

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
CAMPUS CRISTALINA  
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**EFEITO DE *BACILLUS VELEZENSIS* E *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* NO  
DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO**

**JOÃO DAVI ABADIA TELES  
CRISTALINA  
2024**

**JOÃO DAVI ABADIA TELES**

**EFEITO DE *BACILLUS VELEZENSIS* E *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* NO  
DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Cristalina, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador(a): Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha

**CRISTALINA  
2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano**

T269e

Teles, João Davi Abadia.

Efeito de *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento e produtividade do trigo [manuscrito] / João Davi Abadia Teles. -- Cristalina, GO: IF Goiano, 2024.  
27 fls.

Orientadora: Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Cristalina, 2024.

1. Ciências agrárias - Agronomia. 2. Fixação de Nitrogênio. 3. Bactérias promotoras de crescimento. 4. Solubilização de fósforo. I. Rocha, Geisiane Alves. II. Título.

CDU 631.4/.8

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:      Não      Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:      /      /

O documento está sujeito a registro de patente?      Sim      Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?      Sim      Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local      /      /  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documento

BACHARELADO EM AGRONOMIA

Efeito de *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento e produtividade do trigo

Autor(a): João Davi Abadia Teles

Orientador(a): Geisiane Alves Rocha

TITULAÇÃO: Bacharel em Agronomia.

APROVADA em 23 de Setembro de 2024

*Geisiane Alves Rocha*  
Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha  
Presidente da Banca  
IF Goiano - Campus Cristalina

*Suelen Cristina Mendonça Maia*  
Profa. Dra. Suelen Cristina Mendonça Maia  
Membro da Banca  
IF Goiano - Campus Cristalina

*Matheus Lemos Matias*  
Eng. Agrônomo Matheus Lemos Matias  
Membro da Banca  
VITTIA

## RESUMO

A cultura do trigo tem ganhado relevância como alternativa viável para cultivos de inverno na região do Cerrado. Entretanto, é necessária atenção para a eficiência da prática, uma vez que os solos tropicais apresentam características de fertilidade limitantes a produtividade. Nesse contexto, o trigo é considerado uma cultura com alta demanda nutricional, principalmente de nitrogênio e de fósforo. Uma alternativa para melhor disponibilização desses nutrientes é a utilização de microrganismos benéficos. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de microrganismos promotores de crescimento na eficiência do consumo de recursos e na produtividade do cultivo de trigo. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com 6 repetições, sendo 5 tratamentos: testemunha absoluta - sem adubação e sem aplicação de microrganismos; parcela adubada - adubação mineral sem a aplicação de microrganismos; aplicação de *Bacillus velezensis* + adubação mineral; aplicação de *Azospirillum brasilense* + adubação mineral; aplicação de *Bacillus velezensis* + *Azospirillum brasilense* + adubação mineral. Foram utilizados produtos comerciais à base dos microrganismos e aplicados em semeadura, conforme as recomendações dos fabricantes. Os parâmetros avaliados foram o desenvolvimento inicial, crescimento, produtividade de grãos e teores de nutrientes nas folhas após a colheita. O tratamento que recebeu a adubação mineral junto à combinação dos dois microrganismos apresentou maiores médias de crescimento durante todo estágio vegetativo da cultura. Microrganismos, como os testados, podem alterar a fisiologia e morfologia da planta e, junto à sua capacidade de disponibilizar nutrientes, promover crescimento sob condições ambientais não controladas. Manejos com bactérias promotoras de crescimento são complexos e dependem da adequada interação entre planta, microrganismo e ambiente. Reavaliar a fonte dos nutrientes e a alteração planejada da adubação mineral ou regime hídrico são caminhos a se considerar para otimização da prática.

**Palavras-chave:** Fixação de nitrogênio; bactérias promotoras de crescimento; solubilização de fósforo.

## ABSTRACT

Wheat cultivation has gained relevance as a viable alternative for winter crops in the Cerrado region. However, attention must be paid to the efficiency of this practice, as tropical soils present limiting nutritional characteristics. In this context, wheat is considered a crop with high nutritional demand, especially for nitrogen and phosphorus. Better availability of these nutrients can be obtained using beneficial microorganisms. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of inoculation with growth-promoting microorganisms on resource consumption efficiency and productivity of wheat cultivation. The experiment was conducted in a randomized block design with 6 replications, involving 5 treatments: absolute control - without fertilization and without the application of microorganisms; fertilized plot - mineral fertilization without the application of microorganisms; application of *Bacillus velezensis* + mineral fertilization; application of *Azospirillum brasilense* + mineral fertilization; application of *Bacillus velezensis* + *Azospirillum brasilense* + mineral fertilization. Commercial products based on the microorganisms were used and applied at sowing, according to the manufacturers' recommendations. Initial development, growth, productivity, and nutrient content in the leaves were evaluated after harvest. The treatment that received mineral fertilization combined with the two microorganisms showed higher growth averages throughout the entire vegetative stage of the crop. Microorganisms, such as those tested, can alter plant physiology and morphology and, along their ability to make nutrients available, promote growth under field environmental conditions. Management practices with plant growth-promoting bacteria are complex and depend on the appropriate interaction between plant, microorganism, and environment. Reassessing the source of nutrients, planned reduction of mineral fertilization, or water regime are paths to be considered to optimize the practice.

**Keywords:** Nitrogen fixation; phosphorus solubilization; plant growth-promoting bacteria.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>6</b>
2.1	BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO ASSOCIADAS A GRAMÍNEAS	6
2.2	INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS	6
2.3	A IMPORTÂNCIA DA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS	6
2.4	MECANISMOS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE <i>AZOSPIRILLUM</i>	7
2.5	MECANISMOS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE <i>BACILLUS</i>	7
2.6	OUTROS MECANISMOS BENÉFICOS DE BPCP'S	8
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
3.1	OBJETIVO GERAL	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>12</b>
5.1	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTA	12
5.2	AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO INICIAL	14
5.3	ANÁLISE DE CRESCIMENTO FINAL E PRODUTIVIDADE	17
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>20</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum L.*) é uma das principais culturas alimentares, cultivado em diferentes ambientes e regiões geográficas. Tem importância na cadeia produtiva agrícola devido à variedade de produtos derivados da cultura. No Brasil o trigo pode ser cultivado em diferentes Estados. Em Goiás, o trigo tem ganhado destaque nos últimos anos, tendo apresentado aumento no cultivo de inverno nas áreas irrigadas (CONAB, 2023). Para a safra de 2022, por exemplo, foi estimado um aumento de 35,7% na produção desse cereal no Estado de Goiás em relação à safra anterior, colocando Goiás como o sexto maior produtor de trigo no Brasil (SEAPA, 2023).

