

**RESPOSTAS MORFOAGRONÔMICAS DO MILHO CRIOULO RAJADO À
BIOINOCULAÇÃO DE LIFO FER (*Litière Forestière Fermentée*)**

**MATHEUS HENRIQUE MARTINS DE
MORAES**

Foz do Iguaçu
2026

**RESPOSTAS MORFOAGRONÔMICAS DO MILHO CRIOULO RAJADO À
BIOINOCULAÇÃO DE LIFOFER (*Litière Forestière Fermentée*)**

**MATHEUS HENRIQUE MARTINS DE
MORAES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciência da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Henrique Kamphorst

Foz do Iguaçu
2026

Dedico este trabalho aos meus pais, Elcimar
André e Danielle, que, sob muito sol, me fizeram
chegar até aqui na sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Elcimar André e Danielle, por me darem asas para voar, mas sempre deixarem a porta aberta caso eu precisasse voltar. O apoio de vocês nas horas difíceis foi essencial para eu chegar até aqui. À minha madrinha e ao meu padrinho, Elisabete e Francisco, à minha irmã Daniele, à minha sobrinha Elisa, aos meus avós, tios, tias, primos e primas, que, mesmo de longe, sempre desejaram o meu melhor e rezaram para que eu superasse os obstáculos da vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel Henrique Kamphorst, que me fez voltar a ter brilho nos olhos, fazendo ciência de uma forma leve e divertida, mesmo com todas as adversidades da vida. Eu lhe agradeço não só pelos ensinamentos do meio acadêmico, mas também pelos ensinamentos de vida, já que nos tornamos amigos durante esse processo. Obrigado por toda a ajuda e orientação no decorrer deste trabalho.

À Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), agradeço a oportunidade de ampliar minha visão de mundo, de conhecer novas culturas, aprender novos idiomas e conhecer novas pessoas. Aos docentes que cruzaram o meu caminho, agradeço por todo o conhecimento repassado, pelo incentivo à pesquisa e por todas as conversas que tivemos. Levarei os ensinamentos de cada um de vocês. Ao Colégio Agrícola Estadual Manoel Moreira Pena, por ceder o espaço para que este trabalho fosse realizado, a toda a equipe administrativa e, em especial, ao Sr. Natanael, por toda a ajuda e ensinamentos durante o processo. Estendo também meus agradecimentos ao Prof. Dr. Cristian Antonio Rojas, e aos meus colegas de equipe, María Esther Vivanco Suazo, Natalia Rubi Toledo Perez e Yoneli Alberto del Carmen Medel Loyola, por todo o apoio fundamental para que este trabalho fosse concretizado.

Aos meus amigos, que fizeram esse caminho ser mais leve: Paulo, Rafael, João Pedro, Leonardo, Matheus Luft, Julia, Maria, Aline, Isabela, Sebastian e todos que cruzaram o meu caminho durante esse período. Ao Christian, que foi como um irmão ao longo desses cinco anos de graduação. À Kauanny, por ser uma grande amiga e por me acolher em Foz do Iguaçu, fazendo com que eu me sentisse parte de uma família longe de casa. Ao meu cachorro, Chico, por me fazer companhia e me ajudar a desacelerar e a viver a vida de forma mais leve.

Em especial, à Laura Beatriz, a irmã que a UNILA me deu. Obrigado por todos os conselhos, aventuras, risadas e noites viradas estudando para as provas. Sem você, essa trajetória teria sido muito mais difícil. Você ocupa um lugar muito especial no meu coração.

Há pessoas que apenas cruzam nosso caminho e outras que verdadeiramente encontramos ao longo da vida. Sou extremamente grato por ter encontrado cada um de vocês.

Mesmo a menor das criaturas pode mudar o curso do futuro.

J.R.R. Tolkien, A Sociedade do Anel

RESUMO

Biofertilizantes como o *Litière Forestière Fermentée* (LiFoFer) representam alternativas sustentáveis capazes de melhorar o desempenho agrônomo das plantas, ao mesmo tempo em que favorecem a microbiota do solo e promovem maior sustentabilidade produtiva. Avaliaram-se os efeitos da adubação orgânica com o biofertilizante LiFoFer, da adubação química convencional e da combinação de ambos sobre características morfológicas e agrônômicas do milho Rajado, uma variedade de polinização aberta, a fim de verificar o potencial do biofertilizante como alternativa sustentável para o aumento da produção. O experimento foi conduzido na safra 2024/2025, utilizando sementes da variedade acima citada, na área experimental do Centro Estadual de Educação Profissional Manoel Moreira, em Foz do Iguaçu – PR. Avaliaram-se quatro tratamentos (T), quais sejam, adubação orgânica com LiFoFer (T1), adubação química convencional (T2), combinação de ambos (T3) e controle sem adubação (T4). O delineamento adotado foi em blocos completos casualizados, com três repetições por tratamento. Foram avaliadas as variáveis morfológicas, isto é, altura média de espiga (AE), altura média de planta (AP), posição relativa da espiga (PRE), diâmetro médio do colmo (DC), comprimento médio do pendão (CP), comprimento médio da ramificação principal do pendão (CRP) e número médio de ramificações do pendão (NRP), além das características agrônômicas, diâmetro médio de espiga (DE), comprimento médio de espiga (CE), número médio de fileiras de grãos por espiga (NFG), número médio de grãos por fileira (NGF), massa de cem grãos (MCG) e produtividade média de grãos (PG). Realizou-se a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as médias das características morfológicas e as variáveis agrônômicas DE, NFG e NGF não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O CE, a MCG e o PG apresentaram diferenças estatísticas, sendo os melhores resultados obtidos nos tratamentos T1 e T2. O PG alcançou $5.997,21 \text{ kg ha}^{-1}$ para o T1 e $5.941,67 \text{ kg ha}^{-1}$ para o T2, valores significativamente superior aos observados em T3 ($4.650,00 \text{ kg ha}^{-1}$) e ao T4 ($4.284,71 \text{ kg ha}^{-1}$). O LiFoFer mostrou-se como uma alternativa viável à adubação química convencional, com potencial para ampliar a produtividade e fortalecer práticas agrícolas de base agroecológica. Contudo, ressalta-se como limitação deste estudo a sua condução em um único ambiente edafoclimático; portanto, recomenda-se a realização de novos ensaios em diferentes locais, safras e genótipos, para validar a eficiência agrônômica do bioinsumo em diferentes condições de cultivo.

Palavras-chave: variedade crioula; agricultura familiar; biofertilizantes; rendimento de grãos; sustentabilidade agrícola.

