

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO VINICIUS STAFFEN WAMMES

EFEITO DA APLICAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E BIOFERTILIZANTE SOBRE O CONTROLE DE DOENÇAS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO NA CULTURA DO TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

PALOTINA

2023

EDUARDO VINICIUS STAFFEN WAMMES

EFEITO DA APLICAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E BIOFERTILIZANTE SOBRE O CONTROLE DE DOENÇAS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO NA CULTURA DO TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Biotecnologia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Vivian Carré Missio

PALOTINA

2023

Universidade Federal do Paraná. Sistemas de Bibliotecas.
Biblioteca UFPR Palotina.

W243 Wammes, Eduardo Vinicius Staffen
Efeito da aplicação de bactérias promotoras de crescimento de plantas e biofertilizante sobre o controle de doenças e promoção de crescimento na cultura do trigo (*Triticum aestivum L.*)
/ Eduardo Vinicius Staffen Wammes. – Palotina, PR, 2023.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor Palotina, PR, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia.
Orientadora: Prof(a). Dr(a). Vivian Carré Missio.

1. Biocontrole. 2. Consórcio. 3. Ferrugem.
I. Missio, Vivian Carré. II. Universidade Federal do Paraná.
III. Título.

CDU 604

Bibliotecária: Aparecida Pereira dos Santos – CRB 9/1653

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação BIOTECNOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **EDUARDO VINICIUS STAFFEN WAMMES** intitulada: **EFEITO DA APLICAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E BIOFERTILIZANTE SOBRE O CONTROLE DE DOENÇAS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO NA CULTURA DO TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**, sob orientação da Profa. Dra. VIVIAN CARRE MISSIO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

PALOTINA, 05 de Julho de 2023.

Assinatura Eletrônica

07/07/2023 15:13:57.0

VIVIAN CARRE MISSIO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

06/07/2023 16:35:23.0

ANDERSON LUIS HELING

Avaliador Externo (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

07/07/2023 10:31:47.0

LUCIANA GRANGE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RESUMO

Uma das alternativas para adoção do manejo integrado de doenças na cultura do trigo é a utilização de bactéria benéficas como agentes de biocontrole, pois além de ação direta sobre o patógeno, também são capazes de alterar a fisiologia vegetal, aumentando a tolerância à estresses. A associação de diferentes microrganismos tende a proporcionar resultados mais positivos do que sua utilização isolada, pois assim aproveitam-se características complementares de cada espécie. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de consórcios de bactérias promotoras de crescimento de plantas e de biofertilizante sobre o controle de doenças e promoção de crescimento na cultura do trigo. Os tratamentos foram baseados em três produtos comerciais formulados com consórcios de bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Azospirillum*, duas cepas não comerciais, e, biofertilizante aplicados de forma isolada ou combinada além de tratamento com fungicida químico e testemunha sem aplicação. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, totalizando dez tratamentos e seis repetições. Realizaram-se avaliações para quantificação da severidade das doenças incidentes e cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Mensurou-se os índices de clorofila e parâmetros biométricos e, por ocasião da colheita determinou-se a produtividade, umidade de grãos e peso do hectolitro. A ferrugem da folha (*P. triticina*) foi a doença predominante, atingindo severidade próxima de 100% na testemunha. Os tratamentos biológicos avaliados não foram eficazes no controle da doença, sendo apenas o tratamento com fungicida químico capaz de reduzir o valor da AACPD. Somente as variáveis biométricas massa verde de planta (MVP) e Número de Espigas (NE) foram influenciadas pelos tratamentos, sendo que para o número de espigas os tratamentos com produtos biológicos foram equivalentes ao tratamento com fungicida químico, e para massa verde de planta os tratamentos com aplicação isolada de biofertilizante ou associada ao produto comercial "C" e os tratamentos com aplicação das cepas não comerciais 203 e 208 ao produto comercial "A" tiveram resultado semelhante ao tratamento com fungicida químico. Os tratamentos com produtos biológicos não geraram incremento de produtividade em relação à testemunha. O tratamento com fungicida químico proporcionou maior produtividade e maior teor de umidade de grãos.

Palavras-Chave: Biocontrole, Consórcio, Ferrugem

ABSTRACT

One of the alternatives for the adoption of integrated disease management in wheat is the use of beneficial bacteria as biocontrol agents, because in addition to direct action on the pathogen, they are also capable of altering plant physiology, increasing tolerance to stresses. The association of different microorganisms tends to provide more positive results than their isolated use, since this way complementary characteristics of each species are taken advantage of. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of consortia of plant growth promoting bacteria and biofertilizer on disease control and growth promotion in wheat crop. The treatments were based on three commercial products formulated with consortia of bacteria of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Azospirillum*, two non-commercial strains, and biofertilizer applied alone or in combination in addition to treatment with chemical fungicide and control without application. The design used was randomized blocks, totaling ten treatments and six replications. Evaluations were carried out to quantify the severity of incident diseases and calculate the area under the disease progress curve (AUDPC). Chlorophyll indices and biometric parameters were measured and, at harvest, yield, grain moisture and hectolitre weight were determined. Leaf rust (*P. triticina*) was the predominant disease, reaching severity close to 100% in the control. The biological treatments evaluated were not effective in controlling the disease, and only the treatment with chemical fungicide was able to reduce the AUDPC value. Only the biometric variables green mass of plant (GMP) and number of ears (NE) were influenced by the treatments, and for the number of ears the treatments with biological products were equivalent to the treatment with chemical fungicide, and for green mass of plant the treatments with isolated application of biofertilizer or associated with the commercial product "C" and the treatments with application of the non-commercial strains 203 and 208 to the commercial product "A" had similar results to the treatment with chemical fungicide. The treatments with biological products did not generate an increase in productivity in relation to the control. The treatment with chemical fungicide provided higher productivity and higher grain moisture content.

Key-words: Biocontrol, Consortium, Rust

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	15
2.2 PREPARO, IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	16
2.3 DELINEAMENTO E TRATAMENTOS	17
2.4 PREPARO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	19
2.5 AVALIAÇÕES DE DOENÇAS.....	20
2.6 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CLOROFILA	20
2.7 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS	21
2.8 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO	21
2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
3 RESULTADOS	22
3.1 CONTROLE DE DOENÇAS	22
3.2 PARÂMETROS BIOMÉTRICOS.....	26
3.3 ÍNDICES DE CLOROFILA.....	25
3.4 PARÂMETROS DE PRODUÇÃO	31
3.4.2 Umidade	31
3.4.3 Peso do hectolitro (PH).....	32
3.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	34
4 DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O trigo é considerado um dos cereais de maior importância na alimentação humana. Pertence à família *Poaceae*, que engloba aproximadamente vinte e quatro espécies, sendo a mais cultivada a *Triticum aestivum* L. (CORREA et al., 2013).

A produção mundial de trigo na safra 2021/2022 foi de 778,8 milhões de toneladas em uma área cultivada de 221,1 milhões de hectares (CONAB, 2022a), sendo o segundo cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás apenas do milho em produção (FAO, 2022).

O principal produtor mundial é a China, seguida da União Europeia, Índia e Rússia. O Brasil é apenas o décimo quinto país em produção. Porém, é o oitavo maior importador mundial do cereal, tendo importado na safra 2021/2022 6,1 milhões de toneladas para atender a demanda de consumo anual que está na casa das 15 milhões de toneladas (CONAB, 2022b).

A área cultivada com trigo no Brasil cresceu nos últimos anos, passando de 2,039 milhões de hectares em 2018 para 3,051 milhões de hectares na safra 2022, um incremento de aproximadamente cinquenta por cento na área de cultivo. Enquanto isso, a produção saltou nesse período da casa de 5,23 milhões para 9,50 milhões de toneladas, um crescimento de oitenta por cento (CONAB, 2022c).

Segundo PIRES et al. (2014) houve crescente aumento no rendimento de grãos de trigo no Brasil nas últimas décadas: 693 Kg/ha (década de 1960); 850 Kg/ha (década de 1970); 1.310 Kg/ha (década de 1980); 1.517 Kg/ha (década de 1990) e 1.883 Kg/ha (década de 2000). Na década de 2010 mantiveram-se os incrementos, tendo a produtividade média atingindo 2.528 Kg/ha (CONAB, 2022c). Estes incrementos foram sustentados por avanços importantes na genética e no manejo da cultura.

Os estados da região sul do Brasil respondem por 90% da produção nacional de trigo, sendo o Paraná o segundo maior produtor de trigo no Brasil, com 3,6 milhões de toneladas, sendo precedido pelo Rio Grande do Sul, maior produtor, com a marca de 4,5 milhões de toneladas (CONAB, 2022c)

A região sul caracteriza-se por apresentar clima úmido e chuvoso, e temperaturas amenas, o que acarreta em alta incidência de doenças foliares (PICININI; FERNANDES, 1995). Esta condição climática da região, com maior intensidade de chuvas e maior número de dias nublados proporcionam fatores que

favorecem o desenvolvimento de doenças foliares e aumentam a sua severidade, podendo causar redução no rendimento de grãos (REIS; CASA, 2007).

A incidência de doenças em cereais, sobretudo no trigo, é um fator limitante para expansão da cultura no Brasil (BECALTCHUK et al., 2006).

As doenças foliares são a principal restrição biótica no cultivo do trigo (SERRAGO et al., 2011). Interferem no potencial de rendimento da cultura principalmente pela destruição da área foliar sadia e consequente redução da atividade fotossintética da planta (BOHATCHUCK et al., 2008). Oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), ferrugem da folha (*Puccinia triticina*), mancha amarela (*Dreschlera tritici-repentis*), mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) e septoriose (*Stagonospora nodorum*) são as principais doenças foliares na região sul do Brasil (REUNIÃO, 2006; REIS; CASA, 2005a).

Dentre os fatores que têm contribuído para o aumento da intensidade destas doenças nas lavouras de trigo estão o plantio direto, o uso de sementes infectadas e, principalmente, a monocultura (FERNANDES; PICININI, 1999; PRESTES; SANTOS; REIS, 2002).

Os danos causados pela ocorrência de doenças são bastante variáveis, haja vista que são influenciados por condições ambientais (frequência de chuvas), suscetibilidade das cultivares, agressividade dos patógenos, época da infecção, entre outros (MEHTA, 1978; HETZLER et al., 1991).

O oídio dentro da estação de cultivo de trigo tende a ser a primeira doença fúngica a aparecer, sendo favorecida por alta umidade relativa do ar, temperaturas amenas e períodos sem precipitações pluviais (LAU, D. et al., 2020)

O sintoma característico é o aparecimento de colônias do fungo (micélios e conídios), isoladas, de cor branca acinzentada, de aspecto mofo pulverulento, normalmente na parte superior das folhas (KUHNE et al., 2021), mas podendo atacar todos os órgãos verdes da planta (REIS; CASA; MEDEIROS, 2001).

As condições ideais para germinação dos esporos envolvem temperatura de 15° C, porém podendo ocorrer em ampla faixa de temperatura (de 3 °C a 31 °C), juntamente com alta umidade relativa e ausência de água livre na superfície da planta. O maior desenvolvimento da doença ocorre na faixa de temperatura de 15 °C a 22 °C (SANTANA et al., 2021). Em condições favoráveis apresenta ciclos múltiplos e rápidos, realizando seu ciclo completo em cinco dias, podendo ser de difícil controle em cultivares sensíveis (LAU, D. et al., 2020; SANTANA et al., 2012).

A ferrugem da folha causada pelo fungo *P. triticina* Ericks (ZOLDAN; BARCELLOS, 2002) é considerada a doença mais comum do trigo, ocorrendo em praticamente em todas as regiões de cultivo do Brasil (REIS; CASA, 2007).

Períodos com molhamento foliar de três horas contínuas em faixa de temperatura entre 10°C e 30°C, são ideais para desenvolvimento da doença (LAU et al., 2011).

É um patógeno com ciclos rápidos, com a esporulação ocorrendo entre sete e dez dias após a germinação dos uredósporos e penetração. Desta forma, em anos com condições ambientais favoráveis para ocorrência de epidemias severas, podem haver perdas de rendimento superiores a 50% (LAU et al., 2020) e, em cultivares suscetíveis as perdas podem ser superiores a 60% (GERMÁN et al., 2007; REIS; ZANATTA; REIS, 2019; REIS; CASA, 2005a).

Manchas foliares necróticas são de ocorrência comum na cultura do trigo. Nas condições de cultivo dessa espécie no Brasil os patógenos mais frequentes são os causadores da mancha amarela (*D. tritici-repentis*), com maior incidência do Rio Grande do Sul ao Norte do Paraná; da mancha marrom (*B. sorokiniana*), a partir do Norte do Paraná às regiões tritícolas do Centro Oeste brasileiro; e, a mancha da gluma (*S. nodorum*), que ocorre nas regiões do sul do Brasil, porém, com menor frequência (LAU et al., 2020; SANTANA et al., 2021).

São patógenos com alta habilidade saprofítica, com sintomas formando lesões necróticas com halo clorótico, e capacidade de sobrevivência em sementes e restos culturais (FERNANDES; PICININI, 1999). Em função disso, conforme SANTANA et al. (2021) a ocorrência do complexo de manchas é mais frequente e têm maior importância em áreas de monocultura de trigo em plantio direto, sendo os danos mais severos em anos chuvosos, pela maior favorabilidade à ocorrência das doenças e maior dificuldade de se realizar o controle químico.

Os sintomas gerais consistem em lesões iniciais de coloração escura ou aspecto aquoso que necrosam e coalescem, provocando perda de grandes áreas do limbo foliar (SANTANA et al., 2012).

As condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento das manchas foliares englobam a ocorrência de pelo menos 12 horas de molhamento foliar contínuo e temperaturas entre 18°C e 28°C (BECALTCHUCK et al., 2006; SANTANA et al., 2012; KUHNE et al., 2021; LAU et al. 2021; REIS; CASA, 2007).

As sementes infectadas, os restos culturais, as plantas voluntárias e os

hospedeiros alternativos são as fontes de inoculo para a infecção primária da lavoura (KUHNEM et al., 2021).