Apesar do crescimento da cultura no Estado de Goiás, existem alguns fatores que limitam sua produção, como é o caso da disponibilidade de nutrientes no solo. O nutriente mais exigido na cultura do trigo, assim como em diversas culturas, é o nitrogênio (N). A utilização de microrganismos que atuam na fixação de N, é uma excelente alternativa para culturas que exigem muito desse nutriente. A inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a adubação nitrogenada proporciona incrementos na produção de matéria seca de folhas, o que permite a redução da adubação de cobertura (MUMBACH et al., 2017; RODRIGUES, L. F. O. S. et al., 2014).

Já o Fósforo (P) não é o de maior exportação entre os macronutrientes, mas é extremamente importante nos processos metabólicos na planta e desenvolvimento inicial da cultura, seu balanço adequado em solo está diretamente ligado com a disponibilização de zinco, um dos micronutrientes mais limitantes na região do Cerrado, pois os solos do Cerrado apresentam naturalmente baixa fertilidade, elevada acidez e capacidade de indisponibilização de fosfatos (DE BONA; DE MORI; WIETHÖLTER, 2016).

As bactérias do gênero *Bacillus* e *Azospirillum* apresentam multifuncionalidade em sua interação com as plantas. Além de solubilizar o fósforo indisponível ou fixar o nitrogênio atmosférico podem promover resistência a fatores bióticos e abióticos, promover controle biológico de fitopatógenos e alterar a fisiologia e morfologia das raízes. Essas características as classificam como bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP). É comum uso de BPCP como alternativa para reduzir a dependência de fontes de nutrientes externas e reduzir riscos ligados a estresses não planejados. A inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus velezensis*, por exemplo, permite alterações na morfologia das raízes que aumentam a capacidade de absorção de água e nutrientes, acarretando no maior crescimento e depois produtividade em diversas culturas (CASSÁN et al., 2020; MOSELA et al., 2022).

A combinação de microrganismos visando melhor desenvolvimento da cultura e consequentemente melhor produção é uma alternativa viável ao produtor, visto que os microrganismos proporcionam melhorias ao solo e podem reduzir a quantidade de aplicações de diferentes insumos (RODRIGUES, et al. 2022). Desse modo, os estudos sobre a interação de microrganismos benéficos para promoção de crescimento das culturas devem ser realizados, principalmente em culturas como o trigo que possui um mercado bem estabelecido e representam possibilidade de diversificação para a região estudada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO ASSOCIADAS A GRAMÍNEAS

A demanda elevada de nitrogênio para a produção do trigo representa um grande potencial para o aumento da eficiência do uso de insumos. A inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio pode gerar estímulos ao desenvolvimento ou permitir a redução da adubação nitrogenada, sem ocasionar perdas de produtividade (MUMBACH et al. 2017). As bactérias do gênero *Azospirillum* são comumente utilizadas como condicionadoras de raízes para aumentar a eficiência da absorção de nutrientes em gramíneas, inclusive no cultivo de trigo como demonstrado por Hungria et al., (2010), gerando incrementos na produtividade de 13 a 18% a partir da inoculação de *Azospirillum brasilense* combinada com dose limitada de nitrogênio.

### 2.2 INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS

As condições de disponibilidade de fósforo no cerrado são naturalmente muito baixas pela natureza fixadora de fósforo do solo, o que pode impactar na eficiência da adubação fosfatada. Fertilizantes fosfatados de maiores solubilidades podem ser adsorvidos e indisponibilizados no momento planejado. A baixa mobilidade do nutriente no solo interfere no manejo de adubação, pois exige um posicionamento de sua aplicação mais focalizado em proximidade às sementes e raízes e impossibilita práticas de aplicação mais dispersantes.

Além disso, a dinâmica desse nutriente é dependente da atividade dos microrganismos, que atuam nas transformações de P no solo, mineralizando os P orgânico e solubilizando o P inorgânico, o transformando em formas disponíveis no ambiente. A inoculação de tais microrganismos disponibilizadores de P (como as bactérias solubilizadoras de fosfatos) é uma alternativa para melhorar a disponibilidade e distribuição dos fosfatos no solo. (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003). No experimento de Mosela et al. (2022) não há diferença significativa na produtividade de milho e soja, entre a adubação de 84 kg de  $P_2O_5$  e adubação de 25 kg de  $P_2O_5$  associado a inoculação de *Bacillus velezensis*.

### 2.3 A IMPORTÂNCIA DA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS

Quando os sistemas de defesa e resistência da planta são imaturos, os danos por fatores bióticos e abióticos são mais severos, podendo chegar ao ponto em que a planta não consiga mais se recuperar. Conforme Taiz et al. (2017), estabelecer rapidamente o desenvolvimento da plântula é determinante para o seu desenvolvimento e produtividade. A inoculação de bactérias promotoras de crescimento busca estimular o aumento da área radicular, aumentando os recursos que a planta consegue acessar. Com maiores recursos, a planta dispõe de maior capacidade de desenvolvimento e, por consequência, é possível que estabeleça mais rapidamente seus sistemas de defesa e tolerância à estresses.

#### 2.4 MECANISMOS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE *AZOSPIRILLUM*

Cassán et al. (2020) relatam que a hipótese mais evidente de promoção de crescimento por inoculação de *Azospirillum* é, justamente, a de aquisição eficiente de nutrientes, sendo ela composta pelos mecanismos de produção de fito-hormônios e de fixação de nitrogênio da bactéria. Já os mecanismos de mitigação de estresse ambiental, solubilização de fosfatos e alteração nas membranas da planta, também são associados à capacidade de *Azospirillum* promover crescimento, mas carecem de maiores evidências.

*Azospirillum* sintetizam e liberam metabólitos reguladores de crescimento em plantas, sendo o fito-hormônio auxina, na forma de ácido indolacético (AIA), o mais importante. O contato do trigo com AIA acumulado, desencadeia o aumento da área radicular através do desenvolvimento de pêlos e crescimento lateral da raiz (DOBBELAERE et al., 1999). Como principal mecanismo de disponibilização de nutrientes, *A. brasilense* fixa, através da ação da enzima nitrogenase, nitrogênio atmosférico em formas mais adequadas ao aproveitamento do sistema solo-planta.

#### 2.5 MECANISMOS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE *BACILLUS*

No caso das bactérias do gênero *Bacillus*, o estímulo ao crescimento da planta ocorre através da disponibilização de nutrientes, produção de fito-hormônios, atividade antagônica a patógenos e indução de resistência sistêmica (SANSINENEA, 2019). *Bacillus* também são capazes de sintetizar auxinas, causando o mesmo estímulo ao desenvolvimento radicular, além de produzirem compostos como ácidos orgânicos e sideróforos que disponibilizam fosfatos insolúveis no solo.