RESUMEN

Biofertilizantes como el Litière Forestière Fermentée (LiFoFer) representan alternativas sostenibles capaces de mejorar el desempeño agronómico de las plantas, al mismo tiempo que favorecen la microbiota del suelo y promueven una mayor sostenibilidad productiva. Se evaluaron los efectos de la fertilización orgánica con el biofertilizante LiFoFer, de la fertilización química convencional y de la combinación de ambas sobre características morfológicas y agronómicas del maíz Rajado, una variedad de polinización abierta, con el fin de verificar el potencial del biofertilizante como alternativa sostenible para incrementar la producción. El experimento fue realizado durante la campaña agrícola 2024/2025, utilizando semillas de la variedad anteriormente mencionada, en el área experimental del Centro Estadual de Educação Profissional Manoel Moreira, en Foz do Iguaçu – PR, Brasil. Se evaluaron cuatro tratamientos (T): fertilización orgánica con LiFoFer (T1), fertilización química convencional (T2), combinación de ambas (T3) y control sin fertilización (T4). El diseño experimental adoptado fue en bloques completos al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las variables morfológicas: altura media de espiga (AE), altura media de planta (AP), posición relativa de la espiga (PRE), diámetro medio del tallo (DC), longitud media de la panoja (CP), longitud media de la ramificación principal de la panoja (CRP) y número medio de ramificaciones de la panoja (NRP), además de las características agronómicas: diámetro medio de espiga (DE), longitud media de espiga (CE), número medio de hileras de granos por espiga (NFG), número medio de granos por hilera (NGF), masa de cien granos (MCG) y productividad media de granos (PG). Se realizó análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Todas las medias de las características morfológicas y las variables agronómicas DE, NFG y NGF no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. El CE, la MCG y la PG presentaron diferencias estadísticas, obteniéndose los mejores resultados en los tratamientos T1 y T2. La PG alcanzó $5.997,21 \text{ kg ha}^{-1}$ para T1 y $5.941,67 \text{ kg ha}^{-1}$ para T2, valores significativamente superiores a los observados en T3 ($4.650,00 \text{ kg ha}^{-1}$) y T4 ($4.284,71 \text{ kg ha}^{-1}$). El LiFoFer se mostró como una alternativa viable a la fertilización química convencional, con potencial para aumentar la productividad y fortalecer prácticas agrícolas de base agroecológica. Sin embargo, se destaca como limitación de este estudio su realización en un único ambiente edafoclimático; por lo tanto, se recomienda la realización de nuevos ensayos en diferentes localidades, campañas agrícolas y genotipos, con el objetivo de consolidar la eficiencia del bioinsumo evaluado.

Palabras clave: maíz criollo; agricultura familiar; biofertilizantes; rendimiento de granos; sostenibilidad agrícola.

ABSTRACT

Biofertilizers such as *Litière Forestière Fermentée* (LiFoFer) represent sustainable alternatives capable of improving the agronomic performance of plants while simultaneously enhancing soil microbiota and promoting greater production sustainability. The effects of organic fertilization using the LiFoFer biofertilizer, conventional chemical fertilization, and the combination of both were evaluated on morphological and agronomic traits of Rajado maize, an open-pollinated variety, in order to verify the potential of the biofertilizer as a sustainable alternative for increasing crop production. The experiment was conducted during the 2024/2025 growing season using seeds of the aforementioned variety in the experimental area of the Centro Estadual de Educação Profissional Manoel Moreira, located in Foz do Iguaçu, Paraná State, Brazil. Four treatments (T) were evaluated: organic fertilization with LiFoFer (T1), conventional chemical fertilization (T2), the combination of both (T3), and an unfertilized control (T4). The experimental design consisted of a randomized complete block design with three replicates per treatment. The evaluated morphological variables were mean ear height (AE), mean plant height (AP), relative ear position (PRE), mean stem diameter (DC), mean tassel length (CP), mean length of the main tassel branch (CRP), and mean number of tassel branches (NRP). The agronomic traits evaluated included mean ear diameter (DE), mean ear length (CE), mean number of grain rows per ear (NFG), mean number of grains per row (NGF), one-hundred grain weight (MCG), and average grain productivity (PG). Analysis of variance (ANOVA) was performed, followed by Tukey's test ($p < 0.05$). All means of the morphological characteristics, as well as the agronomic variables DE, NFG, and NGF, showed no significant differences among treatments. CE, MCG, and PG showed significant differences, with the best results obtained in treatments T1 and T2. Grain productivity reached $5,997.21 \text{ kg ha}^{-1}$ for T1 and $5,941.67 \text{ kg ha}^{-1}$ for T2, values significantly higher than those observed for T3 ($4,650.00 \text{ kg ha}^{-1}$) and T4 ($4,284.71 \text{ kg ha}^{-1}$). LiFoFer proved to be a viable alternative to conventional chemical fertilization, with the potential to increase productivity and strengthen agroecological farming practices. However, this study was conducted under a single edaphoclimatic condition, which represents a limitation; therefore, further studies under different locations, growing seasons, and genotypes are recommended in order to consolidate the efficiency of the evaluated bioinput.

Key words: maize landrace; family farming; biofertilizers; grain yield; agricultural sustainability.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	Altura média de espiga principal
AP	Altura média de planta
ANOVA	Análise de Variância
CE	Comprimento médio de espiga
CP	Comprimento médio de pendão
CRP	Comprimento médio de ramificação principal
DC	Diâmetro médio de colmo
DE	Diâmetro médio de espiga
LiFoFer	<i>Litière Forestière Fermentée</i>
MCG	Massa de cem grãos
MM	Microrganismos de Montanha
M.O	Matéria Orgânica
NFG	Número médio de fileiras de grãos por espiga
NGF	Número médio de grãos por fileira
NRP	Número médio de ramificações do pendão
PRE	Posição relativa da espiga
PG	Produtividade média de grãos
CV	Coeficiente de Variação
ns	Não significativo
QM	Quadrados Médios
T1	Tratamento 1 (LiFoFer)
T2	Tratamento 2 (Adubação química convencional)
T3	Tratamento 3 (Combinação LiFoFer + Adubação química)
T4	Tratamento 4 (Controle absoluto)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 AGRICULTURA APÓS A REVOLUÇÃO VERDE	15
2.2 ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO E USO DE BIOFERTILIZANTES	16
2.3 EROÇÃO GENÉTICA E SUBSTITUIÇÃO DAS VARIEDADES TRADICIONAIS ..	18
2.4 INTEGRAÇÃO ENTRE AGROBIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA	19
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 MATERIAL VEGETAL, ÁREA DE ESTUDO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	22
4.2 PRODUÇÃO DO BIOFERTILIZANTE LiFoFer	24
4.3 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	24
4.4 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	25
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
5. RESULTADOS	27
5.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	27
5.2 TESTE DE SEPARAÇÃO DE MÉDIAS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRONÔMICAS	29
6. DISCUSSÃO	31
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
8. REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna enfrenta desafios crescentes decorrentes da degradação do solo, fenômeno marcado pela redução da matéria orgânica, compactação e exaustão de nutrientes, o que compromete a viabilidade dos sistemas agrícolas a longo prazo (Velthof et al., 2011). A redução da fertilidade natural, associada ao manejo intensivo e pouco sustentável, tem levado a quedas de produtividade e à maior suscetibilidade das culturas a estresses abióticos e bióticos (Adeyemi et al., 2021). Esse cenário de vulnerabilidade reforça a necessidade de adotar estratégias que conciliem a produção eficiente de alimentos com a conservação ambiental e o equilíbrio ecológico.

A dependência do uso de fertilizantes químicos, em especial quando utilizados de forma intensiva e desequilibrada, pode contribuir para alterações químicas do solo, como acidificação e desequilíbrios nutricionais, ao acelerar processos como a nitrificação e favorecer perdas de nitrogênio por volatilização (Velthof et al., 2011). Tais efeitos reduzem a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e podem ocasionar perdas econômicas para os agricultores. Além disso, a dependência de adubos minerais acarreta custos elevados, representando um entrave especialmente para a agricultura familiar (Altieri, 2012; Dufumier, 2010). Soma-se a isso o impacto desses insumos sobre a estrutura e a funcionalidade das comunidades microbianas do solo. Os fertilizantes químicos alteram parâmetros importantes, como o teor de carbono orgânico, a rizodeposição, o pH e a disponibilidade de nutrientes, promovendo desequilíbrios biológicos (Velthof et al., 2011; Berg, 2009; Adeyemi et al., 2021).