A redução do potencial produtivo se dá pela redução da área fotossintética, e conseqüentemente redução do número, tamanho e peso de grãos, sendo reportadas perdas de rendimento de até 50% (SANTANA et. al., 2021; CASA; REIS, 2010), ou podendo superar a 80% quando associadas a outras doenças (MEHTA, 1993).

O controle de doenças em plantas geralmente envolve medidas que aumentam o custo de produção e diminuem a lucratividade da atividade. Sendo assim, é necessária adoção do controle integrado, onde são empregadas todas táticas disponíveis, visando a sustentabilidade econômica e ecológica. O manejo de doenças no trigo deve preconizar a adoção simultânea de várias práticas, entre elas o uso de cultivares resistentes, adequação da época de semeadura, manejo da fertilidade do solo e aplicação de fungicidas, tanto na semente quanto na parte aérea, além do controle biológico e cultural. (REIS; CASA; HOFFMANN, 2005; MEHTA et al., 1992).

Segundo CORREA (2013), na cultura do trigo, a utilização de fungicidas é um dos métodos de controle de doenças mais utilizados no sistema de produção, uma vez que tem proporcionado aumento de rendimentos. O uso destes produtos de forma racional, em curto prazo, pode trazer um efeito positivo ao produtor. Porém, em longo prazo podem haver desvantagens, como o surgimento de isolados dos patógenos resistentes às substâncias químicas utilizadas e contaminações ambientais (ZADOKS, 1992).

Desta forma, faz-se necessário buscar alternativas aos fungicidas no controle de doenças, por meio de métodos que reduzam a possibilidade de resistência de patógenos a estes produtos e que tenham menor interferência sobre o meio ambiente (BETTIOL, 1991). Neste sentido, a utilização de bactérias benéficas como agentes de biocontrole pode ser uma destas alternativas (COMPANY et al., 2013).

Segundo MARIANO et al., (2004) as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) não são fitopatogênicas e fazem parte da população residente nas plantas como epifíticas ou endofíticas.

Podem agir diretamente no controle de doenças exercendo efeito antagonista sobre o patógeno, competindo por espaço e nutrientes e por meio da antibiose e micoparasitismo, produzindo metabólitos antimicrobianos, enzimas líticas e compostos voláteis. Indiretamente auxiliam no controle de doenças pela promoção do crescimento da planta, apresentando capacidade de solubilização e fixação de

nutrientes, produção de ACC deaminase e fitohormônios, além de serem capazes de induzir resistência. (LAHLALI et al., 2022).

Esses microrganismos têm a capacidade de melhorar a sustentabilidade da cultura, pois podem alterar a fisiologia vegetal, aumentando tolerância a fatores de estresse desencadeados por agentes abióticos, como salinidade, seca, baixa fertilidade e metais pesados (MEHMOOD et al. 2021; LIU et al., 2017; ANSARI; AHMAD; PITCHEL, 2019; MUTUMBA et. al, 2018; KHAN; BANO; BABAR, 2019; SINGH et al., 2022). Também aumentam a tolerância das plantas à estresses bióticos, ocasionados pelo ataque de patógenos, podendo promover incremento em parâmetros biométricos da cultura pelo enfrentamento à doença (OMARA et al., 2019; BABEIPOOR et al., 2011; SARI; ETHEBARIAN; AMINIAN, 2008), ou mesmo na ausência do patógeno (GROSU et al., 2015).

Quando atuam pela indução de resistência estimulam na planta a produção de enzimas antioxidantes, como catalase (CAT) e peroxidase (POX) e superóxido dismutase (SOD) (OMARA et al., 2019; SINGH et al., 2022; ZAHEER et al., 2022a), enzimas relacionadas à produção de lignina e outros fenóis que constituem barreiras de defesa para reforçar à estrutura da célula, como SPOX e CWPOX, e, enzimas líticas que degradam a parede celular de fungos, como β -1,3-glucanase e β -1,4-glucanase (SARI; ETHEBARIAN; AMINIAN, 2007, 2008). Essa ação pode ser sistêmica, onde a inoculação de um órgão específico da planta gera respostas em outras partes do vegetal, levando a planta à um estado sistêmico de preparação para enfrentamento de estresse, como um “efeito vacina” (MEKUREYAW et al., 2022; KANG et al., 2018)

Algumas bactérias promotoras de crescimento em plantas são capazes de produzir hormônios vegetais, como o ácido indol acético (AIA), ácido giberélico (GA3), zeatina e brassinosteróides (RAMESH et al., 2014; MAHESHWARI et al., 2022; ABDEL-HAMID et al., 2021; QIN et al., 2021; ZAHEER et al., 2022a; PAITER et al. 2019), impactando diretamente no estado fisiológico e nos atributos biométricos das plantas.

Além disso, muitas bactérias são capazes de melhorar a nutrição das plantas através da solubilização e mobilização de nutrientes como fósforo, potássio e zinco (ANSARI; AHMAD; PITCHEL, 2019; RAMESH et al., 2014; VERMA et al. 2016), e fixação de nitrogênio (YI, et al., 2022; MEHMOOD et al. 2021; VERMA et al. 2016). Podem também melhorar a absorção e aproveitamento de macro e micronutrientes,

aumentando a eficiência agronômica e o aproveitamento dos fertilizantes, possibilitando ganhos de produtividade, melhora dos teores de nutrientes nas plantas e da qualidade nutricional dos alimentos produzidos (GALINDO et al., 2019; PICCININ et al., 2013; GALINDO et al., 2022; KUMAR; MAURYA; RAGHUWANSHI et al., 2014; RAMESH et al., 2014).

Essa melhora na nutrição das plantas promovida por estes microorganismos é de extrema importância no controle de doenças, uma vez que todos os aspectos fisiológicos de resistência da planta ao ataque de patógenos estão relacionados com o seu status nutricional, sendo que plantas em condição de desequilíbrio nutricional normalmente são mais vulneráveis à doenças (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993), sendo reportada na cultura do trigo o efeito direto de vários nutrientes sobre o desenvolvimento de patógenos (MACIEL; KOVALESKI; DE BONA, 2021).

A produção de metabólitos secundários também tem sido reportada em BPCPs, com destaque aos compostos antimicrobianos iturina, plipastina, surfactina, bacilomicina (KANG et al. 2018; GONG et al., 2015; YI et al., 2022), ácido cianídrico e sideróforos (MAHESHWARI et al, 2022; MEHTA et al., 2013), diversas enzimas líticas com capacidade de degradar a parede celular de patógenos (ABDEL-HAMID et al., 2021; YANG et al., 2011; LI et al., 2022).

A produção de outros compostos de interesse, como a enzima ACC deaminase também tem sido relatada em diversas espécies de bactérias (MEHMOOD et al., 2021; SAFARI et al. 2018; REANG et al., 2022; MEHTA et al 2013). Esta enzima possui efeito de modulação do nível de etileno nas plantas atuando na proteção à estresses abióticos sendo apontada como um dos principais mecanismos de promoção do crescimento (FERREIRA; VIDAL; BALDANI, 2020).

Diversos estudos utilizando o controle biológico de doenças na cultura do trigo têm sido realizados, com efeitos positivos em vários patossistemas, como da ferrugem da folha (*P. triticina* f. sp. *tritici*) utilizando *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus* (OMARA et al., 2019); ferrugem amarela (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) utilizando *B. subtilis* (REISS; JØRGENSEN, 2017; LI et al., 2013); *Alternaria alternata* (ZHENG et al., 2017) e *Pseudomonas putida* (PANG et al., 2016); oídio (*B. graminis* f. sp. *tritici*) utilizando *B. subtilis* (XIE et al., 2021; REZVYAKOVA et al., 2022; YI et al., 2022); giberela (*Fusarium graminearum*) utilizando *Bacillus licheniformis* e *Bacillus amyloliquefaciens* (GROSU et al., 2015; GONG et al., 2015) e *B. pumilus* e *B. subtilis* (KAUL et al., 2022) e do mal do pé (*G. graminis* var. *tritici*) utilizando *B. subtilis* (ZHANG et al. 2017;

BABAEIPOOR et al., 2011), *Bacillus velenzensis* (KANG et al., 2018), *B. pumilus* (SARI; ETEBARIAN; AMINIAN et al., 2007; BABAEIPOOR et al., 2011), *Pseudomonas spp.* e *Pseudomonas fluorescens* (YANG et al., 2011; YANG et al., 2014; SARI; ETEBARIAN; AMINIAN et al., 2008).

Embora a utilização de BPCP's como agentes de controle biológico a nível de campo possam igualar ou exceder a eficácia dos fungicidas químicos, podem haver variações ao longo do tempo e de uma área para outra (NICOT et al., 2012). Resultados do uso de agentes de controle biológico na proteção de cultivos são inconsistentes, nem sempre apresentando eficiência no controle de fitopatógenos (LAHLALI et al., 2022). Alguns estudos demonstram que quando determinados agentes de controle biológico são aplicados à campo não são eficazes, mesmo tendo alta eficiência em condições controladas (MARK et al., 2006; BACKER et al., 2018).

Conforme LAHLALI et al. (2022), para adoção do controle biológico pelos agricultores, a tecnologia deve ser de preparo e acesso simples, além de oferecer vantagens econômicas em relação à outras tecnologias alternativas disponíveis. Desta maneira, a aplicação de agentes de controle biológico de forma similar à um fungicida químico, via pulverização foliar, é uma das modalidades com maior potencial de adoção à nível de campo.

A pressão do patógeno e o momento de aplicação interferem no resultado de controle da doença, sendo que aplicações em situação de menor pressão da doença e em momento anterior à infecção pelo patógeno demonstraram ser mais eficazes (REISS; JØRGENSEN, 2017). Também verifica-se que a resposta da interação entre a BPCP e o hospedeiro é dependente da cultivar utilizada (KAZI et al., 2016; CARD et al., 2009)

Segundo BAKER e COOK (1974), o ambiente abiótico na parte aérea é muito diferente do solo, sendo as variações de temperatura e umidade mais amplas e rápidas, havendo exposição dos microorganismos à radiação ultra violeta e luz solar e possibilidade de serem lavados pelas chuvas. LI et al. (2013) propuseram que a eficiência de produtos à base de *B. subtilis* via pulverização foliar seria aumentada no controle da ferrugem estriada do trigo se as condições de colonização das folhas pudessem ser melhoradas.

Contudo, existem trabalhos que constataam eficácia da aplicação foliar de diversas BPCPs, como *B. pumilus* e *B. subtilis* (OMARA et al., 2019); *Bacillus aryabhatai* (FERREIRA et al., 2021); *Azospirillum brasilense* (FUKAMI et al., 2016;

MUNARETTO et al., 2019) e *P. fluorescens* (ERDEMCI; AKTAS; EREN, 2019).

Além dos produtos comerciais contendo cepas singulares ou combinações englobando mais de uma espécie ou cepa de microorganismos, é possível obtenção e aplicação de agentes de controle biológico por meio da utilização de biofertilizantes

O biofertilizante é um adubo orgânico líquido resultante da fermentação de resíduos orgânicos e nutrientes em água (STUCHI, 2015), que possui em sua composição células vivas ou latentes de microorganismos (bactérias, leveduras, algas, protozoários e fungos filamentosos), além de metabólitos e quelatos organominerais. Desta forma possuem potencial para o controle de doenças de plantas, atuando principalmente pelos mecanismos de antibiose, competição e indução de resistência (MEDEIROS et al., 2003).

Também possuem nutrientes minerais em sua composição que exercem funções no metabolismo vegetal, influenciando o crescimento, produção e o aumento ou redução de resistência a determinados patógenos (BETTIOL; TRATCH; GALVÃO, 1998).

Os biofertilizantes são capazes de ativar o sistema enzimático de defesa em plantas (SUÁREZ et al., 2020), sendo a indução de resistência, juntamente com ação antibiótica a partir dos metabólitos presentes em sua composição provavelmente os principais mecanismos de ação dos biofertilizantes sobre o controle de pragas e doenças (D'ANDRÉA; MEDEIROS, 2002). Além disso, a comunidade microbiana presente nos biofertilizantes é abundante, o que possibilita uma ação simultânea de diversos organismos sobre os fitopatógenos.

São reportados resultados variáveis do uso de biofertilizantes em controle de doenças em plantas, com estudos mostrando efeito sobre a supressão de patógenos (McQUILKEN; WHIPPS; LYNCH, 1994; CUNHA et al., 2000; MARCHIORO JUNIOR et al., 2015) e casos onde não houve resposta sobre o patógeno (SUÁREZ, 2017) ou respostas irregulares (BERNARDO et al., 2007).

A grande diversidade de microorganismos verificada na composição dos biofertilizantes contribui para seu efeito de controle de patógenos. MARON et al. (2010) e MENDES et al. (2011) sugerem que o aumento da diversidade microbiana origina uma microbiota estável que impede a multiplicação intensa de agente patogênicos. O fenômeno de supressão de doenças pode não estar relacionado a ação isolada de determinada espécie, mas da atividade conjunta de um consórcio de bactérias (MENDES et al. 2011).

Pode-se obter essa maior diversidade microbiana tanto pela aplicação de biofertilizantes, quanto pela utilização combinada de produtos comerciais contendo cepas de agentes de biocontrole.

A utilização de mais de uma espécie ou cepa microbiana no controle biológico de doenças e na promoção de crescimento em plantas, por meio da aplicação consorciada é uma prática que permite aproveitar as características complementares de cada microorganismo e possíveis interações de sinergismo entre as espécies (COMBES-MEYNET, 2011). Estudos demonstram que a utilização de consórcios microbianos pode proporcionar resultados mais positivos do que a aplicação individual dos microrganismos, tanto para o controle de doenças (LIU et al., 2018; KAUL et al., 2023) como nos parâmetros de promoção de crescimento (HUSSAIN et al., 2020; ZAHEER et al., 2022b; COMBES-MEYNET et al., 2011; KUMAR; MAURYA; RAGHUWANSHI et al., 2014; ZAFAR-UL-HYE et al., 2020).