Esses sideróforos *Bacillus* também são compostos responsáveis por uma das formas de antagonismo a patógenos. Eles promovem a competição ao indisponibilizar aos patógenos, moléculas de ferro essenciais para seu desenvolvimento. Outra forma se dá através do controle direto. *Bacillus* produzem compostos como fengicina e bacilomicina, por exemplo,

lipopeptídeos que exercem ação antifúngica sobre os fitopatógenos do gênero *Fusarium*, causadores de deterioração em sementes e podridão em plântulas (RABBEE; HWANG; BAEK, 2023).

## 2.6 OUTROS MECANISMOS BENÉFICOS DE BPCP'S

Kasim et al. (2012) relata que espécies de *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense* atenuam prejuízos ao desenvolvimento do trigo por exposição a déficit hídrico. Em seu experimento, as plantas tratadas apresentaram uma menor atividade de enzimas antioxidantes e menor expressão de genes relacionados ao estresse, o que sugere menor nível de dano celular em decorrência de déficit hídrico. Em danos causados por altas temperaturas, Abd El-daim et al. (2014) demonstra a inoculação de *Bacillus* e *Azospirillum* proporcionando tolerância a altas temperaturas ao estimular a produção de enzimas importantes na proteção contra o estresse oxidativo, como prevenção aos danos causados pelo calor.

Quanto a resistência sistêmica induzida, as plantas possuem receptores que reconhecem padrões de moléculas associadas a patógenos e danos. Certos compostos liberados por *Bacillus*, interagem com esses receptores e desencadeiam repostas na planta, causando reprogramações genéticas que induzem a expressão de genes relacionados a defesa. Essas mudanças fisiológicas conferem resistência à planta antes mesmo do contato direto da planta com o fator de estresse. (ABD EL-DAIM; BEJAI; MEIJER, 2019).

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da inoculação de microrganismos promotores de crescimento na eficiência do consumo de recursos e na produtividade do cultivo de trigo.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os teores de nutrientes nas folhas em resposta à inoculação dos microrganismos *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense* em semeadura;

Avaliar o desenvolvimento inicial e promoção de crescimento em trigo quando inoculado com *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense*;

Avaliar a produtividade de grãos do trigo com inoculação de *Bacillus velezensis* e *Azospirillum brasilense* em semeadura.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano Campus Cristalina, na cidade de Cristalina-GO (coordenadas: -16.771306,-47.619042 a 1.225 metros de altitude) em casa de

vegetação. Foram utilizados vasos com capacidade de 8,5 Litros preenchidos com Latossolo argiloso, onde foram plantadas cinco sementes de trigo da cultivar TBIO ATON por vaso. Após emergência, as plântulas foram desbastadas, deixando apenas duas plantas por vaso. O solo foi analisado em laboratório, resultando nos seguintes parâmetros de fertilidade (Figura 1):

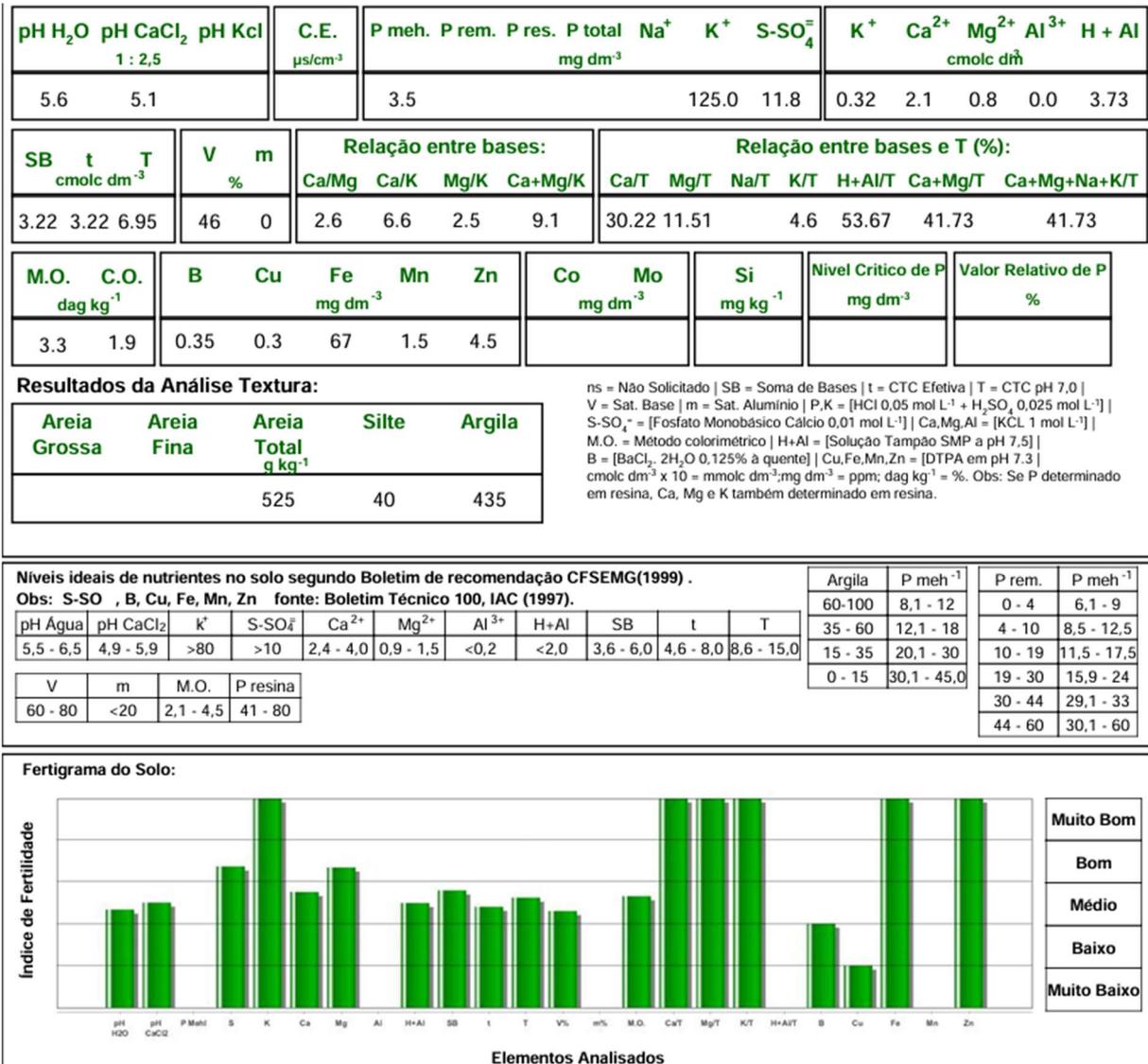


Figura 1 - Análise físico-química do solo.