Consequentemente, a perda da diversidade microbiana compromete funções essenciais dos agroecossistemas, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e o controle natural de patógenos, entre outras, aumentando a vulnerabilidade dos agroecossistemas à degradação ambiental (Adeyemi et al., 2021). Como contraponto a essa degradação microbiológica severa, os biofertilizantes orgânicos têm ganhado destaque pela capacidade de transformar compostos complexos em nutrientes assimiláveis, promovendo a recuperação da fertilidade do solo. Nesse sentido, o *Litière Forestière Fermentée* (LiFoFer), traduzido como resíduo florestal fermentado, insere-se no contexto das tecnologias agroecológicas baseadas no aproveitamento de comunidades microbianas nativas. Embora a coleta direta da serapilheira seja viável e sustentável para a produção *on farm* na agricultura familiar, sua produção em escala comercial via extração contínua é inviável devido ao risco de degradação ambiental. Nesses casos, a escalabilidade biotecnológica exige o domínio de bioprocessos para o isolamento dos consórcios microbianos de interesse e sua subsequente multiplicação em biorreatores, utilizando matrizes orgânicas padronizadas e resíduos agroindustriais como substrato (Herrmann; Lesueur, 2013; Vassilev et al., 2015). O LiFoFer tem sido

proposto como uma estratégia capaz de introduzir comunidades microbianas oriundas da serapilheira e, simultaneamente, aportar nutrientes de rápida assimilação no solo. Essa dinâmica contribui de forma integrada para o aumento da atividade biológica e para o fortalecimento de processos ecológicos associados à ciclagem de nutrientes e à saúde do solo (Marois et al., 2023). Além de sua contribuição potencial para a fertilidade do solo, comunidades microbianas benéficas têm sido amplamente estudadas pelo seu papel na supressão de fitopatógenos e na promoção do crescimento vegetal, representando ferramentas promissoras para sistemas agrícolas sustentáveis (Koskey et al., 2021).

Muitos estudos têm evidenciado que a associação de práticas agroecológicas ao cultivo do milho promove ganhos significativos em produtividade e resiliência (Altieri, 2018; Gliessman, 2015). Diversos bioinsumos microbianos, incluindo formulações contendo espécies de *Bacillus* e *Azospirillum*, têm apresentado resultados promissores na promoção do crescimento vegetal e no aumento da tolerância das culturas a condições de estresse ambiental. (Vessey, 2003; Berg, 2009; Hungria; Nogueira; Araújo, 2010). Esses resultados evidenciam o potencial dos bioinsumos como ferramentas para aumentar a resiliência das culturas e contribuir para sistemas produtivos mais sustentáveis (Mahanty et al., 2017). Em relação à cultura do milho e aos desafios impostos pela agricultura moderna, nota-se que a extrema uniformidade genética das cultivares comerciais, dada pelo uso de híbridos de alto rendimento, amplamente difundidas, tornou os sistemas produtivos altamente dependentes do manejo químico e intensamente vulneráveis às adversidades climáticas e a surtos fitossanitários (Paterniani et al., 2000; Nass et al., 2007).

Nesse sentido, para contornar a vulnerabilidade gerada por essa uniformidade genética amplamente difundida na agricultura, a adoção de variedades crioulas surge como uma estratégia para a resiliência ecológica. As sementes dessas variedades, preservadas e multiplicadas por gerações de agricultores familiares, possuem uma ampla base genética que lhes confere elevada rusticidade. Essa característica favorece a adaptação a solos marginais e a condições edafoclimáticas adversas, garantindo maior estabilidade produtiva mesmo em cenários de degradação do solo, restrição de insumos ou baixo aporte tecnológico (Araújo; Nass, 2002). Dessa forma, elas se consolidam como recursos genéticos fundamentais para a conservação da agrobiodiversidade e para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis (Boef, 2007; Altieri, 2012)

Diante do exposto, desconhece-se o desempenho agrônômico do biofertilizante LiFoFer quando aplicado ao cultivo dessas variedades tradicionais, em comparação à adubação química convencional e, especialmente, quando utilizado de forma combinada (Fukami et al., 2016; Hungria et al., 2010; Mahanty et al., 2017). Parte-se da hipótese de que o uso do biofertilizante

LiFoFer pode promover respostas agronômicas comparáveis à adubação química convencional ou potencializar seus efeitos quando utilizado de forma combinada.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação orgânica com LiFoFer, da adubação química convencional e da combinação de ambas sobre características morfológicas e agronômicas da variedade de milho crioulo, denominada Rajado, a fim de verificar o potencial do LiFoFer como alternativa à adubação comercial. Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para a geração de informações que subsidiem práticas de manejo voltadas à redução da dependência de insumos externos e à valorização das sementes crioulas e da agrobiodiversidade em sistemas agrícolas mais sustentáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGRICULTURA APÓS A REVOLUÇÃO VERDE

A agricultura foi profundamente transformada a partir da segunda metade do século XX, com a consolidação da Revolução Verde (RV), baseada na adoção de um pacote tecnológico composto por sementes geneticamente melhoradas, mecanização intensiva e uso massivo de insumos químicos (Dufumier, 2010). Esse modelo promoveu ganhos expressivos de produtividade e contribuiu para a segurança alimentar global; contudo, também desencadeou uma série de impactos ambientais e agronômicos que comprometem sua sustentabilidade no longo prazo (Velthof et al., 2011).

As sementes geneticamente melhoradas, incluindo híbridos de alto rendimento, caracterizadas pela uniformidade genética, foram desenvolvidas para responder de forma eficiente a condições ideais de cultivo, especialmente sob elevado aporte de fertilizantes e controle químico de pragas e doenças (Paterniani et al., 2000). Apesar do aumento produtivo, a ampla adoção dessas sementes levou à substituição de variedades locais, reduzindo a diversidade genética cultivada (Araújo; Nass, 2002). Esse processo contribuiu para a uniformização dos sistemas agrícolas e para o aumento da vulnerabilidade das lavouras a estresses bióticos e abióticos (Esquinas-Alcázar, 2005; National Research Council, 1972). Exemplos dessa vulnerabilidade podem ser observados nas severas perdas produtivas enfrentadas por híbridos comerciais de milho no Sul do Brasil durante anos de seca aguda (veranicos) (Bergamaschi et al., 2004), bem como a recente e rápida disseminação de surtos epidêmicos do complexo de enfezamento, doença transmitida pela cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), que tem devastado lavouras inteiras pelo país (Ribeiro; Canale, 2021; Costa; Casela; Cota, 2021).

A mecanização agrícola foi outro aspecto do pacote tecnológico da Revolução Verde. Ela possibilitou a expansão da escala produtiva e a intensificação do uso da terra (Dufumier, 2010). No entanto, o manejo mecanizado, quando realizado de forma intensiva e sem práticas conservacionistas, tem sido associado à compactação do solo, à redução da infiltração de água e à degradação de sua estrutura física, comprometendo processos fundamentais ao desenvolvimento vegetal (Tormena et al., 1999; Freddi et al., 2008; Embrapa, 2021). Um exemplo prático e recorrente desse impacto nas propriedades rurais brasileiras é a formação do chamado “pé-de-grade” ou “pé-de-arado”, uma camada adensada logo abaixo da superfície do solo criada pelo trânsito frequente de máquinas pesadas. Essa compactação restringe o crescimento radicular em profundidade e reduz o acesso das plantas à água armazenada nas camadas subsuperficiais do solo, intensificando as perdas produtivas em períodos de déficit hídrico (Beutler et al., 2008; Embrapa, 2021). Conectado aos pontos

anteriores do modelo da RV, o uso intensivo de insumos químicos, especialmente fertilizantes minerais e defensivos agrícolas, representa o terceiro pilar desse pacote tecnológico (Velthof et al., 2011). Entretanto, a produção desses fertilizantes enfrenta limitações relacionadas à exploração de recursos minerais não renováveis, uma vez que nutrientes essenciais à agricultura, como fósforo e potássio, dependem da extração de reservas finitas concentradas em poucos países (Cordell; Drangert; White, 2009). Essa conjuntura gera forte dependência nacional da importação de matérias-primas, deixando os custos de produção agrícola suscetíveis a crises geopolíticas e oscilações do mercado internacional, além de representar um desafio à segurança alimentar do país.