Desta forma, o objetivo deste estudo é avaliar o efeito da aplicação de consórcios de bactérias promotoras de crescimento de plantas e de biofertilizante sobre o controle de doenças e promoção de crescimento na cultura do trigo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Experimento foi realizado à campo, durante a safra 2022, na área experimental da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Palotina – PR, com latitude 24°20'44.57"S, longitude 53°45'12.07"O e altitude de 358 m em relação ao nível do mar.

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (BHERING; SANTOS, 2008), com textura argilosa e o relevo é suave-ondulado.

O clima da região, segundo a classificação de Koppen é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperatura média de 22°C e precipitação média de 1.500 mm anuais. (NITSCHKE et al., 2019)

2.2 PREPARO, IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A área foi conduzida em sistema de plantio direto, sendo o milho safra de verão a cultura antecessora. Antes da implantação do trigo, coletou-se amostra de solo na profundidade de 00-20 cm para caracterização dos atributos químicos do solo. A adubação foi ajustada com base na análise de solo e de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná. (PAULETTI; MOTTA, 2008).

TABELA 1: Atributos químicos do solo da área experimental

Profundidade	pH	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	CTC	V	
m	CaCl ₂	-----				cmol _c .dm ⁻³	-----			%
0,0 - 0,2	5,2	5,73	1,53	0,54	0,00	4,61	7,80	12,41	62,85	

Profundidade	B	S	Fe	Mn	Cu	Zn	P	C	MO	
m	-----				mg.dm ⁻³	-----		mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%
0,0 - 0,2	0,37	11,97	27,10	45,70	6,90	3,00	20,48	18,75	3,23	

O controle de plantas daninhas em pré-plantio foi realizado 11 dias antes da implantação da cultura, com aplicação associada dos herbicidas Glifosato (2.000 g i.a.ha⁻¹) e 2,4-D (1.000 g i.a.ha⁻¹).

A semeadura ocorreu no dia 24 de maio de 2022, dentro do período previsto pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o Estado do Paraná (MAPA, 2021), utilizando semeadora adubadora de fluxo contínuo com espaçamento de 0,17 m entre linhas, regulada para população de plantas de 330 plantas.m⁻².

A adubação de base foi realizada na linha de semeadura mediante aplicação de 300 kg.ha⁻¹ de fertilizante químico com formulação 10-15-15 (N-P-K) sendo a adubação de cobertura realizada à lanço em dose única, aos 27 DAE, no estágio fenológico de afilhamento (22 na escala Zadoks) (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974), com aplicação de 215 kg.ha⁻¹ do fertilizante Sulfato de Amônio (21% N).

A cultivar utilizada foi a TBIO Toruk, por ser adaptada e amplamente cultivada na região, além de ser suscetível às manchas foliares e moderadamente suscetível à ferrugem da folha e oídio. É uma cultivar que apresenta ciclo médio, baixa altura de planta, sendo moderadamente resistente ao acamamento e à debulha natural. Possui grão duro, vermelho claro com massa de mil grãos média de 34 gramas. Sua classificação industrial é como trigo Pão/Melhorador (BIOTRIGO GENÉTICA, 2022).

O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com

aplicação do herbicida metsulfuron (2,7 g i.a.ha⁻¹), aos 22 dias após a emergência (DAE). Para o controle de pragas foram feitas aplicações de inseticidas aos 24 DAE e 38 DAE, utilizando os produtos Tiametoxam + Lambda Cialotrina (21,1 g i.a. ha⁻¹ + 15,9 g i.a. ha⁻¹) e Teflubenzuron (30 g i.a. ha⁻¹).

Foram registrados os dados climáticos referentes à precipitação pluvial, temperatura do ar e umidade relativa ocorridos na área experimental durante o período de desenvolvimento do experimento.

2.3 DELINEAMENTO E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 10 tratamentos e 6 blocos, sendo cada unidade experimental composta por 12 linhas de semeadura espaçadas em 0,17 m entre si e com 5 metros de comprimento, totalizando 10,20 m². A área útil considerada para as avaliações foi de 5,44 m², sendo composta pelas 8 linhas centrais, excluindo-se 0,5 m em cada extremidade da parcela.

Para composição dos tratamentos foram utilizados: a) Três produtos comerciais formulados com consórcios bacterianos e comercializados como agentes de biocontrole (Produto Comercial "A") e promoção de crescimento em plantas (Produto Comercial "B" e Produto Comercial "C"); b) Duas cepas não comerciais, sendo uma de *Delftia sp.* (208) e outra de *Enterobacter sp.* (203) obtidas da coleção do Laboratório de Biotecnologia (LABIOTEC) da UFPR setor Palotina; c) Biofertilizante obtido por meio do processo de compostagem líquida.

Os tratamentos foram baseados na aplicação isolada ou combinada dos produtos comerciais, cepas não comerciais e de biofertilizante, além de um tratamento com aplicação de fungicida químico e uma testemunha sem aplicação para comparação, conforme apresentado na tabela 2.

Nas combinações para formação dos tratamentos buscou-se associar os produtos visando efeitos complementares de biocontrole e promoção de crescimento.

TABELA 2: Tratamentos aplicados

Tratamento	Composição	Dosagem
T - 01	Cepa 208 (1x10⁹ UFC.L⁻¹)	30 L.ha ⁻¹
	+ PRODUTO COMERCIAL “A” <i>Pseudomonas fluorescens</i> CCTB 03 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Azospirillum brasilense</i> AbV6 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹)	0,3 L.ha ⁻¹
T - 02	Cepa 203 (1x10⁹ UFC.L⁻¹)	30 L.ha ⁻¹
	+ PRODUTO COMERCIAL “A” <i>Pseudomonas fluorescens</i> CCTB 03 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Azospirillum brasilense</i> AbV6 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹)	0,3 L.ha ⁻¹
T - 03	PRODUTO COMERCIAL “B” <i>Bacillus aryabhatai</i> CBMAI 1120(1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Bacillus circulans</i> CCT 0026 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Bacillus haynesii</i> CCT 7926 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹)	0,4 L.ha ⁻¹
T - 04	PRODUTO COMERCIAL “A” <i>Pseudomonas fluorescens</i> CCTB 03 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Azospirillum brasilense</i> AbV6 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹)	0,3 L.ha ⁻¹
T - 05	BIOFERTILIZANTE	6,0 L.ha ⁻¹
T - 06	PRODUTO COMERCIAL “C” <i>Bacillus pumilus</i> CCTB 04 (1,5x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus velenzensis</i> CCTB 09 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus haynesii</i> CCTB 05 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹)	0,4 L.ha ⁻¹
T - 07	PRODUTO COMERCIAL “C” <i>Bacillus pumilus</i> CCTB 04 (1,5x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus velenzensis</i> CCTB 09 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus haynesii</i> CCTB 05 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹)	0,4 L.ha ⁻¹
	+ PRODUTO COMERCIAL “A” <i>Pseudomonas fluorescens</i> CCTB 03 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹) <i>Azospirillum brasilense</i> AbV6 (1x10 ¹¹ UFC.L ⁻¹)	0,3 L.ha ⁻¹
T - 08	PRODUTO COMERCIAL “C” <i>Bacillus pumilus</i> CCTB 04 (1,5x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus velenzensis</i> CCTB 09 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹) <i>Bacillus haynesii</i> CCTB 05 (1,2x10 ¹¹ EV.L ⁻¹)	0,4 L.ha ⁻¹
	+ BIOFERTILIZANTE	6,0 L.ha ⁻¹
T - 09	FUNGICIDA QUÍMICO Piraclostrobina (260 g/L) Epoxiconazol (160 g/L)	0,4 L.ha ⁻¹
T - 10	TESTEMUNHA SEM APLICAÇÃO	-

2.4 PREPARO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os produtos comerciais foram obtidos junto ao fabricante e foram utilizados nas dosagens recomendadas pelo mesmo.

Para preparação das cepas não comerciais de *Delftia sp.* (208) e *Enterobacter sp.* (203), os isolados foram inicialmente inoculados em placa de petri, contendo meio de cultura DYGS sólido (RODRIGUES NETO; MALAVOLTA; VICTOT, 1986), sendo mantidas em incubadora tipo “BOD” durante 24 horas a 27°C. Após a multiplicação se realizou extração de uma colônia da placa que foi inserida em tubo de ensaio contendo meio de cultura DYGS líquido, para nova multiplicação, que foi realizada em incubadora tipo *shaker* a 140 RPM e 27°C. Passados sete dias, uma alíquota de 1,5 mL da solução do tubo de ensaio foi adicionada à 200 mL de meio de cultura DYGS líquido em um frasco erlenmeyer, e colocado novamente em incubadora *shaker* seguindo os mesmos parâmetros da etapa anterior. Ao final do processo de multiplicação, a concentração era de 1×10^9 células.mL⁻¹.

O biofertilizante foi preparado de acordo com o processo de compostagem líquida contínua (CLC®), descrito no manual técnico do adubo biológico Microgeo® (MICROGEO, 2021).

Misturou-se 5% do substrato comercial Microgeo®, 15% de esterco bovino e água não clorada em um tanque de polietileno exposto à luz solar. Diariamente agitou-se o tanque de forma manual, com auxílio de uma haste. Após quinze dias decorridos do processo de compostagem o biofertilizante estava apto à utilização.

Para aplicação, o produto foi retirado do tanque e filtrado em malha de 100 mesh para remoção das partículas em suspensão.

Os tratamentos foram aplicados por meio de pulverização foliar, aos 45, 62 e 79 dias após a emergência (DAE), nos estádios fenológicos de alongamento, emborrachamento e antese, respectivamente estádios 31, 45 e 64 na escala Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

Para realização das pulverizações utilizou-se pulverizador manual de compressão prévia, com volume de 5 litros, aplicando volume de calda de 0,204 L por parcela, o equivalente a um volume de 200 L.ha⁻¹.

2.5 AVALIAÇÕES DE DOENÇAS

Durante o ciclo da cultura realizaram-se avaliações periódicas, para determinação de incidência e severidade de doenças foliares. Estas avaliações ocorreram aos 37, 44, 51, 57, 65, 71, 86, 96, e 106 dias após a emergência (DAE) da cultura, entre os estágios 30 e 85 da escala Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

As avaliações foram realizadas amostrando-se ao acaso cinco plantas em cada parcela. A incidência foi determinada pelo número de plantas afetadas pela doença, sendo expressa em porcentagem. A severidade das doenças observadas foi determinada utilizando escalas diagramáticas. Para ferrugem da folha utilizou-se a escala proposta por ALVES et al. (2015) e para oídio e manchas foliares utilizou-se as escalas propostas por JAMES (1971).

Traçaram-se as curvas de progresso para as doenças observadas e calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) por meio de integração trapezoidal (CAMPBELL & MADDEN, 1990) através da equação:

$$AACPD = \sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Onde “n” é o número de avaliações; “y” a intensidade da doença e “t” tempo quando da avaliação da intensidade da doença.

2.6 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CLOROFILA

Foram avaliados os índices de clorofila das plantas (clorofila “A”, clorofila “B” e clorofila total), amostrando ao acaso 10 plantas por parcela e realizando a medição na folha bandeira de cada planta. Foram realizadas três medições em cada folha bandeira, sendo considerados os valores médios das medições.

Para tanto foi utilizado clorofilômetro da marca Falker, modelo ClorofiLOG CFL 1030. Este aparelho utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila

(=635nm e 660nm) e um outro no infravermelho próximo (=880nm). Um sensor inferior recebe a radiação transmitida pela estrutura foliar. A partir desses dados, o aparelho fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) ou Índice de Clorofila Foliar (ICF), proporcionais à absorvância das clorofilas, indicando os valores de ICF para clorofila a e clorofila b, sendo o valor de clorofila total a soma dos índices das clorofilas a e b. (FALKER, 2008)

A avaliação foi realizada aos 85 DAE, quando a cultura se encontrava no início do estágio de desenvolvimento de grãos (Zadoks – 71) (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

2.7 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS

Aos 101 DAE, com as plantas no início de estágio de desenvolvimento de massa (Zadoks – 83) (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974), amostrou-se ao acaso 10 plantas por parcela, mensurando a altura das plantas (ALT), em centímetros, do solo até o ápice da espiga, descontando-se as aristas. Foi medido ainda o comprimento da espiga (CE), a partir de sua base até o ápice, descontando-se as aristas, e determinado o número médio de espigas por planta (NE).

Estas mesmas 10 plantas foram utilizadas para determinações de massa verde e massa seca. Por meio de pesagem em balança semianalítica foram determinadas a massa verde total (MVT), massa verde de planta (MVP) e massa verde de espiga (MVE). Na sequência, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à 65°C por 72 horas para determinação da massa seca total (MST), massa seca de planta (MSP) e massa seca de espiga (MSE).

2.8 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO

A colheita foi realizada manualmente no dia 02 de outubro de 2022, cortando as plantas da área útil da parcela rentes ao solo e processando em trilhadora de grãos.

Os grãos foram colhidos e a sua massa medida em gramas. A umidade dos grãos foi determinada utilizando medidor de umidade portátil de grãos, marca Gehaka, modelo G650i. Os dados de produtividade foram transformados em quilograma por hectare, com a umidade corrigida para 13%.

O peso do hectolitro (PH) foi obtido a partir da média de duas amostras de

grãos de cada parcela, que foram pesadas em balança semianalítica em recipiente com volume de um quarto de litro.

2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos das avaliações foram previamente submetidos a avaliação de homocedasticidade pelo teste de Levene (LEVENE, 1960) e normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). Posteriormente realizou-se análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (TUKEY, 1949). As análises foram realizadas com auxílio do sistema computacional R (R CORE TEAM, 2022).

Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada para agrupar os tratamentos em função das variáveis biométricas, teor de clorofila e AACPD para ferrugem da folha (*P. triticina*). Para esta análise, as variáveis utilizadas foram padronizadas ($\mu = 0$, $\sigma = 1$) para assegurar a proporcionalidade dos efeitos. Os pacotes FactoMineR e Factoextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2020) do R Core Team (2022) foram utilizados para plotar os gráficos dos tratamentos individuais agrupados pela natureza dos produtos (Biológico, Químico e Controle) e a contribuição das variáveis analisadas.