A partir desses parâmetros foram calculadas as correções e adubações. Todas as aplicações foram dimensionadas para a conversão de massa por 20 cm de profundidade por 1 hectare (2.000 m<sup>3</sup> ou 2.000.000 de litros), para massa por volume de solo no vaso, ou seja, a cada kg.ha<sup>-1</sup> de adubo, foram 0,5 mg.L<sup>-1</sup>. A correção da acidez foi executada com um mês de antecedência à semeadura, 0,75 mg.L<sup>-1</sup> de solo ou 1,5 T.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 80%) foi aplicado em todos os vasos, buscando a saturação de bases em níveis adequados para

cultura (acima de 60%, elevação de 17 pontos de saturação) conforme descrito por Sousa e Lobato (2004).

A adubação foi feita em semeadura e o adubo nitrogenado também foi aplicado em cobertura (início do perfilhamento). As doses seguiram a recomendação da média entre os autores Gargantini et al. (1973) e Raij et al. (1996) e Sousa e Lobato, (2004) para correção de fertilidade e para suprir a extração do cultivo (projetada na estimativa da cultivar de 6 toneladas de grãos por hectare). Logo, foram aplicados 167,7 kg.ha<sup>-1</sup> ou 200 mg.L<sup>-1</sup> de ureia (42% de N), divididos em 100 mg.L<sup>-1</sup> em semeadura (metade da dose total) e 100 mg.L<sup>-1</sup> em cobertura e 90 kg.ha<sup>-1</sup> ou 45 mg.L<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (9% N amoniacal e MAP 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em semeadura. Os níveis de potássio no solo superavam a extração estimada da cultura, logo, não foi necessário realizar a adubação potássica.

A inoculação dos microrganismos foi feita em sulco de plantio, utilizando produtos comerciais, devidamente registrados, a base das concentrações de 1.10<sup>8</sup> UFC/mL de *Bacillus velezensis* (*Bacillus subtilis* UFV 3918) e 3.10<sup>8</sup> UFC/mL de *Azospirillum brasilense* (Ab-V5). As doses seguiram a recomendação do fabricante. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com 6 repetições e 5 tratamentos, conforme descrito abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das variáveis executadas em cada tratamento

	Adubação Mineral	<i>B. velezensis</i>	<i>A. brasilense</i>
T1	-	-	-
T2	Sim	-	-
T3	Sim	5 mL.L <sup>-1</sup>	-
T4	Sim	-	2 mL.L <sup>-1</sup>
T5	Sim	5 mL.L <sup>-1</sup>	2 mL.L <sup>-1</sup>

O manejo fitossanitário consistiu na aplicação via borrifador do equivalente a 3,75 g de fenpropimorfe, 0,65 g de ciclo-hexanona, 10 g de mancozebe, 1 g de metomil a cada litro de água, para prevenção contra fungos e insetos. Após semeadura, os vasos foram irrigados via gotejamento. As irrigações foram executadas diariamente com volume suficiente para atingir capacidade de vaso, considerando a evapotranspiração média estimada do estágio da cultura.

Foram avaliados os seguintes parâmetros de crescimento: curva de crescimento inicial por altura de planta a cada 3 dias até o final do estágio vegetativo, comprimento de parte aérea e de raiz, massa de matéria fresca e massa de matéria seca da parte aérea e raiz após a colheita.

Para armazenamento e secagem, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel. As medições de tamanho e massa foram feitas com paquímetro digital, régua, trena e balança de precisão 0,1 g. A secagem foi feita em estufa por 72 horas a 40 °C (as massas das amostras permaneceram estáveis por mais de 12 horas ao final da secagem).

A análise de produtividade de grãos foi realizada por contagem do número de panículas, comprimento de panículas, massa de panículas, massa de grãos e massa de 100 grãos. Então, as folhas foram submetidas à análise química de concentração de macronutrientes em laboratório. Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando programa R CORE TEAM, (2013). Para análise de crescimento inicial foi realizada a análise de variância de medidas repetidas e gerada uma curva de crescimento mostrando as diferenças entre tratamentos ao longo do tempo. Foi realizada análise de correlação pelo método de Pearson para as variáveis de crescimento, produtividade e teores de nutrientes. Para as variáveis com correlação significativa mais forte foi realizada análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância para verificar as diferenças entre os tratamentos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTA

Os resultados de variáveis não detalhados na discussão (comprimento e massa de matéria fresca de raiz e parte aérea, contagem e comprimento de panículas e análise química foliar) não apresentaram diferença significativa. As figuras a seguir exibem apenas as variáveis que demonstraram correlação significativa pelo teste t. A correlação dos parâmetros de crescimento e de produtividade (Figura 2) enfatiza a importância do acúmulo de biomassa no aumento da produtividade. O que é ressaltado nas correlações mais fortes como: massa de matéria seca ou massa de matéria fresca da parte aérea e massa seca da panícula (0,82 e 0,74), também, massa de matéria seca ou massa de matéria fresca da parte aérea e massa total de grãos (0,77 e 0,68).

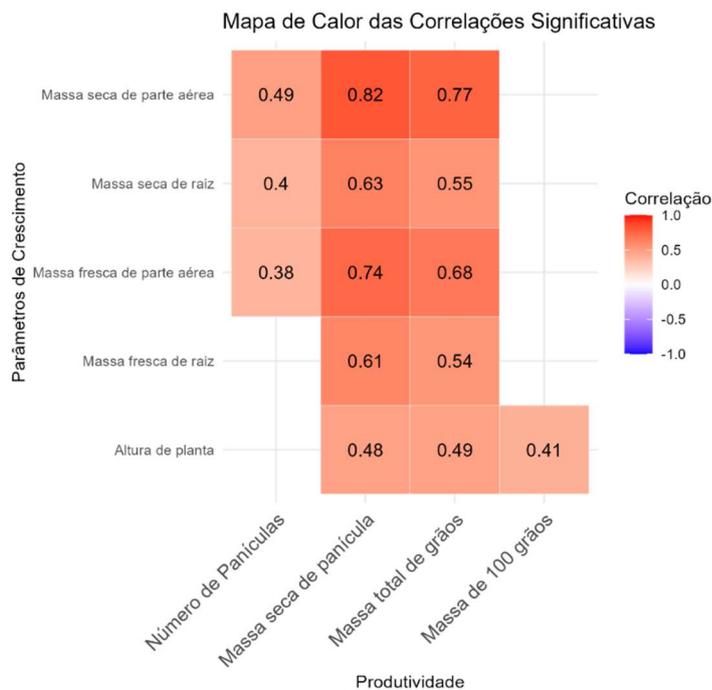


Figura 2 - Correlação entre as variáveis de crescimento e produtividade.

Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são componentes de parede celular (Ca) e de clorofila (Mg), papéis que os tornam influência direta ao crescimento e dois dos nutrientes mais requeridos no desenvolvimento das plantas (GARGANTINI et al., 1973). Logo, a disponibilidade e acúmulo de Ca e Mg reflete no crescimento do trigo (Figura 3).

O Cálcio é um nutriente relativamente imóvel no solo, sendo um dos nutrientes com maior dependência de interceptação radicular para realizar contato com a raiz (DE BONA; DE MORI; WIETHÖLTER, 2016). Já o magnésio é dependente, principalmente, do fluxo de

massa, tendo sua translocação em função da corrente transpiratória das plantas. Promover o desenvolvimento radicular permite aumentar a área de interceptação de cálcio. Uma maior área radicular e foliar, possibilita maior transpiração a planta, aumentando então, o aproveitamento de magnésio (MALAVOLTA, 2006). O melhor aproveitamento e acúmulo desses nutrientes volta a beneficiar o crescimento e, em sequência, exerce efeito positivo no aumento da produtividade (Figura 4).

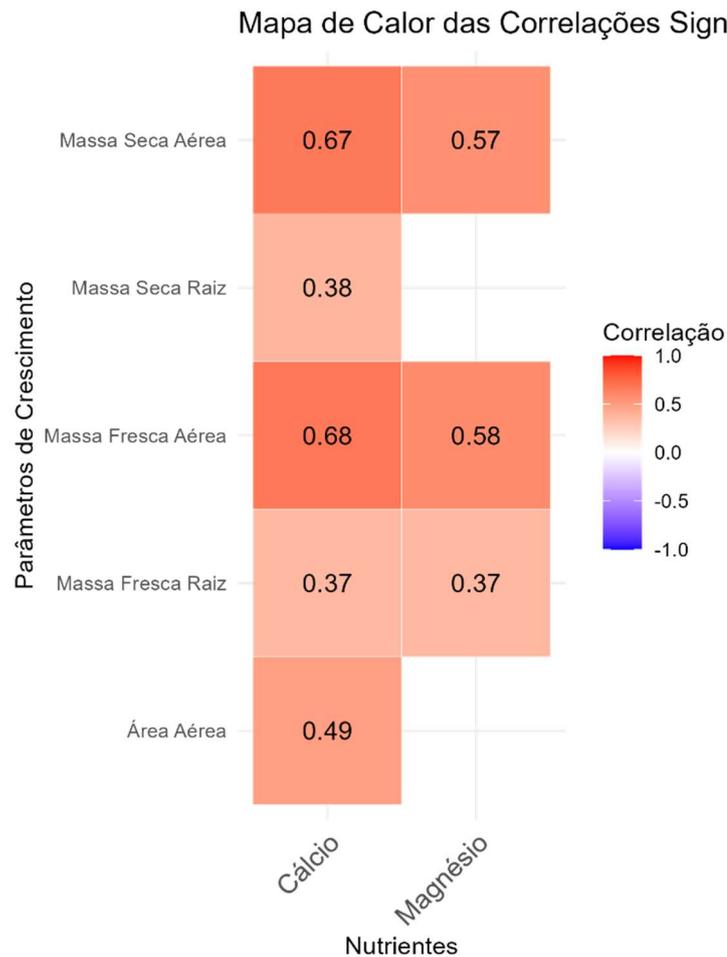


Figura 3 - Correlação entre as variáveis de crescimento e teores de nutrientes nas folhas após a colheita.

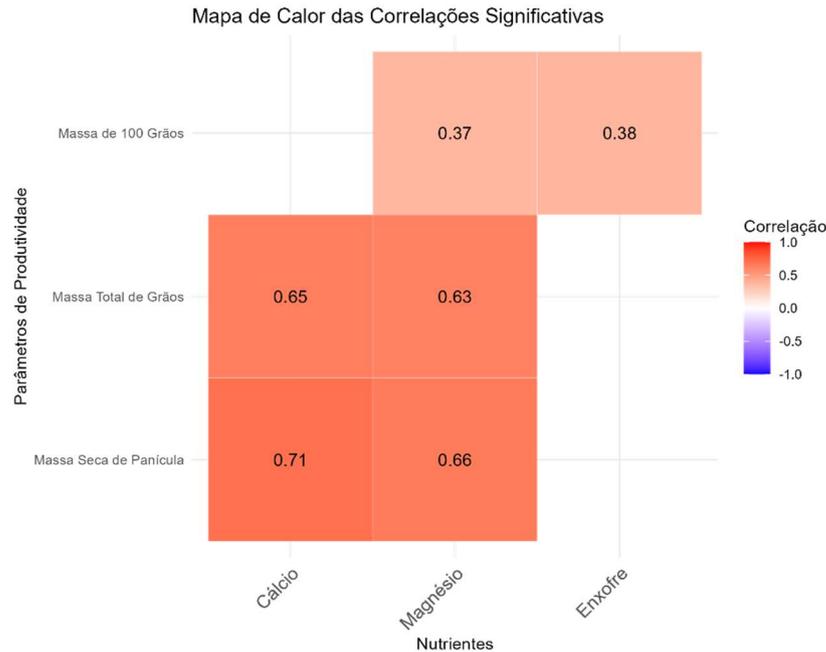


Figura 4 - Correlação entre os parâmetros de produtividade e teores foliares de nutrientes após a colheita.

Uma alternativa para otimizar a nutrição das plantas consiste na inoculação de microrganismos, visando, não apenas disponibilização direta do nutriente, mas todas as funções relacionadas a promoção de crescimento. Em Lemos et al. (2013) a inoculação de *A. brasilense* em plantios de determinadas variedades de trigo, ocasionou aumento na massa seca radicular e também no acúmulo foliar de nutrientes (nesse caso, nitrogênio). Assim como em Mosela et al. (2022) a inoculação de *Bacillus velezensis* aumentou os índices de crescimento e absorção de fósforo em cultivos de milho e soja.

## 5.2 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO INICIAL

Durante a avaliação da curva de crescimento inicial (altura da planta medida a cada 3 dias), foi possível observar que todos os tratamentos demonstraram desempenho significativamente superior à testemunha T1 em vários pontos ao longo do período vegetativo (Figura 5). Além disso, a co-inoculação das duas bactérias (T5), obteve as maiores médias ao decorrer e, principalmente, ao final do ciclo vegetativo (Figuras 5 e 6). Não foi observada a presença de doenças alvos das bactérias estudadas no experimento. Uma possível abordagem consiste em avaliar o desempenho dos microrganismos de biocontrole sob a pressão de doenças.