Ademais, embora essenciais para sustentar altas produtividades, esses insumos têm sido associados à acidificação do solo, à lixiviação de nutrientes e à contaminação ambiental. Entre os principais impactos estão a contaminação de lençóis freáticos e a eutrofização de corpos d'água (Velthof et al., 2011). Além disso, esses compostos interferem diretamente na microbiota edáfica, reduzindo sua diversidade e funcionalidade, o que compromete processos fundamentais, como a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e o controle natural de fitopatógenos (Adeyemi et al., 2021).

De forma integrada, esses componentes do pacote tecnológico contribuíram para o aumento da produção agrícola, porém também resultaram em impactos negativos relevantes sobre a agrobiodiversidade e a saúde do solo (Dufumier, 2010; Altieri, 2012). A adoção desse modelo de produção gerou uma forte dependência tecnológica e financeira, o que frequentemente resulta no aprofundamento das desigualdades sociais no campo, marginalizando a agricultura familiar. Do ponto de vista ambiental, a simplificação dos agroecossistemas pela monocultura intensiva não apenas suprime a diversidade biológica, mas também altera os ciclos naturais de translocação de matéria orgânica, favorecendo a degradação gradual do solo (Altieri, 2012). Adicionalmente, as práticas intensivas agravaram a erosão e a salinização de extensas áreas de cultivo, reduzindo a capacidade natural de suporte da terra a longo prazo (Dufumier, 2010; Velthof et al., 2011).

Diante desse cenário, destacam-se dois problemas fundamentais que necessitam de atenção: a urgência da recuperação da saúde dos solos degradados e a perda progressiva do patrimônio genético representado pelas variedades crioulas. Esses desafios reforçam a necessidade do desenvolvimento de estratégias produtivas mais sustentáveis, capazes de conciliar produtividade agrícola, conservação da biodiversidade e manutenção da qualidade dos recursos naturais.

2.2 ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO E USO DE BIOFERTILIZANTES

Diante dos impactos negativos associados ao modelo agrícola atual, tem-se intensificado a busca por estratégias que promovam a recuperação da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Entre essas estratégias, destaca-se o uso de biofertilizantes. Conceitualmente, de acordo com as diretrizes do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), os biofertilizantes são produtos que contêm componentes ativos ou agentes biológicos capazes de atuar, direta ou indiretamente, no desenvolvimento das plantas e na melhoria do desempenho do sistema de produção (Brasil, 2020). Historicamente, a produção de bioinsumos líquidos na agricultura tem origem no conhecimento empírico e nas práticas agroecológicas tradicionais, nas quais a fermentação de resíduos orgânicos provenientes da própria propriedade, como esterco bovino e restos vegetais, era utilizada com o objetivo de promover a reciclagem de nutrientes e estimular a atividade biológica do solo, em um período anterior à ampla disseminação dos fertilizantes sintéticos (Silva et al., 2007).

Esses biofertilizantes atuam por meio da introdução de microrganismos benéficos capazes de contribuir para processos como a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de fósforo (Compant; Clément; Sessitsch, 2010). No Brasil, especialmente no contexto da agricultura familiar, destacam-se formulações artesanais e de baixo custo, como o Supermagro, o Vairo e o Agrobio. Esses biofertilizantes líquidos são produzidos a partir da fermentação de esterco bovino fresco associado à água e a fontes energéticas, como melaço e leite ou soro de leite. Enquanto o Supermagro e o Vairo baseiam-se predominantemente em bioprocessos anaeróbios e na adição sequencial de sais minerais, o Agrobio é obtido via fermentação aeróbia. Tais bioprocessos visam à estabilização da matéria orgânica e à solubilização de nutrientes, gerando soluções amplamente utilizadas para estimular o desenvolvimento vegetal e melhorar a fertilidade do solo (Oliveira et al., 2014; Fernandes et al., 2000). Já em nível empresarial, observa-se o avanço no desenvolvimento de bioinsumos, principalmente a partir das pesquisas conduzidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Dentre os resultados obtidos, destaca-se a demonstração de que a inoculação de determinados gêneros bacterianos em bioinsumos, como *Azotobacter*, *Bacillus* e *Pseudomonas*, pode melhorar a estruturação física do solo, aumenta a exsudação radicular de ácidos orgânicos e promove vigor significativo no crescimento do milho sob condições de campo (Fukami et al., 2016).

Buscando aliar o potencial biotecnológico dos microrganismos à autonomia da produção artesanal de baixo custo para o agricultor, foram desenvolvidas metodologias baseadas na microbiologia florestal nativa. Nesse sentido, o *Litière Forestière Fermentée* (LiFoFer) surge como uma alternativa promissora. (Hungria et al., 2010; Vessey, 2003). Produzido a partir da fermentação da serapilheira florestal (camada de matéria orgânica presente no solo das matas), esse biofertilizante concentra elevada diversidade microbiana, preservando comunidades adaptadas às condições naturais

do ecossistema de origem (Berg, 2009). Análises taxonômicas de formulações semelhantes à técnica original dos Microrganismos de Montanha (MM) da qual o LiFoFer deriva, demonstram predomínio de bactérias ácido-láticas em sinergia com fungos biocontroladores, como o *Trichoderma* spp e fungos ectomicorrízicos. Embora esses fungos permaneçam em estado de baixa atividade metabólica durante a fermentação líquida em condições anaeróbias, eles podem retomar rapidamente seu desenvolvimento após entrarem em contato com a rizosfera das plantas (Adeyemi et al., 2021; Berg, 2009).

Outro potencial atribuído ao LiFoFer é a supressão biológica de fitopatógenos. De acordo com os princípios do controle biológico por microrganismos benéficos, os consórcios microbianos presentes no biofertilizante podem favorecer mecanismos de exclusão competitiva no ambiente edáfico, dificultando o estabelecimento e a proliferação organismos causadores de doenças radiculares (Compant; Clément; Sessitsch, 2010).

2.3 EROÇÃO GENÉTICA E SUBSTITUIÇÃO DAS VARIEDADES TRADICIONAIS

A consolidação do modelo agrícola baseado na RV intensificou o processo de substituição de variedades tradicionais por cultivares melhoradas, fenômeno conhecido como erosão genética (Wood; Lenné, 1999). As variedades crioulas, também conhecidas como variedades locais, conceituam-se como populações de polinização aberta que foram desenvolvidas, selecionadas e conservadas por agricultores ao longo de inúmeras gerações. Por não terem sido submetidas a programas formais de melhoramento genético, preservam elevada variabilidade genética (Araújo; Nass, 2002). Os pacotes tecnológicos difundidos durante a RV incentivaram os agricultores a adotarem sementes comerciais associadas ao uso de insumos específicos, contribuindo para a criação de uma dependência tecnológica e econômica (Altieri, 2012; Dufumier, 2010). Como consequência, as variedades crioulas foram progressivamente abandonadas.