Foi também utilizado o pacote pheatmap R (versão 0.7.7) para a construção do gráfico de calor (heatmap). O agrupamento foi construído pela análise de K-means, com os pacotes tidyverse (WICKHAM et al., 2019) e factoextra (KASSAMBARA; MUNDT 2020) e o dendrograma foi construído com o pacote pheatmap (KOLDE 2019).

3 RESULTADOS

3.1 CONTROLE DE DOENÇAS

Foi observada a prevalência de ocorrência de ferrugem da folha (*P. triticina*), que atingiu níveis de severidade próximos de cem por cento na avaliação final de doenças na testemunha e nos tratamentos à base de produtos biológicos. A exceção foi o tratamento à base de fungicida químico, que apresentou valores finais de severidade para ferrugem da folha abaixo de dez por cento. Foi registrada ainda a

ocorrência de oídio (*B. graminis* f. sp. *tritici*), mancha amarela (*D. tritici-repentis*) e mancha marrom (*B. sorokiniana*), porém com valores de severidade extremamente baixos, não afetando de forma significativa a cultura.

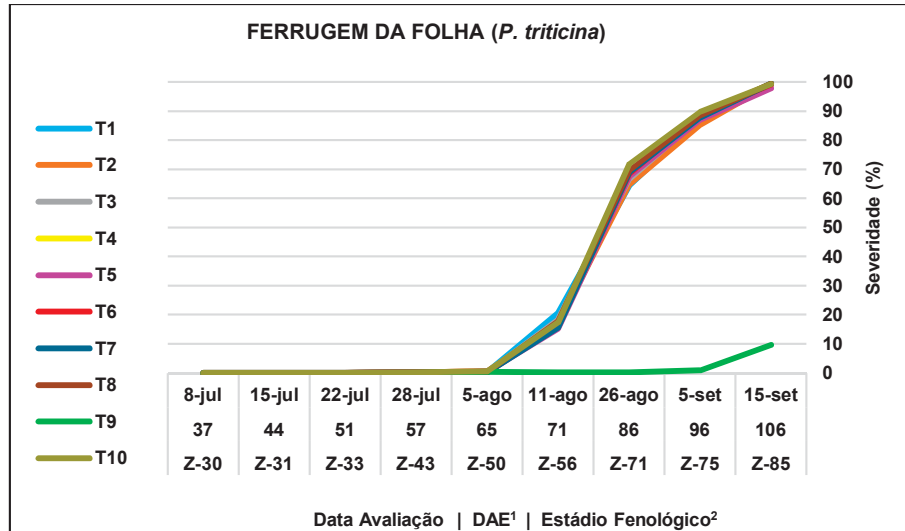


FIGURA 1: Valores de severidade de *P. triticina* observados ao longo das avaliações realizadas na cultura. ¹DAE – Dias após a emergência. ²Estádio Fenológico – Estádio fenológico da cultura de acordo com a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

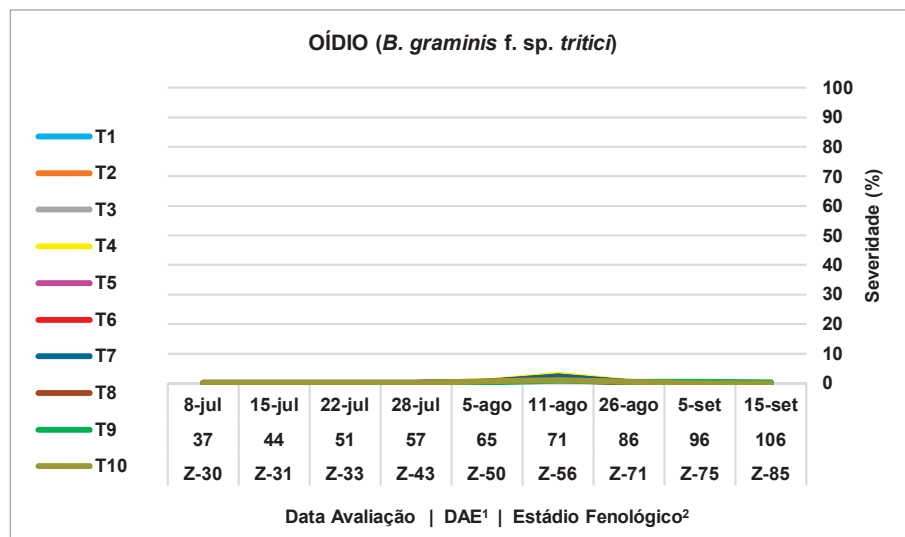


FIGURA 2: Valores de severidade de *B. graminis* f.sp. *tritici* observados ao longo das avaliações realizadas na cultura. ¹DAE – Dias após a emergência. ²Estádio Fenológico – Estádio fenológico da cultura de acordo com a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

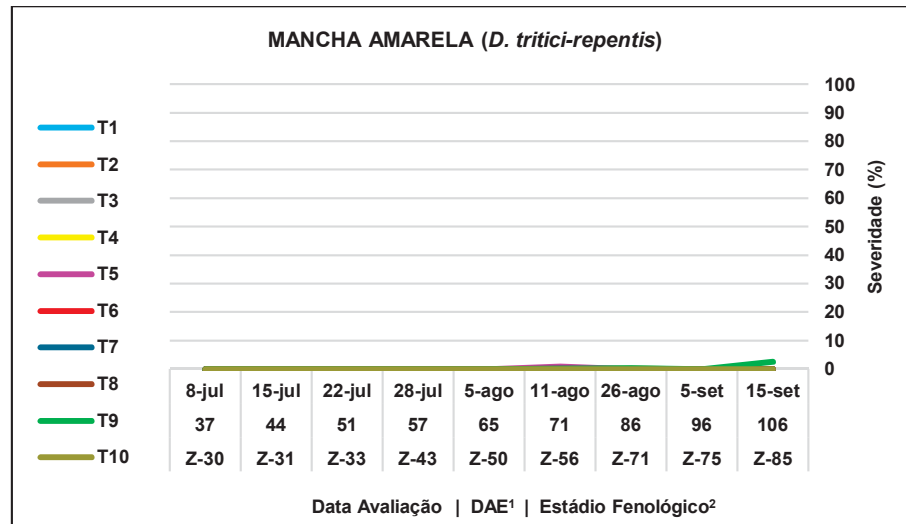


FIGURA 3: Valores de severidade de *D. tritici-repentis* observados ao longo das avaliações realizadas na cultura. ¹DAE – Dias após a emergência. ²Estádio Fenológico – Estádio fenológico da cultura de acordo com a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

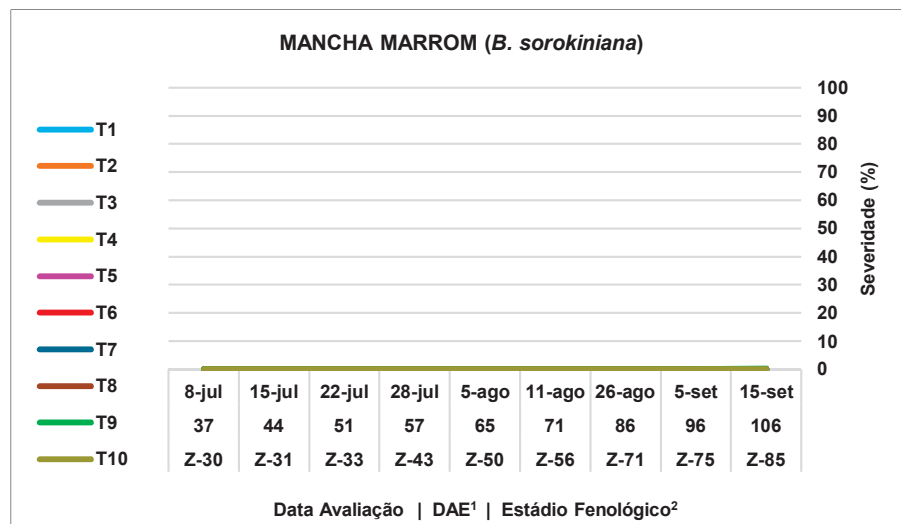


FIGURA 4: Valores de severidade de *B. sorokiniana* observados ao longo das avaliações realizadas na cultura. ¹DAE – Dias após a emergência. ²Estádio Fenológico – Estádio fenológico da cultura de acordo com a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

Dentre os tratamentos avaliados, somente o tratamento com aplicação de fungicida químico apresentou eficácia no controle de ferrugem da folha (*P. triticina*), proporcionando um valor de Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) estatisticamente inferior à testemunha sem aplicação. Os tratamentos que envolveram a aplicação de agentes de controle biológico apresentaram valores de AACPD semelhantes à testemunha, conforme demonstrado na figura 5.

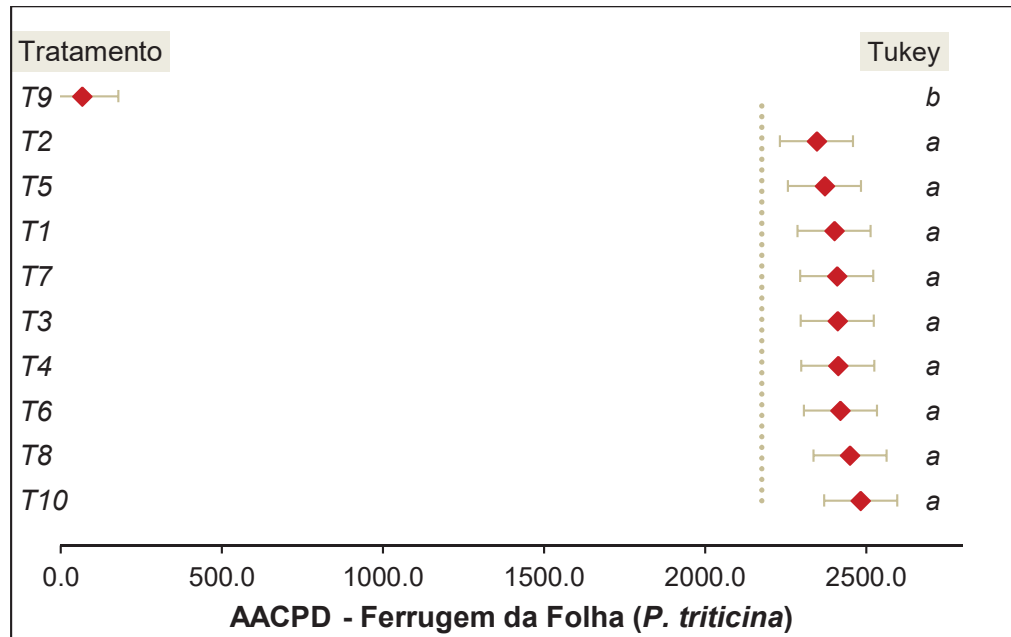


FIGURA 5: Valores da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para Ferrugem da Folha (*P. triticina*)

3.3 ÍNDICES DE CLOROFILA

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas para os índices de clorofila "A", clorofila "B" e clorofila total entre os tratamentos (Tabela 6).

Em termos absolutos a testemunha apresentou menores índices de clorofila quando comparada tanto aos tratamentos envolvendo aplicação de produtos biológicos quanto ao tratamento com aplicação de fungicida. De outro lado, verificou-se que o tratamento com aplicação de fungicida foi o que apresentou maior índice de clorofila total, sendo seguido pelos tratamentos biológicos que envolveram a aplicação do produto comercial "C" tanto de forma isolada quando em combinação com biofertilizante e com o produto comercial "A".

TABELA 3: Valores dos índices de Clorofila A (CLOR A), Clorofila B (CLOR B) e Clorofila Total (CLOR TOTAL) dos tratamentos avaliados, expressos em Índice de Clorofila Foliar (ICF). Médias (\pm desvio padrão) dentro da mesma coluna seguidas por letras diferentes possuem diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	CLOR A	CLOR B	CLOR TOTAL
T-1	34.5 \pm 2.1 a	11.35 \pm 0.59 a	45.9 \pm 2.3 a
T-2	35.0 \pm 2.3 a	11.16 \pm 1.00 a	46.2 \pm 2.4 a
T-3	34.6 \pm 2.4 a	11.25 \pm 1.35 a	45.8 \pm 3.0 a
T-4	34.6 \pm 2.5 a	11.20 \pm 0.62 a	45.8 \pm 2.8 a
T-5	34.6 \pm 2.4 a	11.08 \pm 0.88 a	45.7 \pm 3.0 a
T-6	34.7 \pm 2.5 a	12.53 \pm 1.27 a	47.3 \pm 2.8 a
T-7	35.1 \pm 2.5 a	11.60 \pm 0.81 a	46.7 \pm 3.1 a
T-8	35.2 \pm 2.1 a	11.79 \pm 1.37 a	47.0 \pm 3.0 a
T-9	35.8 \pm 1.6 a	12.05 \pm 1.16 a	47.8 \pm 2.4 a
T-10	34.2 \pm 3.3 a	10.64 \pm 1.12 a	44.8 \pm 4.2 a

3.2 PARÂMETROS BIOMÉTRICOS

Dentre as variáveis biométricas avaliadas, foram observadas diferenças estatisticamente significativas apenas para as variáveis número de espigas por planta (NE) e massa verde de planta (MVP).

