M.H.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; OKAZAKI, M.M.; GOMES, R.A.R. Microbiological examination methods of food and water: a laboratory manual. 2nd ed., Boca Raton: CRC Press, 2018, 564p.

SIQUEIRA, P.B.; BOLINI, H. M. A. ; MACEDO, G.A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alim. Nutr.**, Araraquara v.19, n.4, p. 491-498, 2008.

SOLOGUREN, L. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. *Visão Agrícola*, USP ESALQ, **São Paulo**, ano 9, p.8-11, 2015.

Souza, P. M., Fornazier, A., Souza, H. M., & Ponciano, N. J. Diferenças regionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil. **RESR**, Brasília, v.57, n.4, p. 594-617, 2019.

SPOLAOR, L. T.; GONÇALVES, L. S. A.; SANTOS, O. J. A. P.; OLIVEIRA, A. L. M.; SCAPIM, C. A.; BERTAGNA, F. A. B.; KUKI, M. C. Bactérias promotoras de crescimento associadas a adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agrônomo de milho pipoca. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 33-40, 2016

TAHAT, M.M.; ALANANBEH, M.K.; OTHMAN, A.Y.; LESKOVAR, D.I.; Soil Health and Sustainable Agriculture. **Sustainability**, Olsztyn, V.12, P.48-59, 2020.

TREVIZAN, J.A.C.; BIDO, G.S.; FERRARI, A. FELIPE, D.F. Nutritional Composition of Malted Barley Residue from Brewery. **JMS**, Bodh gaya,V. 11, N. 1; 2021.

United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. World Agricultural Production. Setembro, 2022. (A)

(USDA), Foreign Agricultural Service.
Grain and Feed Update. Country Brazil. Julho, 2022. (B)

(USDA), Foreign Agricultural Service.

Foreign Agricultural Service. Grain and Feed Update, Outubro, 2021. Disponível em: https://usdabrazil.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Grain-and-Feed-Update_Brasilia_Brazil_09-27-2021.pdf

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Batch-type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals. Washington, Technical Resource Document, EPA/530-SW-87-006-F, 1992. 99p.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia*. v.58. p.60-76, 2009.

VASCONCELOS, U.; FRANÇA, F.P; OLIVEIRA, F.J.S.; Removal of high-molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons. **Quim. Nova**, São Paulo, v.34, n.2, p.218-221, 2011.

VICENTE, M. E. C. ; PACHECO, S. M. V. ; BRAGAGLIA, J. C. ; PANKA, G. C. P. ; GUIDI, K. A. S. Y. ; SOUZA, I. F. ; SPARREBERGUER, F. . Valorização de resíduos de uma cervejaria artesanal para produção de adubo orgânico fermentado tipo bokashi. In: 9 Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense ? SICT-Sul, 2020, Santa Rosa do Sul. ANAIS DO 9 SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE. Santa Rosa do Sul: IFC, 2020. v. 1. p. 1-1.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; MORAES, R. P. de. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern Brazil. **RBCS**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1515-1525, 2014

VIEIRA, R.F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. **Embrapa**, Brasília, 2017.

163p.

VILELA, M.; GATES, R. S.; SOUZA, C. F.; TELES JUNIOR, C. G. S.; SOUSA, F. C.

Nitrogen transformation stages into ammonia in broiler production: sources, deposition, transformation, and emission into the environment. Dyna

rev.fac.nac.minas, **Medellín**, v. 87, n. 214, p. 221-228, 2020.

ZYLBERSZTAJN, D. Agribusiness systems analysis: origin, evolution and research perspectives. **Revista de Administração**, São Paulo, V. 52, N 1, P. 114-117, 2017.