A conservação das sementes crioulas está diretamente relacionada à autonomia das famílias rurais, uma vez que permite a produção, a seleção e o armazenamento das próprias sementes, reduzindo a dependência de insumos e de sementes comerciais (Trindade, 2006). Como parte desse movimento de resistência e conservação da agrobiodiversidade, destacam-se as Casas de Sementes, que funcionam como bancos comunitários voltados ao armazenamento e à troca de germoplasma entre agricultores familiares, fortalecendo as dinâmicas socioculturais e econômicas do meio rural (Trindade, 2006). A substituição das variedades crioulas por cultivares comerciais provoca perda de biodiversidade e enfraquece as estruturas comunitárias de conservação de sementes.

No Brasil, ainda existem regiões que desempenham papel fundamental na

conservação da agrobiodiversidade agrícola. Nesse contexto, destaca-se o município de Anchieta, em Santa Catarina, reconhecido como uma área de elevada diversidade genética de milho (*Zea mays* L.), sendo considerado um microcentro de diversidade dessa espécie (Costa; Silva; Ogliari, 2017). Microcentros de diversidade são regiões geográficas que concentram elevada variabilidade genética de uma cultura agrícola, frequentemente associada à conservação e ao manejo contínuo de variedades locais por agricultores familiares (Costa; Silva; Ogliari, 2017). Em Anchieta, numerosas variedades crioulas são cultivadas e conservadas para diferentes finalidades, incluindo a produção de alimentos para consumo humano, alimentação animal e manutenção de sementes para safras subsequentes. Esses sistemas de cultivo desempenham papel fundamental na conservação *in situ* e *on farm* dos recursos genéticos vegetais, contribuindo para a manutenção da variabilidade genética da espécie e funcionando como reservatórios de alelos de interesse para programas de melhoramento vegetal (Salgotra; Chauhan, 2023; Costa; Silva; Ogliari, 2017).

2.4 INTEGRAÇÃO ENTRE AGROBIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA

A agrobiodiversidade expressa, tanto na diversidade genética das plantas cultivadas, quanto na complexidade das comunidades microbianas do solo, constitui um dos principais pilares para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e inovadores (Boef, 2007). Nesse contexto, as variedades crioulas assumem papel estratégico, pois representam reservatórios de variabilidade genética acumulada ao longo de processos de seleção natural e antrópica, frequentemente associados à adaptação a condições edafoclimáticas específicas e à maior estabilidade produtiva em ambientes de baixo insumo (Araújo; Nass, 2002). Além de seu valor direto para a agricultura, essas variedades constituem fontes de alelos de interesse para programas de melhoramento genético, especialmente no contexto de estresses abióticos e bióticos (Paterniani et al., 2000). Sua utilização em estudos científicos amplia as possibilidades de identificação de genes associados à tolerância, à eficiência no uso de nutrientes e às interações com microrganismos benéficos, contribuindo para o desenvolvimento de cultivares mais resilientes e adaptadas a sistemas produtivos sustentáveis (Berg; Smalla, 2009; Mendes et al., 2011).

Paralelamente, a biodiversidade do solo, especialmente a microbiota associada à rizosfera, exerce papel importante na manutenção da fertilidade e da saúde dos agroecossistemas. Microrganismos do solo participam ativamente de processos como ciclagem de nutrientes, solubilização de minerais, produção de fitormônios e supressão de patógenos (Compant; Clément; Sessitsch, 2010). A interação entre genótipos vegetais e comunidades microbianas é dinâmica e

influenciada pela diversidade genética das plantas. Nesse contexto, o genótipo do hospedeiro interfere diretamente na composição da microbiota rizosférica, uma vez que a produção de exsudatos radiculares específicos, compostos por açúcares e ácidos orgânicos influenciam diretamente o recrutamento e a seleção de populações microbianas associadas à rizosfera (Badri; Vivanco, 2009; Bulgarelli et al., 2013). Essas interações indicam que a diversidade genética das plantas pode influenciar a composição das comunidades microbianas associadas à rizosfera, reforçando o potencial das variedades crioulas como objeto de estudo para a compreensão dessas relações.

A integração entre a diversidade genética das plantas cultivadas e a diversidade microbiana do solo amplia o potencial de aplicação da biotecnologia na agricultura sustentável. Nesse contexto, a prospecção de microrganismos associados a variedades crioulas e a ambientes conservados tem permitido identificar organismos com potencial para utilização como biofertilizantes, bioestimulantes e agentes de controle biológico (Hungria et al., 2010; Berg, 2009). Esses microrganismos podem contribuir para o aumento da disponibilidade de nutrientes, estimular o crescimento vegetal e auxiliar na supressão de fitopatógenos, reduzindo a dependência de insumos.

Além disso, o estudo das interações entre plantas e microrganismos fornece subsídios importantes para o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas. A identificação de associações benéficas entre determinados genótipos vegetais e comunidades microbianas pode favorecer a seleção de cultivares mais eficientes no uso de recursos e mais adaptadas a condições ambientais adversas (Berendsen; Pieterse; Bakker, 2012). Dessa forma, abordagens biotecnológicas que integram recursos genéticos vegetais e microbiológicos representam uma alternativa relevante para promover a produtividade agrícola de forma sustentável (Hungria et al., 2010; Berg, 2009). Nesse contexto, variedades crioulas e bioinsumos microbianos representam componentes complementares de sistemas agrícolas sustentáveis. Enquanto as variedades crioulas contribuem para a manutenção da diversidade genética cultivada, biofertilizantes baseados em comunidades microbianas benéficas podem auxiliar na recuperação da atividade biológica do solo e na redução da dependência de insumos externos. Assim, a avaliação de tecnologias como o LiFoFer em variedades tradicionais de milho constitui uma abordagem relevante para integrar conservação da agrobiodiversidade, inovação biotecnológica e sustentabilidade agrícola.

Dessa forma, o estudo integrado da agrobiodiversidade, englobando plantas e microrganismos, deve ser incentivado no âmbito da pesquisa e da formação acadêmica, especialmente em cursos de Biotecnologia. A compreensão dessas interações e a valorização de sistemas agrícolas baseados na diversidade são fundamentais para a formação de profissionais aptos a desenvolver tecnologias voltadas à sustentabilidade agrícola e à conservação dos recursos genéticos (Trindade, 2006; Altieri, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da adubação com LiFoFer, da adubação química convencional e da combinação de ambos sobre características morfológicas e agronômicas da variedade de milho crioulo Rajado, a fim de verificar o potencial do LiFoFer como alternativa à adubação comercial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar e comparar as características morfológicas da variedade crioula de milho Rajado, incluindo altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo e comprimento do pendão, sob os tratamentos com LiFoFer, adubação química convencional, combinação LiFoFer + adubação química e ausência de adubação.
- Avaliar os componentes de rendimento agrônomo da variedade crioula de milho Rajado, por meio da determinação do comprimento da espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa de cem grãos nos diferentes tratamentos avaliados.
- Determinar e comparar a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) da variedade crioula de milho Rajado submetida aos diferentes tratamentos, visando avaliar o potencial do LiFoFer como alternativa ou complemento à adubação química convencional.
- Investigar possíveis efeitos sinérgicos ou antagônicos da aplicação combinada do biofertilizante LiFoFer e da adubação química convencional sobre as características morfológicas e produtivas da cultura.

4. METODOLOGIA

4.1 MATERIAL VEGETAL, ÁREA DE ESTUDO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido durante a safra 2024/2025, entre os meses de setembro a janeiro, na área experimental do Centro Estadual de Educação Profissional Manoel Moreira, localizado no município de Foz do Iguaçu, Paraná. Como material vegetal, utilizou-se a variedade crioula de milho Rajado, de polinização aberta, originária do município de Anchieta, Santa Catarina.