TABELA 4: Resultado das avaliações das variáveis biométricas: Massa Verde Total (MVT); Massa Verde de Planta (MVP); Massa Verde de Espiga (MVE) expressas em gramas. Médias (\pm desvio padrão) dentro da mesma coluna seguidas por letras diferentes possuem diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	MVT	MVP*	MVE
T-1	51.008 \pm 6.879 a	30.951 \pm 3.933 ab	20.057 \pm 3.257 a
T-2	46.778 \pm 6.776 a	28.864 \pm 4.708 ab	17.914 \pm 2.574 a
T-3	43.850 \pm 5.514 a	27.078 \pm 3.610 b	16.773 \pm 2.437 a
T-4	46.294 \pm 13.436 a	28.320 \pm 7.554 b	17.974 \pm 5.985 a
T-5	53.281 \pm 8.660 a	33.529 \pm 5.094 ab	19.752 \pm 3.771 a
T-6	46.225 \pm 5.749 a	28.191 \pm 4.293 b	18.034 \pm 2.924 a
T-7	45.030 \pm 11.670 a	27.812 \pm 7.726 b	17.219 \pm 4.031 a
T-8	48.707 \pm 9.856 a	29.627 \pm 5.567 ab	19.080 \pm 4.756 a
T-9	60.316 \pm 11.661 a	39.850 \pm 8.873 a	20.466 \pm 3.370 a
T-10	43.558 \pm 9.190 a	27.211 \pm 5.472 b	16.347 \pm 3.831 a

TABELA 5: Resultado das avaliações das variáveis biométricas: Massa Seca Total (MST); Massa Seca de Planta (MSP); Massa Seca de Espiga (MSE) expressas em gramas. Médias (\pm desvio padrão) dentro da mesma coluna seguidas por letras diferentes possuem diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	MST	MSP	MSE
T-1	21.172 \pm 3.883 a	10.694 \pm 1.846 a	10.479 \pm 2.155 a
T-2	18.972 \pm 2.553 a	9.776 \pm 1.363 a	9.196 \pm 1.373 a
T-3	17.761 \pm 2.161 a	9.280 \pm 0.916 a	8.482 \pm 1.331 a
T-4	19.082 \pm 5.479 a	9.717 \pm 2.406 a	9.365 \pm 3.115 a
T-5	20.818 \pm 3.226 a	10.877 \pm 1.356 a	9.941 \pm 1.934 a
T-6	18.636 \pm 2.419 a	9.422 \pm 1.000 a	9.215 \pm 1.691 a
T-7	18.271 \pm 4.184 a	9.503 \pm 2.257 a	8.768 \pm 1.967 a
T-8	20.180 \pm 4.775 a	10.281 \pm 2.136 a	9.899 \pm 2.754 a
T-9	22.439 \pm 3.560 a	11.916 \pm 2.016 a	10.523 \pm 1.622 a
T-10	17.918 \pm 4.045 a	9.148 \pm 2.077 a	8.770 \pm 2.062 a

TABELA 6: Resultado das avaliações das variáveis biométricas: Altura de Plantas (ALT) e Comprimento de Espigas (CE) expressas em centímetros; e, Número de Espigas por Planta (NE). Médias (\pm desvio padrão) dentro da mesma coluna seguidas por letras diferentes possuem diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	ALT	NE*	CE
T-1	55.8 \pm 1.8 a	1.37 \pm 0.28 ab	6.6 \pm 0.1 a
T-2	54.9 \pm 1.7 a	1.27 \pm 0.16 ab	6.5 \pm 0.3 a
T-3	55.6 \pm 1.6 a	1.22 \pm 0.08 ab	6.2 \pm 0.5 a
T-4	55.1 \pm 2.4 a	1.23 \pm 0.16 ab	6.4 \pm 0.7 a
T-5	55.7 \pm 1.3 a	1.40 \pm 0.14 ab	6.5 \pm 0.7 a
T-6	55.5 \pm 2.5 a	1.33 \pm 0.15 ab	6.4 \pm 0.3 a
T-7	53.8 \pm 1.9 a	1.22 \pm 0.15 ab	6.2 \pm 0.6 a
T-8	56.2 \pm 1.6 a	1.25 \pm 0.18 ab	6.7 \pm 0.5 a
T-9	55.2 \pm 2.0 a	1.53 \pm 0.31 a	6.2 \pm 0.4 a
T-10	54.6 \pm 2.7 a	1.13 \pm 0.28 b	6.4 \pm 0.4 a

Para variável NE o tratamento com aplicação de fungicida químico apresentou melhor desempenho, sendo superior à testemunha com um incremento de 35,29%. Os tratamentos envolvendo aplicação de produtos biológicos tiveram desempenho equivalente ao tratamento químico, porém, não foram superiores à testemunha. Ainda que não verificada diferença significativa em relação à testemunha, os tratamentos que envolveram aplicação isolada de biofertilizante e aplicação combinada da cepa não comercial 208 com o produto comercial "A" proporcionaram incrementos de 23,53% e 20,59% no número de espigas.

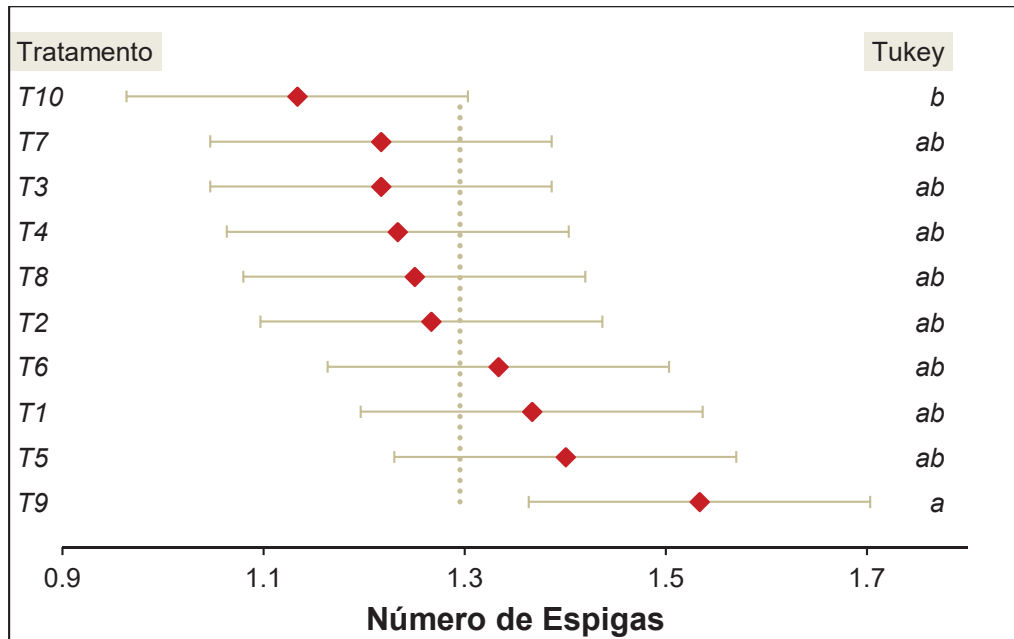


FIGURA 6: Valores de número de espigas por planta (NE).

Referente à MVP, os tratamentos compostos pela aplicação de biofertilizante de forma isolada ou combinada com o produto comercial “C”, além dos tratamentos que combinaram a aplicação das cepas não comerciais 203 e 208 com o produto comercial “A”, tiveram valores similares aos obtidos com a aplicação de fungicida químico.

A aplicação de fungicida proporcionou incremento de 46,44% no valor de MVP em relação à testemunha, enquanto as aplicações de biofertilizante de forma isolada e combinada com o produto comercial “C”, proporcionaram aumentos de 23,22% e 8,87% respectivamente no valor de MVP. Os tratamentos utilizando as cepas não comerciais 208 e 203 combinadas com o produto comercial “A” incrementaram os valores de MVP em 13,74% e 6,07%, respectivamente, em relação à testemunha.

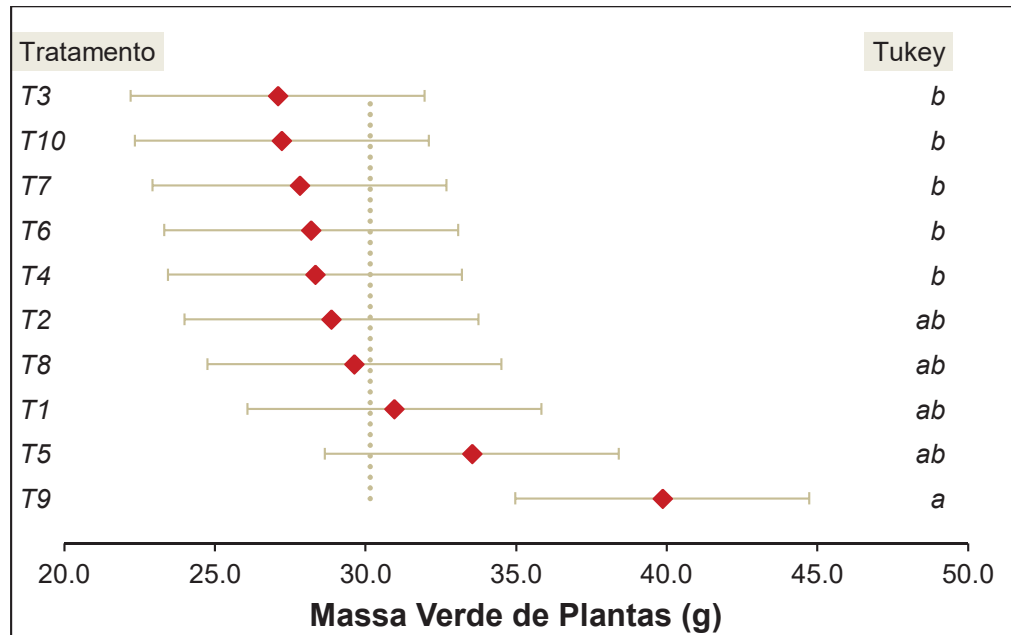


FIGURA 7: Valores de Massa Verde de Planta (MVP) em gramas.

Para as demais variáveis biométricas relativas à massa verde (MVT e MVE) e massa seca (MSP, MSE e MST) não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Contudo, analisando os dados em termos absolutos, verificou-se um padrão de desempenho entre os tratamentos para estas variáveis. A aplicação de fungicida químico foi o tratamento que proporcionou os maiores incrementos em relação à testemunha. Entre os tratamentos à base de produtos biológicos, a utilização de biofertilizante de forma isolada ou combinada com o produto comercial “C” e a combinação da cepa não comercial 208 com o produto comercial “A” foram os que proporcionaram melhores resultados absolutos quando comparados à testemunha e aos demais tratamentos envolvendo a utilização de produtos biológicos.

De outro lado, verificou-se também como padrão o pior desempenho da testemunha e do tratamento biológico à base de produto comercial “B” para todas as variáveis biométricas relativas à massa seca e massa verde.

Para as variáveis altura de plantas (ALT) e comprimento de espigas (CE) não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

3.4 PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

3.4.1 Produtividade

O tratamento à base de fungicida químico proporcionou produtividade superior aos demais tratamentos. Os tratamentos utilizando aplicação de produtos biológicos não diferiram em produtividade da testemunha.

Os tratamentos com aplicação de cepas não comerciais em associação ao produto comercial “A”, bem como aplicação do produto comercial “A” de forma isolada ou combinada com o produto comercial “C” e aplicação isolada do produto comercial “B” tiveram produtividade em termos absolutos inferior à testemunha, ainda que não diferindo estatisticamente.

A aplicação isolada do produto comercial “C” e a aplicação isolada de biofertilizante geraram incrementos de 6,21% e 3,98%, respectivamente em relação à testemunha, ainda que, sem diferença estatística.

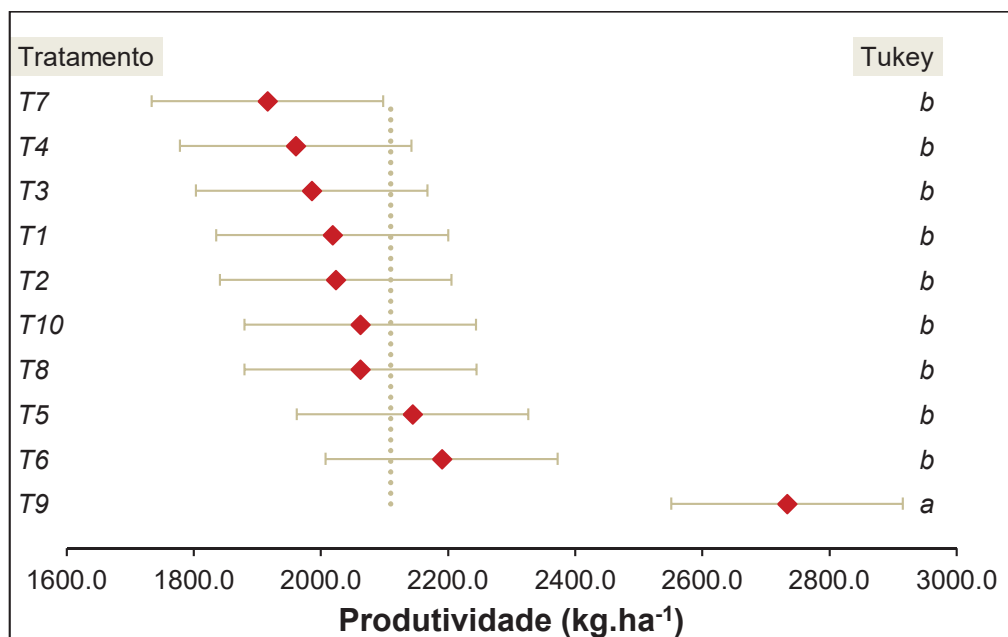


FIGURA 8: Produtividade (Kg.ha⁻¹) dos tratamentos avaliados.

3.4.2 Umidade

Observou-se que o tratamento com aplicação de fungicida químico apresentou teor de umidade de grãos na colheita superior em relação à testemunha e

aos demais tratamentos avaliados, sendo essa diferença estatisticamente significativa. Por sua vez, os demais tratamentos apresentaram valores muito semelhantes entre si (Figura 9).