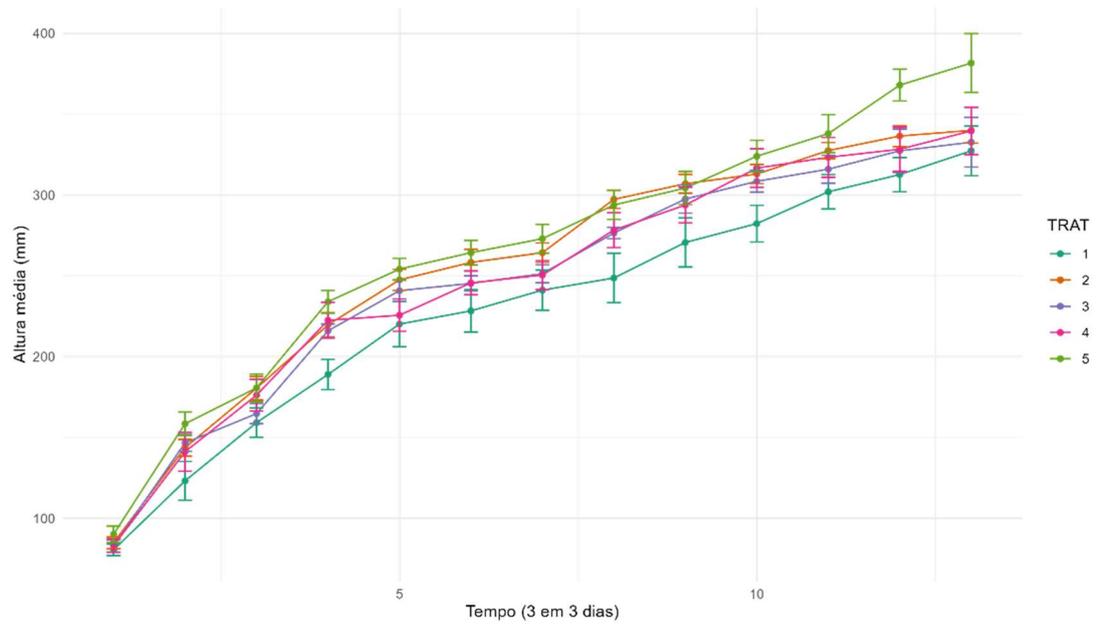


Figura 5 - Curva de crescimento por tratamento.

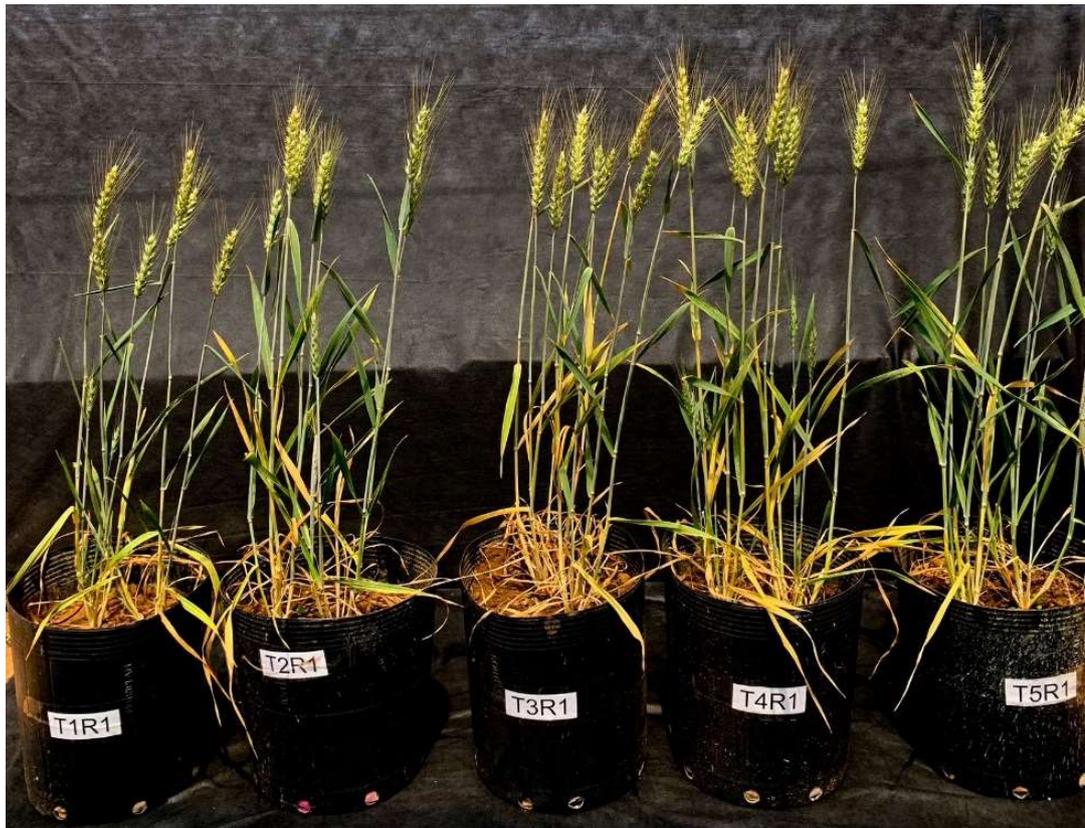


Figura 6 - Ilustração do crescimento final.

A promoção de crescimento por bactérias demonstra seu potencial quando diferentes mecanismos são combinados, seja em sequência ou simultaneamente (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Aumentar a diversidade de espécies pode aumentar mais ainda a gama de mecanismos disponíveis e, por consequência, a possibilidade de fatores com sinergia entre si, sendo esse o objetivo de várias práticas de co-inoculação. Por exemplo, as co-inoculações com *Azospirillum*, que são amplamente difundidas e apresentam resultados de crescimento e produtividade consideráveis, especialmente na associação com *Bradyrhizobium* em cultivos de soja (CASSÁN et al., 2020). A partir de tal co-inoculação é possível aumentar o crescimento radicular e a nodulação da soja em relação a inoculação simples (MOLLA et al., 2001).

No estudo de Wang et al. (2019), é relatada a tendência ao sinergismo entre bactérias solubilizadoras de fosfato e fixadoras de nitrogênio. Assim como, comparada à inoculação simples, a associação de diferentes cepas de *Bacillus*, apresenta maior capacidade de promover crescimento nas avaliações de Baig et al. (2012). Tais resultados são evidências positivas para a indicação de *B. velezensis* e *A. brasilense* como co-inoculação para o trigo, visto o exemplo das médias superiores obtidas por T5 na curva de crescimento inicial.