O solo da área experimental apresentou textura argilosa, com 60,45% de argila, 18,10% de silte e 21,45% de areia. As características químicas e físicas da camada de 0 – 20 cm do solo encontram-se apresentadas na Tabela 1

Foram avaliados quatro tratamentos: T1, correspondente à aplicação do biofertilizante LiFoFer; T2, correspondente à adubação química convencional; T3, correspondente à aplicação conjunta de LiFoFer e adubação química; e T4, correspondente à testemunha, isto é, sem a aplicação de biofertilizante e fertilizante químico.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos casualizados, com três repetições. Cada parcela experimental foi constituída por uma linha de três metros de comprimento, espaçada em 0,80 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, totalizando 15 plantas por parcela e densidade equivalente a 62.500 plantas ha⁻¹.

A semeadura foi realizada em sistema convencional, com deposição de três sementes por cova. No estágio de duas folhas completamente expandidas, realizou-se o desbaste, mantendo-se uma planta por cova e estabelecendo-se um estande final de cinco plantas por metro linear.

.

Tabela 1. Características químicas e físicas (camada de 0–20 cm do solo) da área experimental no Colégio Agrícola em Foz do Iguaçu – PR, Safra 2024.

pH CaCl₂	P	S-SO₄²⁻	Cu	Fe	Mn	Zn	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H⁺+Al³⁺	T
	mgdm ⁻³						cmol dm ⁻³					CTC pH 7,0)
6,1	143,3	4,37	8,56	80,59	118,21	7,23	0,87	5,35	2,35	0	4,28	12,85
M.O.	V	Argila	Silte	Areia								
(g kg⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)								
32,15	66,69	60,45	18,1	21,45								

As siglas representam: pH (CaCl₂) = Medida da acidez do solo utilizando solução de cloreto de cálcio; P = Fósforo disponível (mgdm⁻³); S-SO₄²⁻ = Enxofre na forma de sulfato (mgdm⁻³); Cu, Fe, Mn, Zn = Teores disponíveis de cobre, ferro, manganês e zinco (mg dm⁻³); K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = Potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (cmolc dm⁻³); H⁺+Al³⁺ = Acidez potencial do solo (cmolc dm⁻³); T (CTC pH 7,0) = Capacidade de troca catiônica do solo a pH 7,0 (cmolc dm⁻³); M.O. (g kg⁻¹) = Teor de matéria orgânica; V (%) = Saturação por bases; Argila, Silte, Areia (%) = Distribuição granulométrica do solo, indicando a porcentagem de cada fração textural.

4.2 PRODUÇÃO DO BIOFERTILIZANTE LiFoFer

O biofertilizante LiFoFer (*Litière Forestière Fermentée*) foi produzido conforme a metodologia descrita por Dufumier (2021), utilizando serapilheira florestal coletada na Trilha do Vietnã, localizada no município de Foz do Iguaçu, Paraná. Foram coletados aproximadamente 2 kg de serapilheira em estado de decomposição, a qual foi utilizada como fonte de microrganismos para o processo fermentativo.

A produção do biofertilizante ocorreu em duas etapas sucessivas. Na primeira etapa, caracterizada pela fermentação sólida, a serapilheira coletada foi triturada e homogeneizada com 1,66 kg de farelo de aveia, 208,5 g de melaço, 600 mL de soro de leite e água morna, até atingir umidade entre 40% e 50%. A mistura foi compactada em recipiente hermeticamente fechado e mantida sob condições de anaerobiose durante 30 dias em ambiente sombreado. Durante esse período, a fermentação favoreceu a atividade de bactérias ácido-láticas, responsáveis pela produção de ácidos orgânicos e pela redução progressiva do pH, contribuindo para a estabilização microbiológica do biofertilizante e para a inibição de microrganismos indesejáveis.

Na segunda etapa, correspondente à fermentação líquida, foram adicionados 100 g de açúcar, 100 mL de iogurte natural e 666 mL de água morna em um novo recipiente. Em seguida, foram incorporados 100 g da matriz sólida previamente fermentada. O recipiente foi novamente vedado e mantido em fermentação por sete dias, obtendo-se a formulação líquida final utilizada no experimento.

4.3 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Foram avaliados quatro tratamentos, constituídos pela aplicação isolada ou combinada do biofertilizante LiFoFer e da adubação química convencional. O T1 consistiu na aplicação exclusiva do biofertilizante LiFoFer, sendo conduzido por meio do preparo, diluição e aplicação da formulação líquida via irrigação superficial após a semeadura. Para utilização em campo, 12 L do biofertilizante foram diluídos em 228 L de água, resultando em uma solução final com concentração de 5%. Essa diluição foi adotada com o objetivo de facilitar a aplicação e proporcionar distribuição mais homogênea da solução no solo. A aplicação foi realizada de forma manual e localizada, utilizando regadores, uma vez a cada sete dias, durante quatro semanas consecutivas, com início imediatamente após a semeadura.

O T2 consistiu na adubação química convencional. Para isso, na semeadura foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) e 60 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O), utilizados

na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Aos 30 dias após a semeadura, realizou-se adubação de cobertura com 100 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma de ureia.

O tratamento T3 correspondeu à aplicação conjunta do biofertilizante LiFoFer e da adubação química convencional. Nesse tratamento foram mantidas as doses, formas e épocas de aplicação descritas para os tratamentos T1 e T2. O tratamento T4 constituiu a testemunha, não recebendo aplicação de biofertilizante nem de fertilizantes químicos durante o período experimental.

4.4 VARIÁVEIS AVALIADAS

As variáveis analisadas foram agrupadas em dois conjuntos: características morfológicas e características agronômicas. O grupo das características morfológicas foi composto pelas variáveis altura média de espiga (AE, m), altura média de planta (AP, m), posição relativa da espiga (PRE, adimensional), diâmetro médio do colmo (DC, cm), comprimento médio do pendão (CP, cm), comprimento médio da ramificação principal do pendão (CRP, cm) e número médio de ramificações do pendão (NRP). Essas avaliações foram realizadas durante o estágio fenológico de enchimento de grãos, sendo mensuradas em uma amostra de cinco plantas aleatórias.

O grupo das características agronômicas foi constituído pelo diâmetro médio de espiga (DE, expresso em mm), comprimento médio de espiga (CE, expresso em cm), número médio de fileiras de grãos por espiga (NFG), número médio de grãos por fileira (NGF), massa de cem grãos (MCG, expresso em g) e produtividade média de grãos (PG, expresso em kg ha^{-1}). Essas variáveis foram avaliadas após a colheita, sendo a produtividade corrigida para a umidade padrão de 13%. As variáveis DE, CE, NFG e NGF foram mensurados em uma amostra de cinco espigas aleatórias.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à verificação dos pressupostos da análise de variância, incluindo a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, conforme descrito por Cruz et al. (2012). Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) utilizando o software GENES, considerando o modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$, em que Y_{ij} corresponde à observação referente ao i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco; μ representa a média geral; t_i corresponde ao efeito do tratamento; b_j representa o efeito do bloco; e e_{ij} corresponde ao erro experimental (Vencovsky e Barriga, 1992).