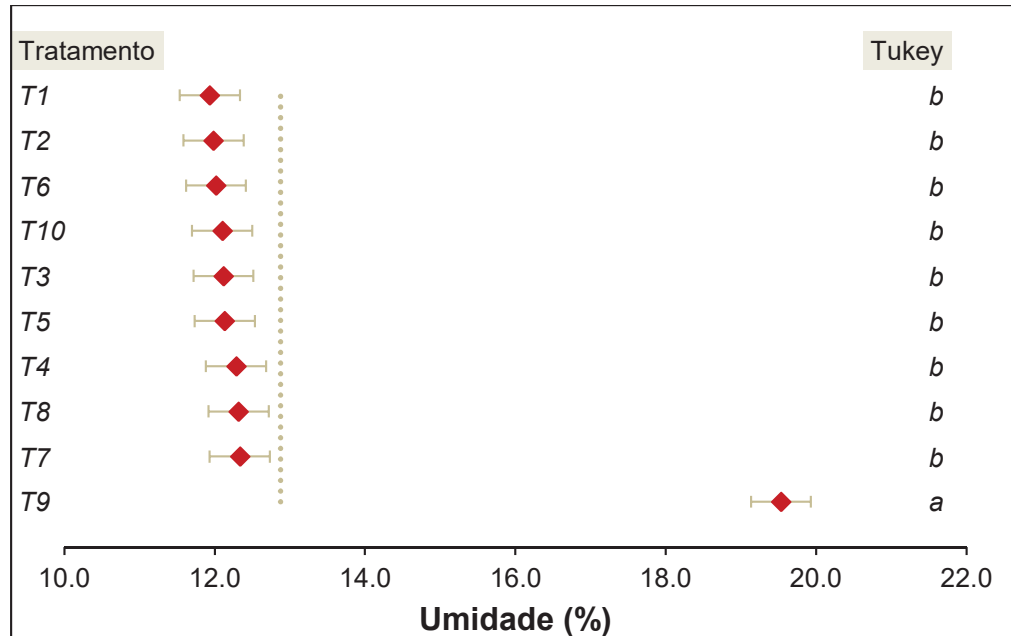


FIGURA 9: Teor de umidade de grãos (%) por ocasião da colheita nos tratamentos avaliados.

3.4.3 Peso do hectolitro (PH)

Os tratamentos com aplicação de produtos biológicos apresentaram valores de PH equivalentes ao obtido no tratamento com aplicação do fungicida químico. A única exceção foi o tratamento com associação da cepa não comercial 208 com o produto comercial “A” que apresentou valores de PH inferiores ao tratamento à base de fungicida. No contexto geral, nenhum tratamento, seja com agentes de controle biológico ou com aplicação de fungicida diferiu da testemunha quanto à variável PH.

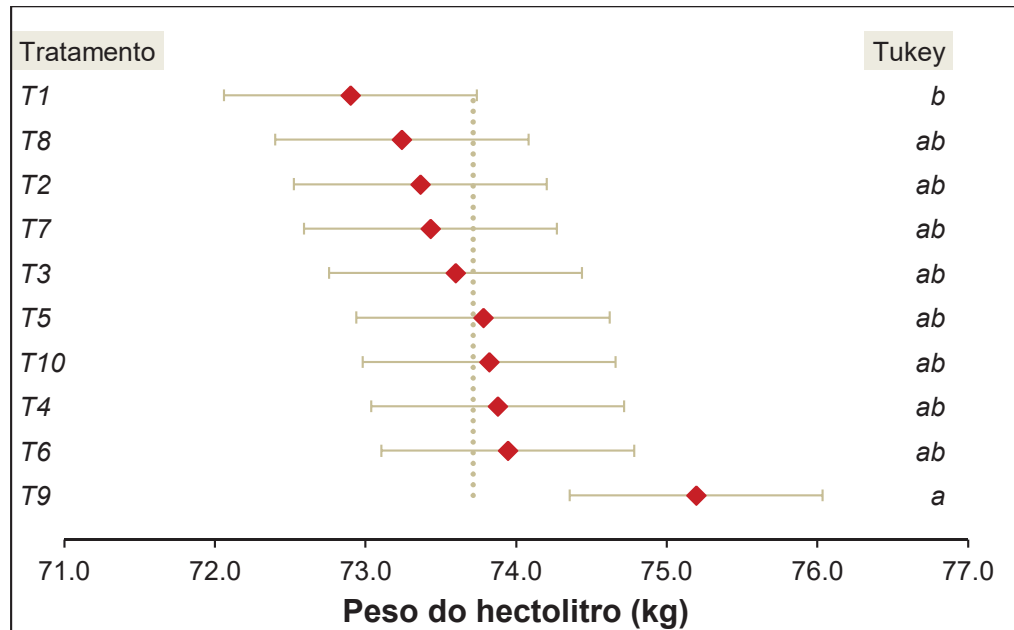


FIGURA 10: Valores de Peso do Hectolitro (PH) de grãos dos tratamentos avaliados.

Tratamento	UMI*	PROD*	PH*
T-1	11.9 ± 0.9 b	2017.7 ± 225.8 b	72.9 ± 0.9 b
T-2	12.0 ± 0.9 b	2023.5 ± 260.4 b	73.4 ± 1.4 ab
T-3	12.1 ± 1.0 b	1985.7 ± 124.2 b	73.6 ± 1.4 ab
T-4	12.3 ± 0.5 b	1960.3 ± 326.2 b	73.9 ± 0.9 ab
T-5	12.1 ± 1.1 b	2143.8 ± 188.6 b	73.8 ± 0.7 ab
T-6	12.0 ± 1.0 b	2189.8 ± 172.6 b	73.9 ± 1.2 ab
T-7	12.3 ± 0.8 b	1916.1 ± 289.5 b	73.4 ± 1.3 ab
T-8	12.3 ± 0.5 b	2062.1 ± 228.7 b	73.2 ± 1.5 ab
T-9	19.5 ± 0.7 a	2732.8 ± 265.7 a	75.2 ± 0.9 a
T-10	12.1 ± 0.7 b	2061.7 ± 143.0 b	73.8 ± 1.4 ab

TABELA 7: Resultado avaliações das variáveis relacionadas à produção: Umidade de Grãos (UMI), expresso em porcentagem; Produtividade (PROD) expressa em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; e Peso do Hectolitro (PH) expresso em $\text{kg}\cdot 100\text{L}^{-1}$. Médias (\pm desvio padrão) dentro da mesma coluna seguidas por letras diferentes possuem diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Através análise de componentes principais se verificou que os dois primeiros componentes permitiram explicar 83,7% da variabilidade dos dados. O componente principal 1 (PC1) explicou 62,4% da variação dos dados, estando correlacionado com índice de clorofila total, produtividade, umidade, massa verde total, massa seca total, número de espigas, peso do hectolitro e AACPD de ferrugem da folha (*P. triticina*). O componente principal 2 (PC2) explicou 21,3% da variação dos dados, estando correlacionado com altura de plantas e comprimento de espigas.

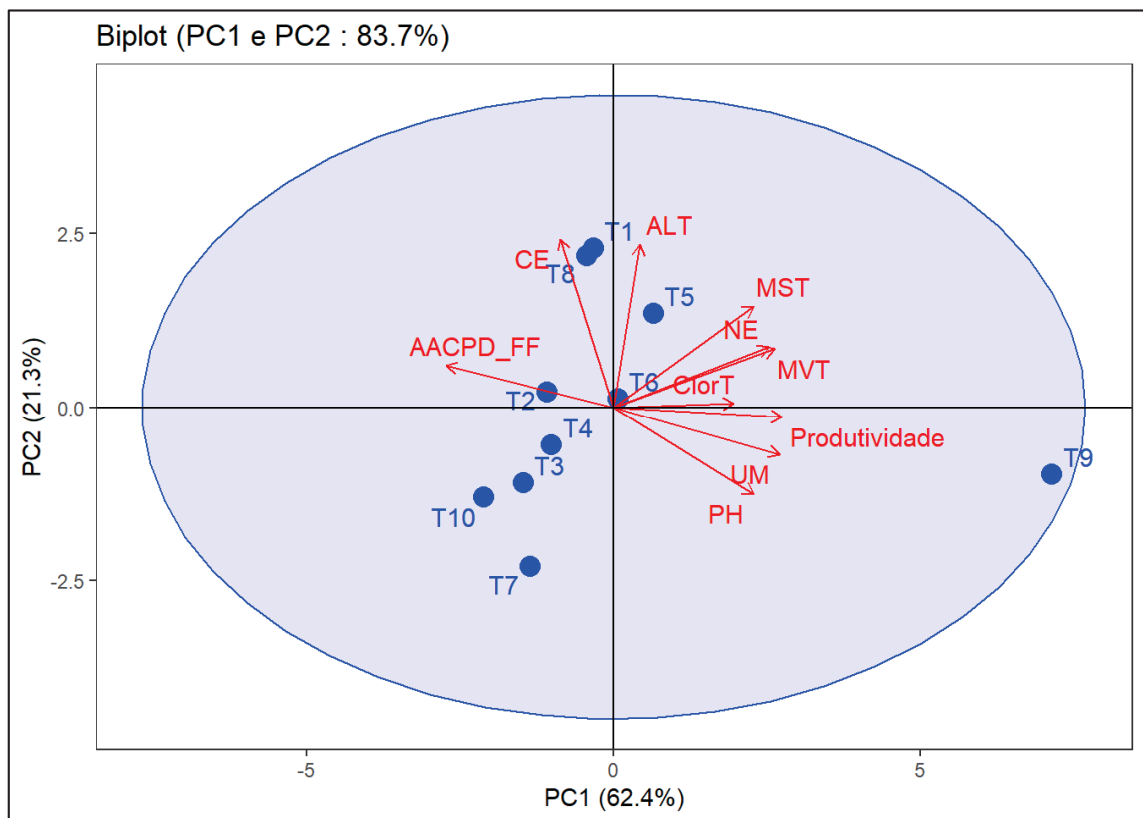


FIGURA 11: Gráfico *Biplot* de representação da análise de componentes principais, componentes 1 (PC1) e 2 (PC2).

O tratamento à base de fungicida químico apresentou grande diferença em relação aos demais, possuindo relação positiva com produtividade, umidade e peso do hectolitro.

Houve uma correlação inversa entre a AACPD de ferrugem da folha e a produtividade, umidade de grãos, peso do hectolitro e índice de clorofila total.

Os tratamentos com aplicação de biofertilizante de forma isolada ou

combinada com o produto comercial “C” e com aplicação da cepa não comercial 208 associada ao produto comercial “A” tiveram relação positiva com variáveis biométricas e se diferenciaram dos demais tratamentos à base de produtos biológicos.

Os tratamentos com aplicação isolada do produto comercial “A” e produto comercial “B” e associação do produto comercial “A” com o produto comercial “C”, além da testemunha sem aplicação foram semelhantes entre si e não tiveram relação positiva com nenhuma variável biométrica e de produção avaliada.

Analisando heatmap (Figura 12), se nota o distanciamento do tratamento à base de fungicida químico dos demais tratamentos biológicos em relação a praticamente todas variáveis analisadas. Quanto aos tratamentos à base de produtos biológicos foi possível separá-los em dois grupos, estando o tratamento à base do produto comercial “C” associado ao produto comercial “A” e o tratamento com o produto comercial “B” muito semelhantes a testemunha, apresentando desempenho geral inferior aos demais tratamentos utilizando produtos biológicos.

Quanto às variáveis biométricas, se percebe, dentro do grupo de produtos biológicos, um melhor desempenho dos tratamentos à base de biofertilizante aplicado de forma isolada e associado ao produto comercial “C”, além do tratamento associando a cepa não comercial 208 com o produto comercial “A”. Também se percebe que o pior desempenho apresentado para estas variáveis foi observado na testemunha, tendo a aplicação de produtos biológicos, em especial o biofertilizante de forma isolada ou associada com produto comercial “C”, além das cepas não comerciais 208 e 203 associadas com o produto comercial “A”, apresentado algum grau de incremento para estas variáveis.

Quanto ao índice de clorofila total, se nota, dentre os tratamentos com produtos biológicos que a utilização do produto comercial “C” de forma isolada ou associada com biofertilizante ou com o produto comercial “A” proporcionaram os melhores resultados.

Se percebe ainda, que o tratamento com aplicação de fungicida químico apresentou efeito de controle de ferrugem da folha (*P. triticina*) superior, indicado pelo menor índice de AACPD demonstrado no heatmap, destacando-se dos demais tratamentos e da testemunha, que apresentaram resultados muito semelhantes entre si.

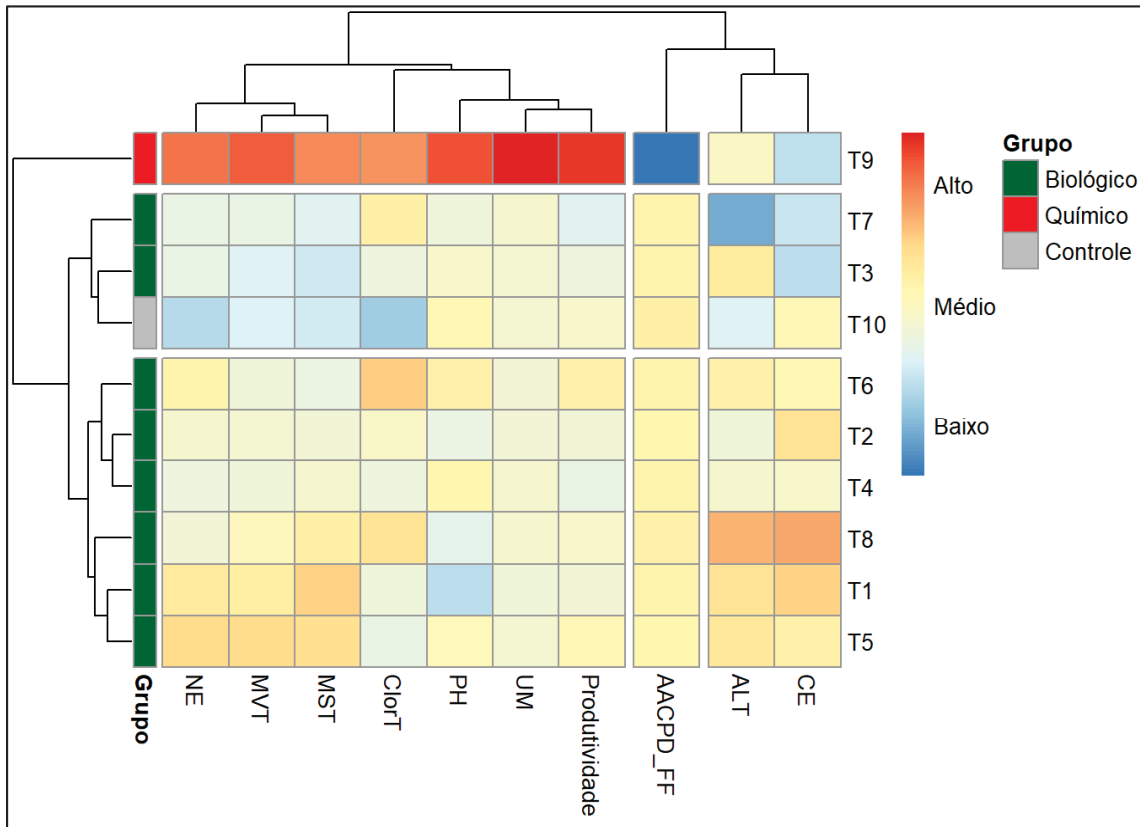


FIGURA 12: Heatmap dos tratamentos e variáveis analisadas

4 DISCUSSÃO

As condições climáticas durante a condução do experimento foram caracterizadas pela ocorrência de precipitações frequentes logo após a semeadura, o que permitiu a boa emergência e estabelecimento da cultura. Na sequência houve período de restrição hídrica (Figura 13) que se iniciou aos 25 dias após a emergência (DAE), a partir do estágio de perfilhamento (Zadoks – 22) e se estendeu até os 75 DAE, no início da antese (Zadoks – 60), afetando significativamente a cultura nos estádios de perfilhamento, alongamento, emborrachamento e espigamento, o que impactou diretamente na produtividade de todos os tratamentos avaliados e afetou o desenvolvimento dos patossistemas.