Entretanto, é importante considerar que a interação positiva entre dois microrganismos é muito específica. Ela pode deixar de ocorrer apenas pela mudança de uma cepa ou de cultivar dentro das mesmas espécies. O que torna de extrema importância a seleção e avaliação cuidadosa dos microrganismos e cultivares consideradas (CÁCERES et al., 1996).

### 5.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO FINAL E PRODUTIVIDADE

Não houve diferença significativa nos parâmetros de crescimento final e produtividade quando comparados os tratamentos T3: inoculação de *Bacillus velezensis* UFV 3918, T4: inoculação de *Azospirillum brasilense* Ab-V5, T5: sua combinação Ab-V5+UFV 3918 com T2: o tratamento que recebeu apenas a adubação. Apenas T1, a testemunha, apresentou resultados inferiores (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 - Médias por tratamento de massa de matéria seca de raiz, parte aérea e panícula de plantas de trigo.

	Massa seca de raiz (g)*	Massa seca de parte aérea (g)*	Massa de panícula (g)*
T3	11,59 a	7,96 a	13,59 a
T4	11,24 a	8,62 a	13,52 a
T2	10,45 a	8,97 a	14,47 a
T5	8,22 ab	7,17 ab	13,32 a
T1	5,14 b	5,15 b	10,14 b
CV (%)	21,01	23,79	21,17

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 3 - Médias por tratamento de massa de grãos de plantas de trigo

	Massa de grãos (g)*
T2	10,62 a
T5	10,10 a
T4	9,98 a
T3	9,69 a
T1	7,37 b
CV (%)	22,68

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O que demonstra semelhança aos resultados de estudos como de Mumbach et al. (2017), Hungria et al. (2010) e Lemos et al. (2013), que não demonstram diferenças significativas entre tratamentos que foram inoculados ou não, quando mantida a mesma adubação. Nesses estudos, o resultado de interesse é o de que a inoculação de *Azospirillum brasilense* permite à planta uma não responsividade a alterações na adubação. O aporte de nitrogênio é reduzido, mas as médias de crescimento e produtividade são mantidas.

O mesmo ocorre nos resultados de Mosela et al. (2022), não havendo diferenciação nos resultados de produtividade de cultivos de soja e milho sob adubação quando submetidos a

inoculação de *Bacillus velezensis*, mas também não responde a redução da adubação fosfatada. Onde a bactéria foi inoculada, o aporte pôde ser reduzido pela metade sem perda significativa. Em testes feitos em cana-de-açúcar, o uso de fertilizantes organominerais junto a inoculação de *Bacillus velezensis* permitiu com que as doses de fertilizantes fosfatados fossem reduzidas em até 2/3, sem prejuízos no acúmulo de biomassa (SANTOS et al., 2022).

Através dos exemplos relatados nesses estudos, é percebido que, mesmo com a adubação mineral oferecida em fontes alternativas ou volumes inferiores à prática comum, a inoculação permitiu que a planta mantivesse os mesmos resultados. Grande parte dos mecanismos relatados seguem essa mesma lógica de interação entre bactéria e planta, sua maior eficiência está associada a condições mais desafiadoras que as encontradas em cultivos tradicionais. Portanto, é importante sempre replanejar e adequar o manejo nutricional quando um componente biológico é adicionado.

As condições de casa de vegetação proporcionadas por esse experimento não compreenderam situações de grande adversidade ao trigo. Fatores como a presença de doenças, escassez de nutrientes ou adversidade ambiental podem ser simulados para estudos mais específicos. Por exemplo, avaliar o desempenho da inoculação na exposição do trigo ao estresse térmico ou hídrico. Tais condições são relevantes para otimização do cultivo de inverno e/ou sequeiro em Goiás.

O cultivo trigo na região de Goiás, entrega boa produtividade, mas as propriedades mercadológicas de qualidade de grãos, têm espaço para melhora, principalmente nas propriedades do glúten (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017). O rendimento da moagem do trigo está ligado ao seu volume de endosperma, sendo avaliado pelo índice de peso por hectolitro. Danos aos grãos em formação são os principais causadores de redução desse índice. A janela de plantio mais comum da região, em entressafras, não demonstra grande incidência de doenças e insetos, considerados principais fontes de danos aos grãos. Porém, os cultivos irrigados ou em janelas alternativas, aumentam essa exposição.

Já a qualidade de panificação da farinha do trigo é relacionada as proteínas contidas no grão, como as proteínas formadoras do glúten (MANDARINO, 1993). A concentração e qualidade das proteínas é dependente das condições de fertilidade em estágio reprodutivo e ao crescimento e acúmulo de massa atingidos pela planta (FRANCESCHI et al., 2009). A inoculação visando aproveitamento do nitrogênio, mitigação do estresse e antagonismo aos patógenos pode ser benéfica à qualidade do produto final, tanto em produtividade, quanto classificação do grão.

Mesmo diante a um crescimento inicial elevado, a inoculação de *Bacillus velezensis* ou *Azospirillum brasilense* não acarretou resposta em acúmulo de nutrientes nas folhas ou em acúmulo de biomassa ao final do cultivo. Ao chegar no estágio reprodutivo o trigo paralisa seu crescimento vegetativo, então, as parcelas não inoculadas, mas que receberam adubação adequada, podem alcançar o mesmo patamar de crescimento. As condições de cultivo protegido e aporte pleno de nutrientes condicionaram boa expressão do potencial genético da variedade, o que permitiu com que o crescimento final e produtividade fossem equalizadas (exceto T1, que foi exposto a baixa fertilidade).

Por fim, a eficiência econômica do manejo desses microrganismos é totalmente dependente do ajuste no aporte de insumos e no posicionamento da inoculação em função de seu objetivo. A inoculação de BPCP exige a avaliação minuciosa de seu desempenho sob desafios bióticos e abióticos. Os resultados indiciam a possibilidade da co-inoculação como método de promoção de crescimento ao cultivo de trigo. Ainda, é necessário avaliar o nível de ganho possível em condições de campo ou condições de estresse simulado.

## **6 CONCLUSÕES**

A sinergia entre *B. velezensis* e *A. brasilense* proporciona aumento no crescimento de trigo durante o seu estágio vegetativo. A inoculação não apresenta aumento na produtividade sob disponibilidade de recursos elevada, o que indica a necessidade de se reavaliar todo manejo, em especial a adubação, quando um elemento biológico é considerado. Com isso, se torna interessante avaliar o desempenho da inoculação em condições desafiadoras para a cultura, e seu efeito na qualidade mercadológica do grão.