A precisão experimental foi estimada a partir da análise de variância por meio do coeficiente de variação (CV), calculado pela expressão: $CV (\%) = [(\sqrt{QME}) / \mu] \times 100$, em que QME corresponde

ao quadrado médio do erro e μ à média geral da característica avaliada. Posteriormente, quando constatado efeito significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Os resultados da análise de variância encontram-se apresentados na Tabela 2. Entre as características morfológicas avaliadas, altura média da espiga (AE), altura média da planta (AP), posição relativa da espiga (PRE), diâmetro médio do colmo (DC), comprimento médio do pendão (CP), comprimento médio da ramificação principal do pendão (CRP) e número médio de ramificações do pendão (NRP) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Entre as características agronômicas, o diâmetro médio da espiga (DE), o número médio de fileiras de grãos por espiga (NFG) e o número médio de grãos por fileira (NGF) também não diferiram estatisticamente entre os tratamentos ($p > 0,05$). Por outro lado, o comprimento médio da espiga (CE) e a massa de cem grãos (MCG) apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. A produtividade média de grãos (PG) teve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade. Os coeficientes de variação variaram de 3,35% (PRE) a 8,49% (PG), indicando adequada precisão experimental para as características avaliadas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância, das médias e dos coeficientes de variação (CV) para caracteres morfológicos e agronômicos em uma variedade de milho crioula, sob diferentes tratamentos de adubação.

Fonte de variação	Tratamento		Resíduo		Test F	Média	CV
	SQ	QM	SQ	QM			
Características morfológicas							
Altura média de espiga (m)	0,07	0,22	0,07	0,01	2,03 ^{ns}	1,53	6,83
Altura média de planta (m)	0,15	0,05	0,10	0,02	3,18 ^{ns}	2,56	4,96
Posição relativa da espiga	0,0020	0,0007	0,0013	0,0002	3,03 ^{ns}	0,59	2,52
Diâmetro médio de colmo (cm)	0,23	0,08	0,14	0,02	3,16 ^{ns}	1,88	8,20
Comprimento médio do pendão (m)	0,0003	0,0001	0,0021	0,0004	0,25 ^{ns}	0,41	4,56
Comp. da Ramificação Principal (m)	0,0004	0,0001	0,0035	0,0006	0,25 ^{ns}	0,30	8,19
Número de ramificações do pendão	21,75	7,25	80,61	13,43	0,54 ^{ns}	21,56	17,00
Características agronômicas							
Diâmetro de Espiga (mm)	10,40	3,47	8,65	1,44	2,40 ^{ns}	49,47	2,43
Comprimento de Espiga (cm)	13,93	4,64	3,21	0,54	8,67 *	17,54	4,17
Número de fileiras de grãos por espiga	0,33	0,11	1,17	0,19	0,57 ^{ns}	13,17	3,35
Número médio de grãos por fileira	31,35	10,45	18,64	3,11	3,36 ^{ns}	38,22	4,61
Massa de cem grãos (g)	81,01	27,00	28,02	4,67	5,78 *	39,19	5,51
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	401.675,58	133.891,86	67.818,17	11.303,03	11,85 **	5.218,40	8,49

As siglas representam: SQ = soma de quadrados; QM = quadrados médios; F = valor do teste F; CV = coeficiente de variação; Nível de significância determinado pelo Teste F: ns = não significativo * = significativo a 5%; e ** = significativo a 1%.

5.2 TESTE DE SEPARAÇÃO DE MÉDIAS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRONÔMICAS

As médias das características avaliadas encontram-se apresentadas na Tabela 3. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhuma das variáveis morfológicas avaliadas ($p > 0,05$) (Tabela 3). Entre as características agronômicas avaliadas, o comprimento médio de espiga (CE), a massa de cem grãos (MCG) e a produtividade média de grãos (PG) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Médias dos caracteres morfológicos e agronômicos de plantas de milho submetidas aos tratamentos com LiFoFer (T), adubação química (T2), combinação de ambos (T3) e controle (T4), com comparação pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Variáveis / Médias	T1		T2		T3		T4	
Características morfológicas								
Altura média de espiga (m)	1,52	A	1,63	A	1,42	A	1,53	A
Altura média de planta (m)	2,57	A	2,69	A	2,38	A	2,58	A
Posição relativa da espiga	0,60	A	0,59	A	0,58	A	0,57	A
Diâmetro médio de colmo (cm)	1,84	A	2,10	A	1,85	A	1,73	A
Comprimento médio de pendão (m)	0,41	A	0,40	A	0,41	A	0,42	A
Comprimento média da Ramificação principal (m)	0,29	A	0,30	A	0,30	A	0,29	A
Número de ramificações do pendão	22,72	A	21,65	A	19,33	A	22,53	A
Características agronômicas								
Diâmetro de Espiga (cm)	49,40	A	50,82	A	49,47	A	48,19	A
Comprimento de Espiga (cm)	18,50	A	18,43	A	17,39	AB	15,84	B
Nº de fileiras de grãos por espiga	13,00	A	13,33	A	13,33	A	13,00	A
Número médio de grãos por fileira	37,89	A	40,11	A	39,11	A	35,78	A
Massa de cem grãos (g)	43,06	A	40,07	AB	36,96	AB	36,68	B
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	5.997,21	A	5.941,67	A	4.650,00	B	4.284,71	B

A sigla T1 corresponde ao tratamento com LiFoFer, T2 a adubação química, T3 ao LiFoFer juntamente com adubação química e T4 ao controle, ou seja, sem a adição de insumos.

O tratamento com LiFoFer (T1) apresentou CE de 18,50 cm, valor estatisticamente semelhante ao observado na adubação química convencional (T2), que apresentou média de 18,43 cm. O tratamento controle (T4), com 15,84 cm, apresentou valor estatisticamente inferior

aos tratamentos T1 e T2, porém não diferiu significativamente da média obtida no tratamento T3 (17,39 cm).. Resultado semelhante foi observado para a produtividade de grãos. O tratamento com LiFoFer (T1) apresentou rendimento médio de 5.997,21 kg ha⁻¹, enquanto a adubação química convencional (T2) apresentou produtividade de 5.941,67 kg ha⁻¹. Ambos os tratamentos diferiram estatisticamente do T3, que apresentou produtividade de 4.650,00 kg ha⁻¹, e da testemunha (T4), cuja produtividade foi de 4.284,71 kg ha⁻¹.

6. DISCUSSÃO

A ausência de diferenças significativas para as características morfológicas avaliadas (altura média de planta, altura média de espiga, posição relativa da espiga, diâmetro médio do colmo, comprimento médio do pendão, comprimento médio da ramificação principal e número médio de ramificações) indica que os tratamentos exerceram influência limitada sobre o crescimento vegetativo e sobre a definição da arquitetura das plantas. Esse comportamento é explicado, parcialmente, pelo forte controle genético dessas variáveis, que apresentam menor plasticidade frente ao manejo (Paterniani et al., 2000; Fancelli; Dourado Neto, 2004). Contudo, a ausência de resposta morfológica pode estar atrelada, fundamentalmente, à elevada fertilidade inicial do solo da área experimental. Conforme demonstrado na caracterização química (Tabela 1), o solo apresentava pH adequado (6,1), ausência de alumínio trocável, elevada saturação por bases (66,69%), altos teores de matéria orgânica (32,15 g kg⁻¹) e disponibilidade considerada elevada para fósforo, potássio, cálcio e magnésio (SBCS, 2016). Nessas condições, o sistema já se encontrava próximo da suficiência nutricional e não se constituiu como um fator limitante ao desenvolvimento vegetativo da cultura, reduzindo drasticamente a magnitude das respostas esperadas aos tratamentos.

De forma semelhante, os componentes de rendimento número médio de fileiras de grãos por espiga (NFG) e número médio de grãos por fileira (NGF) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Como tais componentes são definidos muito precocemente no desenvolvimento da espiga, quando a planta estabelece o número potencial de óvulos e de fileiras, eles possuem menor elasticidade anatômica frente a oscilações nutricionais (Sangoi et al., 2010), estabilizando-se em decorrência da oferta adequada de nutrientes desde o estabelecimento inicial da lavoura.