Essa condição climática de menor precipitação durante este período da cultura, contribuiu para redução do número de horas de molhamento foliar, o que, aliado ao histórico de não cultivo de trigo na área experimental em safras anteriores, desfavoreceu o desenvolvimento de manchas foliares, que demandam períodos de molhamento mínimos de 12 horas e tem os restos culturais como principal fonte de

inoculo primário. Desta forma os níveis de severidade observados no experimento para mancha amarela (*D. tritici-repentis*) e mancha marrom (*B. sorokiniana*) foram extremamente baixos.

Por outro lado, houve favorecimento do desenvolvimento da ferrugem da folha (*P. triticina*), cujo inoculo primário é transportado pelo vento a partir de grandes distâncias, e que demanda menor período de molhamento contínuo para infecção (SANTANA et al., 2012). Assim como as condições de umidade, os valores médios de temperatura do ar e umidade relativa neste período foram favoráveis ao desenvolvimento de *P. triticina*. Além disso, a cultivar utilizada apresenta reposta de moderada suscetibilidade frente à ferrugem da folha, sendo que diversos autores reportam perdas superiores à 60% em cultivares sensíveis à doença (GERMÁN et al., 2007; REIS; ZANATTA; REIS, 2019; CASA, 2005a). Desta forma, dadas as condições ambientais e relativas a cultivar, houve rápido estabelecimento e desenvolvimento desta doença na área experimental, sobrepondo, por sua agressividade às demais enfermidades, em especial oídio (*B. graminis* f. sp. *tritici*), cuja incidência também foi verificada. Porém, à medida que a severidade da ferrugem da folha avançou, houve uma sobreposição desta sobre as demais doenças, devido a sua rápida expansão sobre o tecido foliar, o que tornou as demais doenças menos significativas e resultou em valores relativamente baixos de Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para essas enfermidades.

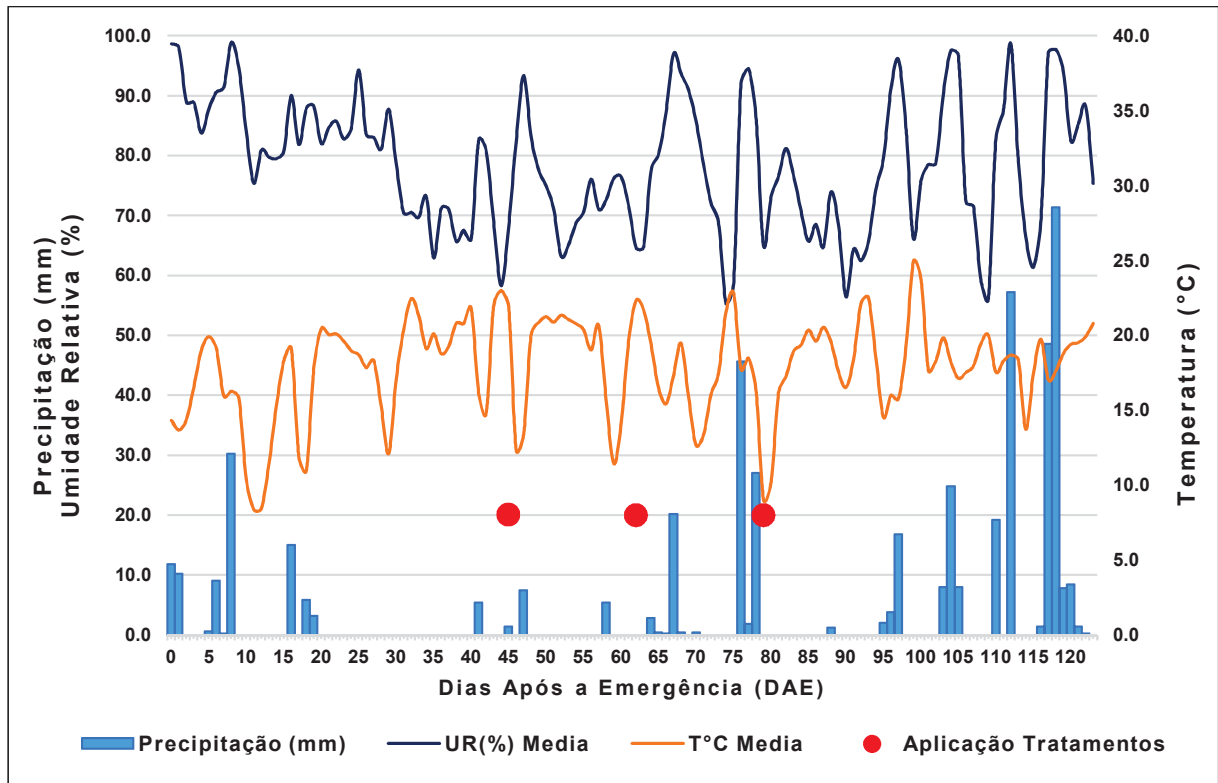


FIGURA 13: Dados de precipitação, temperatura média (T°C) e umidade relativa (UR%) observados no município de Palotina-PR durante o período de desenvolvimento da cultura de trigo na área experimental (SIMEPAR, 2022), e em destaque, o momento de aplicação dos tratamentos na área experimental.

A elevada pressão de ferrugem da folha pode ser comprovada na avaliação final de doenças, onde a maioria dos tratamentos tiveram severidade muito próxima a 100%, com exceção do tratamento com aplicação de fungicida químico, que apresentou valor de severidade abaixo de 10%. Estes dados, juntamente com os dados de AACPD permitem afirmar que este tratamento foi o único que apresentou eficiência no controle da doença.

Essa maior eficácia na utilização de fungicidas químicos em comparação com agentes de controle biológico para o controle de doenças na cultura do trigo também foi observado por outros autores (REISS e JØRGENSEN, 2017; REZVYAKOVA et al., 2022; ELDOKSCH; ATTEIA; ABDEL-MOITY, 2001; DUHATSCHEK et al., 2017), corroborando com os resultados observados no presente trabalho.

Por outro lado, vários trabalhos relatam eficácia na utilização de agentes de controle biológico no controle de doenças na cultura do trigo. XIE et al. (2021); GAO et al. (2015) e YI et al. (2022) constataram alta eficiência na utilização de *B. subtilis* no controle de oídio (*B. graminis*). Também foi observada a eficácia da utilização de *B. subtilis* no controle de ferrugem da folha (*P. triticina*) por OMARA et al. (2019);

DUHATSCHEK et al. (2017) e ELDOKSCH; ATTEIA; ABDEL-MOITY (2001). No controle de ferrugem amarela (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) por *B. subtilis* (LI et al. 2013) (REISS; JØRGENSEN, 2017) e por *P. putida* (PANG et al. 2016).

Outras doenças, como mal do pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) também possuem relato de controle eficiente por diversos microorganismos, como *B. pumilus* (SARI, E.; ETEBARIAN, H. R.; AMINIAN, H. 2007; JASEM; SHARIFI; ABBASI, 2018; BABAEIPOOR et al. 2011); *B. subtilis* (ZHANG et al. 2017; JASEM; SHARIFI; ABBASI, 2018; BABAEIPOOR et al. 2011); *P. fluorescens* (YANG et al. 2011; BABAEIPOOR et al. 2011) e *B. velzensis* (KANG et al. 2018).

No controle de giberela (*F. graminearum*) há relatos de sucesso utilizando *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis* (GROSU et al. 2015), *B. subtilis*, *Bacillus clarus* e *B. amyloliquefaciens* (KAUL et al. 2023) e *Enterobacter* sp. (PRZEMIENIECKI et al. 2019).

Desta forma constata-se discordância dos resultados verificados no presente trabalho com outros estudos prévios realizados com diversos patossistemas na cultura do trigo.

Um dos fatores que pode ter afetado o desempenho dos agentes de controle biológico e influenciado nos resultados obtidos neste trabalho foi a condição de alta pressão observada de ferrugem da folha (*P. triticina*). REISS e JØRGENSEN (2017) verificaram melhor eficiência de controle de ferrugem amarela (*P. striiformis* f. sp. *tritici*) utilizando produto comercial à base de *B. subtilis* quando este foi aplicado em condições de menor pressão da doença. Em condições de maior pressão, houve decréscimo na eficácia de controle observada. DUHATSCHEK et al. (2017) ao avaliarem a utilização de *B. subtilis* no controle de ferrugem da folha, não constataram diferença de controle em relação à testemunha em condições de pressão moderada da doença.

Os resultados obtidos nestes outros estudos prévios onde houve condição semelhante de maior pressão de doença também constataram perda da eficácia do controle biológico.

Outra questão que pode ter influenciado a eficácia de controle é o momento da aplicação do agente de controle biológico em relação ao momento de infecção da planta pelo patógeno. Como o experimento foi conduzido em condições de campo sem utilização de técnicas de infecção artificial do patógeno, não houve controle sobre essa variável. Observou-se que, no momento em que foi realizada a primeira

aplicação dos tratamentos, já se verificava incidência, ainda que baixa, de sinais de ferrugem da folha em algumas parcelas experimentais. Sendo assim, a introdução dos agentes de biocontrole se deu posteriormente à infecção do patógeno.

Trabalhos anteriores demonstram melhor eficácia do controle biológico quando as aplicações para introdução do agente de biocontrole se deram antes do momento de infecção pelo patógeno. REISS e JØRGENSEN (2017), avaliando controle de ferrugem amarela (*P. striiformis* f sp. *tritici*) no trigo, concluíram que o controle foi melhor quando a aplicação de *B. subtilis* se deu antes da inoculação com a doença. Quando a aplicação foi posterior à inoculação a eficiência de controle caiu drasticamente. Da mesma forma, LI et al. (2013) avaliando controle da mesma doença em trigo, observaram que aplicações de *B. subtilis* antes e ao mesmo tempo que a inoculação com o patógeno tiveram bom desempenho no controle da doença, enquanto que aplicações realizadas após a inoculação não foram eficientes. ROJAS et al. (2020) avaliando controle de *F. graminearum* utilizando *Anhracosystis flocculosa* e *Penicillium olsonii* como agentes de biocontrole verificaram que quando estes foram aplicados dois a três dias antes que o patógeno, foram eficientes no controle, enquanto que a aplicação simultânea à inoculação com o patógeno não proporcionou controle eficiente. PAITER et al (2019) em experimento *in vitro*, avaliando controle de *Pyricularia graminis tritici* utilizando *Enterobacter* sp. constataram que o controle não foi eficiente quando o patógeno foi introduzido previamente ao agente de biocontrole na placa de ensaio. UMER et al. (2021) também ressaltam a importância do momento da aplicação do agente de biocontrole para a eficácia do controle biológico, considerando ser necessária aplicação do agente em momento anterior à infecção pelo patógeno para haver eficácia.

Contudo, existem estudos demonstrando eficácia de agentes de biocontrole em aplicação posterior ao momento de infecção, como no trabalho desenvolvido por ELDOKSCH; ATTEIA; ABDEL-MOITY (2001) em experimento de campo, onde foi realizada aplicação de *B. subtilis* uma semana após a inoculação artificial com *P. triticina*, verificaram boa eficácia na redução da severidade da doença, mesmo em condição de elevada pressão, o que demonstra que mesmo após a infecção é possível algum nível de controle da doença com utilização de agentes de controle biológico, o que diverge dos resultados verificados no presente trabalho, indicando que o momento de aplicação não é o único fator determinante para eficácia do controle biológico, mas que esta deve ser dependente de uma combinação de fatores.

Um destes fatores pode ser a interação entre a reação de suscetibilidade do cultivar frente à doença também que também pode afetar o desempenho do controle biológico. JACOBSEN et al. (2002) e LARSON (2004), estudando controle biológico de *Cercospora beticola* em beterraba, verificaram que a supressão da doença proporcionada pela aplicação de *Bacillus mycooides* foi maior no cultivar com maior grau de resistência à doença. Semelhante ao observado por HERVAS et al. (1998), quanto ao biocontrole de *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* em grão-de-bico, onde o controle da doença utilizando um isolado de *Bacillus* sp. foi mais consistente no cultivar resistente do que na cultivar mais suscetível. Respostas diferenciais de diferentes cultivares frente ao biocontrole de doenças também foram observados por PANG et al. (2016) avaliando controle de *P. striiformis* f. sp. *tritici* utilizando cepas de *P. putida*, onde em sete cultivares de um total de onze avaliadas foi verificada eficácia na redução da incidência da doença, demonstrando assim que as respostas de biocontrole são afetadas pela interação entre o agente de biocontrole e o genótipo da planta alvo.

Considerando que a cultivar utilizada no presente trabalho apresenta moderada suscetibilidade à *P. triticina*, esta condição pode ter favorecido a maior pressão de doença observada, o que juntamente com a interação do agente de biocontrole com o genótipo da planta alvo pode ter levado à ineficácia no controle da doença observado no presente trabalho.