## 7 REFERÊNCIAS

ABD EL-DAIM, I. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. *Bacillus velezensis* 5113 Induced Metabolic and Molecular Reprogramming during Abiotic Stress Tolerance in Wheat. **Scientific Reports**, vol. 9, nº 1, p. 16282, 8 nov. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52567-x>.

ABD EL-DAIM, I. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. Improved heat stress tolerance of wheat seedlings by bacterial seed treatment. **Plant and Soil**, vol. 379, nº 1–2, p. 337–350, 6 jun. 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2063-3>.

BAIG, K. S.; ARSHAD, M.; SHAHAROONA, B.; KHALID, A.; AHMED, I. Comparative effectiveness of *Bacillus spp.* possessing either dual or single growth-promoting traits for improving phosphorus uptake, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum L.*). **Annals of Microbiology**, vol. 62, nº 3, p. 1109–1119, 21 set. 2012. <https://doi.org/10.1007/s13213-011-0352-0>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. **Advances in Agronomy**. [S. l.: s. n.], 2010. vol. 108, p. 77–136. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)08002-8.

CÁCERES, E. A. R.; ANTA, G. G.; LÓPEZ, J. R.; CIOCCO, C. A. Di; BASURCO, J. C. P.; PARADA, J. L. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, vol. 10, nº 1, p. 13–20, jan. 1996. <https://doi.org/10.1080/15324989609381416>.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; DE CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; DE SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, vol. 56, nº 4, p. 461–479, 1 maio 2020. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: jun. 2023.

DE BONA, F. D.; DE MORI, C.; WIETHÖLTER, S. **Manejo Nutricional da Cultura do Trigo**. Piracicaba, 2016.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; VANDE BROEK, A.; VANDERLEYDEN, J. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. **Plant and Soil**, vol. 212, nº 2, p. 153–162, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1004658000815>.

FRANCESCHI, L. de; BENIN, G.; GUARIENTI, E.; MARCHIORO, V. S.; MARTIN, T. N. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Rural**, vol. 39, nº 5, p. 1625–1632, 3 abr. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000060>.

GARGANTINI, H.; GARCIA BLANCO, H.; HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pelo trigo. **Bragantia**, vol. 32, nº unico, p. 285–307, 1973. DOI 10.1590/S0006-87051973000100016.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, vol. 331, nº 1–2, p. 413–425, 13 jun. 2010. DOI 10.1007/s11104-009-0262-0.

KASIM, W. A.; OSMAN, M. E.; OMAR, M. N.; ABD EL-DAIM, I. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, vol. 32, nº 1, p. 122–130, 22 jun. 2012. DOI 10.1007/s00344-012-9283-7.

LEMONS, J. M.; GUIMARÃES, V. F.; VENDRUSCOLO, E. C. G.; SANTOS, M. F. dos; OFFEMANN, L. C. Resposta de cultivares de trigo à inoculação em sementes com *Azospirillum brasilense*, e à adubação nitrogenada em cobertura. 2013. 189–198 f. 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: [s. n.], 1993.

MENDES, I. de C.; REIS JÚNIOR, F. B. dos. **Microrganismos e Disponibilidade de Fósforo (P) nos Solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: [s. n.], 2003..

MOLLA, A. H.; SHAMSUDDIN, Z. H.; HALIMI, M. S.; MORZIAH, M.; PUTEH, A. B. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory systems. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 33, nº 4–5, p. 457–463, abr. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00186-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00186-3).

MOSELA, M.; ANDRADE, G.; MASSUCATO, L. R.; DE ARAÚJO ALMEIDA, S. R.; NOGUEIRA, A. F.; DE LIMA FILHO, R. B.; ZEFFA, D. M.; MIAN, S.; HIGASHI, A. Y.; SHIMIZU, G. D.; TEIXEIRA, G. M.; BRANCO, K. S.; FARIA, M. V.; GIACOMIN, R. M.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES, L. S. A. *Bacillus velezensis* strain Ag75 as a new multifunctional agent for biocontrol, phosphate solubilization and growth promotion in maize and soybean crops. **Scientific Reports**, vol. 12, nº 1, p. 15284, 10 set. 2022. DOI 10.1038/s41598-022-19515-8.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, E. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, vol. 18, nº 2, p. 97, 7 jul. 2017. DOI 10.5380/rsa.v18i2.51475.

OLIVEIRA NETO, A. A. de; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília, DF: [s. n.], 2017.

R CORE TEAM, R. R. A language and environment for statistical computing. 2013.

RABBEE, M. F.; HWANG, B. S.; BAEK, K. H. *Bacillus velezensis*: A Beneficial Biocontrol Agent or Facultative Phytopathogen for Sustainable Agriculture. **Agronomy**, vol. 13, nº 3, 1 mar. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030840>.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; ANTÔNIO, J.; ÂNGELA, Q.; FURLANI, M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. [S. l.: s. n.], 1996. vol. 2 ed.

RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B. da; PINTO JUNIOR, A. S.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. da. Características agronômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 18, nº 1, p. 31–37, jan. 2014. DOI 10.1590/S1415-43662014000100005.

RODRIGUES, V. A.; RIBEIRO, V. P.; ALVES, T. H. P.; DE SOUZA, F. F.; BINI, D. Combinação de cepas de *Bacillus* e *Azospirillum* e doses de fósforo associada a taxa de colonização micorrízica e desenvolvimento foliar de milho. [S. l.: s. n.], 2022.

SANSINENEA, E. *Bacillus* spp.: As Plant Growth-Promoting Bacteria. **Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms**. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 225–237. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11).

SANTOS, H. L.; SILVA, G. F. da; CARNIETTO, M. R. A.; OLIVEIRA, L. C.; NOGUEIRA, C. H. de C.; SILVA, M. de A. *Bacillus velezensis* Associated with Organomineral Fertilizer and Reduced Phosphate Doses Improves Soil Microbial—Chemical Properties and Biomass of Sugarcane. **Agronomy**, vol. 12, nº 11, p. 2701, 31 out. 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112701>.

SEAPA. Disponível em: <<https://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em: jun. 2023.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2º ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6º ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

WANG, Z.; CHEN, Z.; FU, X. Integrated Effects of Co-Inoculation with Phosphate-Solubilizing Bacteria and N<sub>2</sub>-Fixing Bacteria on Microbial Population and Soil Amendment

Under C Deficiency. **International Journal of Environmental Research and Public Health**,  
vol. 16, n° 13, p. 2442, 9 jul. 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132442>.