Por outro lado, a associação entre o LiFoFer e a adubação química (T3) não promoveu o incremento adicional esperado na produtividade, apresentando queda de rendimento em comparação ao uso isolado das tecnologias. Uma vez que o solo já operava em elevada fertilidade natural, é possível que o aporte somado de insumos tenha ultrapassado o teto de saturação fisiológica da cultura, limitando respostas aditivas (Compant; Clément; Sessitsch, 2010). Ademais, a aplicação frequente de LiFoFer (comunidades microbianas ativas em matriz de carbono) combinada com altas doses de ureia pode ter provocado alterações temporárias drásticas na microbiota rizosférica. É biologicamente plausível que tal interação tenha modificado a dinâmica da mineralização do nitrogênio no solo, induzindo perdas agudas por

volatilização, forte competição entre microrganismos e raízes, ou o sequestro temporário do nutriente na biomassa microbiana (imobilização microbiana), devido ao desbalanço agudo na relação carbono/nitrogênio (Moreira; Siqueira, 2006). Como este estudo não contemplou análises quantitativas de nitrogênio mineral ou de estrutura de comunidade microbiana do solo no pós-plantio, essa hipótese permanece especulativa, porém fisiologicamente provável.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biofertilizante LiFoFer apresentou potencial como alternativa à adubação química convencional no cultivo da variedade crioula de milho Rajado. Sua aplicação isolada proporcionou médias de comprimento de espiga, massa de cem grãos e produtividade estatisticamente semelhantes aos obtidos com a adubação química, demonstrando potencial para manter o desempenho produtivo da cultura nas condições avaliadas.

A aplicação conjunta de LiFoFer e adubação química não promoveu incrementos de produtividade em relação aos tratamentos aplicados isoladamente, apresentando desempenho intermediário em comparação aos demais tratamentos e à testemunha. Os mecanismos responsáveis por essa resposta não puderam ser determinados neste estudo e merecem ser alvo de estudos posteriores.

Por fim, os resultados obtidos indicam que o LiFoFer constitui uma alternativa potencial para o manejo nutricional da cultura do milho. Estudos futuros envolvendo diferentes ambientes, safras, doses e formas de aplicação serão necessários para ampliar o conhecimento sobre seu potencial agrônomo e sua utilização em diferentes materiais genéticos de milho.

8. REFERÊNCIAS

ABREU, L.; CANSI, E.; JURIATTI, C. Avaliação do rendimento socioeconômico de variedades crioulas e híbridos comerciais de milho na microrregião de Chapecó. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Cruz Alta, v. 2, n. 1, p. 1230-1233, 2007.

ADEYEMI, K. S. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable soil health in smallholder agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Lausanne, v. 5, p. 606308, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606308>.

ALTIERI, M. A. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ARAÚJO, P. M.; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 589-593, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000300026>.

BADRI, D. V.; VIVANCO, J. M. Regulation and function of root exudates. *Plant, Cell & Environment*, Oxford, v. 32, n. 6, p. 666-681, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 108, p. 77-136, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8).

BEUTLER, A. N. et al. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1591-1600, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100019>.

BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C. M. J.; BAKKER, P. A. H. M. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, Oxford, v. 17, n. 8, p. 478-486, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>.

BERG, G.; SMALLA, K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 1-13, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900001>.

BOEF, W. S. Biodiversidade e agrobiodiversidade. In: BOEF, W. S. et al. (org.). *Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitário*. Porto Alegre: L&PM, 2007. p. 17-36.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 27 maio 2020.

BULGARELLI, D. et al. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 64, p. 807-838, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 42, n. 5, p. 669-678, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.-O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, Oxford, v. 19, n. 2, p. 292-305, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.

COSTA, F. M. Padrões de dispersão e conservação da diversidade genética do milho (*Zea mays ssp. mays*) nas terras baixas da América do Sul. 2020. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-04062020-152138/publico/Flaviane_Malaquias_Costa_versao_revisada.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

COSTA, F. M.; SILVA, N. C. A.; OGLIARI, J. B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. Genetic Resources and Crop Evolution, Dordrecht, v. 64, n. 4, p. 681-700, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0391-2>.

COSTA, R. V. da; CASELA, C. R.; COTA, L. V. Doenças causadas por mollicutes e por vírus. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. v. 1.

DUFUMIER, M. Projetos de desenvolvimento agrícola: manual para especialistas. 3. ed. Salvador: EDUFBA, 2021.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004.

FREDDI, O. da S. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. Bragantia, Campinas, v. 66, n. 3, p. 477-486, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000300015>.

FREDDI, O. da S. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento da parte aérea e produtividade da cultura do milho. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 272-287, 2008. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n2p272-287>.

FUKAMI, J. et al. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum* brasilense. AMB Express, Heidelberg, v. 6, n. 1, p. 3, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express, Heidelberg, v. 8, n. 1, p. 73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>.

HIGA, T. Microorganisms for agriculture and environmental preservation. Atami: International Nature Farming Research Center, 1989.

HIGA, T.; PARR, J. F. Microorganisms for agriculture and environment. Tokyo: International Nature Farming Research Center, 1994.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum* brasilense and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. Plant and Soil, Dordrecht, v. 331, n. 1-2, p. 413-425, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.

KOSKEY, G. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and their role in sustainable agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems, Lausanne, v. 5, p. 606308, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606308>.

MAHANTY, T. et al. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research, Landsberg, v. 24, n. 4, p. 3315-3335, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>.

MAROIS, J. et al. Chemical and Microbial Characterization of Fermented Forest Litters Used as Biofertilizers. Microorganisms, Basel, v. 11, n. 2, p. 306, 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11020306.

MENDES, R. et al. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. Science, Washington, DC, v. 332, n. 6033, p. 1097-1100, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1203980>.

NASS, L. L. et al. Recursos genéticos vegetais. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Genetic vulnerability of major crops. Washington, DC: National Academies Press, 1972.

OLIVEIRA, F. L. de et al. Biofertilizantes líquidos fermentados: caracterização, benefícios agrônômicos e uso na agricultura familiar. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 9, n. 5, p. 32-41, 2014.

PATERNIANI, E. et al. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Piracicaba: Fundação Cargill,

2000.

RIBEIRO, L. P.; CANALE, M. C. Cigarrinha-do-milho e o complexo de enfezamentos em Santa Catarina: panorama, patossistema e estratégias de manejo. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 34, p. 22-25, 2021.

SANGOI, L. et al. Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos. Lages: Graphel, 2010.
SILVA, T. O. da et al. Adubação orgânica da batata com esterco bovino e biofertilizante. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 2, n. 4, p. 253-258, 2007.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000100012>.

TORMENA, C. A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 253-261, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200002>.

TRINDADE, S. Sementes crioulas: agrobiodiversidade, segurança alimentar e autonomia camponesa. *Cadernos de Agroecologia*, Recife, v. 1, n. 1, 2006.

VELTHOF, G. et al. Nitrogen as a threat to European soil quality. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 255, n. 2, p. 571-586, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>.

VOGT, G. A. A diversidade de variedades locais de milho em Anchieta, Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 58-63, 2010.

WOOD, D.; LENNÉ, J. M. The conservation of agrobiodiversity *on-farm*: questioning the emerging

paradigm. *Biodiversity and Conservation*, Dordrecht, v. 6, n. 1, p. 109-129, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1018335519382>.

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia do milho: visando altas produtividades**. Santa Maria: Pallotti, 2018.