Essa condição de múltiplos fatores influenciando a eficácia do controle biológico e conseqüentemente implicando em uma variabilidade de respostas foi relatado por NICOT et al. (2012) que em revisão realizada sobre fatores de sucesso e insucesso no controle biológico, verificaram que o controle de doenças proporcionado pelos agentes biológicos à campo pode ser igual ou superior ao proporcionado pelos pesticidas químicos, porém os resultados podem ser variáveis em diferentes safras e em diferentes regiões. As principais causas dessa grande variabilidade de resultados, segundo os autores, se devem às propriedades biológicas das cepas utilizadas, questões relativas à formulação dos produtos aplicados e o momento ou método inadequado de aplicação.

Quanto aos índices de clorofila, estudos anteriores avaliando mitigação de estresses em plantas têm constatado que plantas estressadas tendem a ter os seus índices de clorofila diminuídos (MEHMOOD et al. 2021; MEKUREYAW et al. 2022; SINGH et al. 2018; SINGH et al. 2022; SINGH; JHA; JHA, 2017).

Com a elevada pressão de ferrugem (*P. triticina*) observada na área experimental, se esperava uma maior resposta nos índices de clorofila, pois justamente em condições de estresse tendem a se verificar resultados mais relevantes de incremento dos índices de clorofila pela utilização de agentes de biocontrole ou até mesmo pelo controle da doença com fungicidas.

Estudos avaliando o controle de doenças na cultura do trigo com fungicidas, demonstram que os tratamentos com menores valores de AACPD, onde o controle da doença foi mais eficaz e conseqüentemente houve menor estresse biótico tiveram seus índices de clorofila aumentados (ALVES et al. 2019; NAVARINI; BALARDIN, 2012). Da mesma forma, estudos com a utilização de agentes de biocontrole em plantas sob condições de estresse demonstram efeito sob os índices de clorofila. Estudo conduzido por MEHMOOD et al. (2021) avaliando efeito de *B. aryabhatai* sobre a capacidade de promoção de crescimento de trigo sob estresse salino, verificou incrementos nos teores de clorofila nas plantas sob estresse, sendo o agente de biocontrole capaz de aumentar o índice de clorofila das plantas tanto na presença quanto na ausência de estresse salino. Em trabalho com tomateiro, em condições de estresse hídrico, MEKUREYAW et al. (2022) constatou incrementos no índice de clorofila pela aplicação de *P. fluorescens*, em condição de ausência e presença de estresse, porém o maior efeito foi verificado em plantas estressadas.

Contudo, ainda que os tratamentos não tenham apresentado diferença estatística entre si quanto aos índices de clorofila, nota-se que em termos absolutos a testemunha teve o menor valor absoluto para índice de clorofila total entre os tratamentos avaliados, enquanto que o tratamento com aplicação de fungicida apresentou o maior valor absoluto. Desta forma, além de denotar efeito da redução do estresse biótico sobre os índices de clorofila, representado pelo controle eficaz da doença (aplicação de fungicida) e pela ausência de controle (testemunha), também indica algum efeito dos tratamentos biológicos sobre este parâmetro, ainda que não relacionado ao controle direto da doença.

Investigações anteriores demonstram o efeito positivo nos teores de clorofila em plantas tratadas com agentes de biocontrole. HUSSAIN et al. (2020) verificaram efeito positivo no teor de clorofila de plantas de trigo oriundas de sementes tratadas com cepas de *Pseudomonas sp.* e *Bacillus sp.* Efeito semelhante foi observado em ambiente controlado em plântulas de trigo originadas de sementes inoculadas com *B. aryabhatai* (MEHMOOD et al. 2021). Ainda na cultura do trigo, verificou-se incremento

do teor de clorofila com utilização de *Enterobacter cloacae* (SINGH, et al 2022; SINGH, JHA; JHA, 2017) e *A. brasilense* (KAZI et al, 2016; ZAHEER et al, 2019). Também em outras culturas há trabalhos que demonstram aumento dos teores de clorofila pela utilização de agentes de biocontrole, como *P. fluorescens* em tomateiro (MEKUREYAW et al. 2022), e biofertilizante em milho (LEME FILHO et al. 2020) e também em *Cannabis* (LEME FILHO et al. 2022).

Estes dados divergem do presente estudo, onde não se constatou variação significativa dos índices de clorofila pela aplicação de agentes de biocontrole. Eventualmente, a ausência de resposta pode estar ligada à fatores relacionados ao ambiente de produção. Estudo conduzido por LIMA et al (2011) avaliando o efeito da combinação da inoculação de *B. subtilis* e diferentes doses de adubação nitrogenada na cultura do milho verificou incremento significativo nos teores de clorofila proporcionado pela inoculação das plantas com *B. subtilis* apenas em doses de nitrogênio mais elevadas, a partir de 120 Kg/ha de N, demonstrando assim um condicionante relacionado ao ambiente de produção afetando o efeito do agente biológico de promoção de crescimento sobre esta variável.

Ainda há estudos que relatam efeito de incremento em níveis de clorofila dependente da interação entre o genótipo de planta alvo e o microorganismo aplicado. KAZI et al. (2016) estudando a interação entre diferentes cepas de *A. brasilense* e diferentes genótipos de trigo, constataram que as respostas significativas de incremento do teor de clorofila ocorreram apenas em algumas variedades e também se relacionaram com a cepa utilizada.

Desta forma, esta situação de respostas condicionadas a múltiplos fatores demonstrados por estes estudos anteriores pode explicar a ausência de resposta de incremento de índices de clorofila verificado no presente trabalho.

Quanto aos parâmetros biométricos, não ocorreram respostas significativas para maioria das variáveis analisadas. Estudos anteriores na cultura do trigo demonstram grande variabilidade de resposta na aplicação de bactérias promotoras de crescimento sobre os parâmetros biométricos.

Foram reportados efeitos positivos sobre as variáveis biométricas em trabalhos utilizando *B. subtilis* (ZHANG et al. 2017; YI et al. 2022; JASEM; SHARIFI; ABBASI, 2018; BABAEIPOOR et al. 2011), *B. aryabhatai* (RAMESCH et al. 2014; MEHMOOD et al. 2023); *B. pumilus* (SARI; ETEBARIAN; AMINIAN, 2007; JASEM; SHARIFI; ABBASI, 2018; BABAEIPOOR et al. 2011); *P. fluorescens* (SAFARI et al.

2018; SHAHAROONA et al. 2008; SARI; ETEBARIAN; AMINIAN, 2007; ERDEMCI et al. 2019); *A. brasilense* (GALINDO et al. 2022; ZAHEER et al 2022a; KAZI et al. 2016); *Enterobacter sp.* (LIU et al. 2018; RAMESCH et al. 2014). Também foi reportado incremento de variáveis biométricas pelo uso de biofertilizantes em trigo (MOI, 2021) e em milho (LEME FILHO et al. 2020).

Também há investigações que relatam efeitos parciais, ocorrendo interferência sobre alguns parâmetros biométricos enquanto que outros não foram afetados pela aplicação de bactérias promotoras de crescimento como relatado por ERDEMCI, I.; AKTAS, H.; EREN, (2019) com aplicação de *P. fluorescens* incrementando altura de planta, nº de espigas.m⁻² e número de grãos por espiga, mas não interferindo sobre comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga e peso de grãos por espiga, e também relatado por MOI (2021) com aplicação de biofertilizante afetando positivamente o número de afilhos e população de plantas mas não tendo efeito significativo sobre número de espigas.m⁻² e peso de mil grãos.

Há ainda trabalhos que demonstraram ausência de resposta sobre parâmetros biométricos. Estudo conduzido por KANG et al. 2018 avaliando a utilização de *B. velenzensis* para o controle de mal-do-pé e helmintosporiose na cultura do trigo, verificou que mesmo havendo eficiência no controle das doenças avaliadas, não ocorreu incremento de parâmetros biométricos. Em trabalhos com a utilização de *A. brasilense* em trigo realizados por PICCININ et al. (2013) e SANTOS et al. (2020) também não foram verificados incrementos significativos nos parâmetros biométricos da cultura. Resultado semelhante, de ausência de resposta, foi observado por PORTES (2016) avaliando utilização de biofertilizante na cultura da soja.

Alguns estudos anteriores também observaram a ocorrência de incrementos de parâmetros biométricos apenas em termos absolutos, como observado por NAIMAN; LATRÓNICO; SALAMONE (2008), com aplicação de cepas de *A. brasilense* e *P. fluorescens* em trigo, onde foram observadas respostas sobre biomassa de parte aérea e radicular, porém sem significância estatística. Fato semelhante ocorreu no presente estudo, onde não se verificaram diferenças estatísticas para as variáveis MSP, MSE, MST, MVE, MVT e ALT, mas foi constatado um padrão de incremento em termos absolutos a partir da aplicação de biofertilizante de forma isolada ou combinada com o produto comercial “C” e aplicação da cepa não comercial 208 associada ao produto comercial “A”.

Investigações anteriores têm demonstrado em certos casos a interferência de

alguns fatores para a ocorrência do efeito de promoção de crescimento pela aplicação de bactérias promotoras de crescimento, havendo um efeito condicional em função da ocorrência de outro fator.

KAZI et al. (2016) constataram resposta diferencial na aplicação de *A. brasilense* sobre parâmetros biométricos de trigo de acordo com o genótipo de trigo avaliado. Em trabalho com *P. putida*, PANG et al. (2016) também verificaram efeito cultivar dependente quanto às respostas de promoção de crescimento na cultura do trigo. BOKHARI et al. (2019) avaliando efeito de *Bacillus circulans* na redução de estresse salino na cultura do trigo, verificou respostas sobre os parâmetros biométricos apenas em condições de estresse, não havendo efeito em condições normais de crescimento. BABAEIPOOR et al. (2011) também verificaram que o efeito de *P. fluorescens*, *B. subtilis* e *B. pumilus* sobre promoção de crescimento em trigo estava condicionada à sua capacidade de enfrentamento à *G. graminis* var. *tritici*, não apresentando respostas em plantas não doentes. Variações no ambiente de produção também afetam as respostas de promoção de crescimento, como observado por SHAHAROONA et al. (2008), onde o aumento do nível de fertilização utilizado reduziu as respostas de trigo à utilização de *P. fluorescens*. Efeito semelhante foi observado em *Cannabis* sp. por LEME FILHO et al. (2022), onde maiores efeitos da aplicação de biofertilizante foram observados sob condições não ideais de desenvolvimento da cultura.

Em pesquisas que avaliaram exclusivamente o controle químico de doenças em trigo, foi constatado que o uso de fungicidas proporcionou aumento nos parâmetros biométricos da cultura. Em estudos realizados por BONFADA (2015) e OESTER (2022), observou-se um aumento em variáveis biométricas, como altura, número de grãos por espiga, massa seca de espigas, comprimento de espiga e peso de mil grãos, nas plantas de trigo submetidas a aplicação de fungicidas, com melhores resultados nos tratamentos que apresentaram maior eficácia no controle das doenças avaliadas. Por outro lado, LENZ et al. (2011) observaram uma menor severidade das doenças nos tratamentos com fungicidas em comparação à testemunha não tratada, mas não houve diferença significativa no tamanho das espigas.

Desta forma, os efeitos verificados sobre o número de espigas (NE) e a Massa Verde de Planta (MVP) observados neste trabalho, onde o tratamento utilizando fungicida químico apresentou diferença significativa em relação a testemunha pode ser explicado pelo controle da doença proporcionado pelo fungicida, que reduziu os

níveis de severidade em relação à testemunha e em relação aos demais tratamentos.

A umidade superior apresentada pelo tratamento com aplicação de fungicida em relação aos demais tratamentos está relacionada ao fato deste tratamento ter sido o único que apresentou alguma efetividade no controle de *P. triticina*, tendo apresentado severidade média final de 9,8% enquanto os demais tratamentos tiveram valores muito próximos à 100% de severidade, ou sejam, sua área foliar havia sido totalmente consumida pela doença, tendo assim o seu ciclo encerrado de forma antecipada em relação ao ciclo do tratamento com fungicida, o que implicou em menor umidade dos grãos no momento da colheita para estes tratamentos.

O maior valor absoluto de PH apresentado pelo tratamento utilizando fungicida químico deveu-se ao controle da ferrugem da folha proporcionado por este tratamento, que permitiu manutenção da área foliar ativa por mais tempo e consequentemente maior aporte de fotoassimilados aos grãos. ALVES et al. (2019) relataram incremento do peso hectolítrico em função controle da ferrugem da folha no trigo, sendo que todos os tratamentos com fungicidas incrementaram essa variável em relação à testemunha. Da mesma forma, NAVARINI e BALARDIN (2012) verificaram que aplicação de fungicidas promoveu controle da ferrugem da folha no trigo e proporcionou incremento no valor de PH, sendo que o tratamento que apresentou menor valor de AACPD para doença, ou seja, onde houve melhor controle, foi o que apresentou maior valor de PH. Resultados obtidos por TORMEN et al. (2013) também apontam que o controle de doenças pela aplicação de fungicidas em trigo aumentou os valores de PH dos grãos.

MOI (2021) na cultura do trigo e ALMEIDA et al. (2018) na cultura do arroz não verificaram incremento nos valores de PH de grãos pela aplicação de biofertilizantes.

Contudo, a ausência de diferença estatística entre o tratamento utilizando fungicida químico e os demais tratamentos, com exceção ao tratamento utilizando aplicação da cepa não comercial 208 associada ao produto comercial "A", que foi estatisticamente inferior ao tratamento com aplicação de fungicida, pode ter se devido ao fato de todos os tratamentos terem sido influenciados negativamente pelo período de chuvas ocorrido a partir dos 102 dias após a emergência (DAE) e que se intensificou entre os 112 DAE até a colheita da cultura, ocorrida aos 123 DAE. Conforme HIRANO (1976), chuvas em períodos de 20 dias antes da colheita causam decréscimo no enchimento de grãos em função da redução do acúmulo de matéria

seca causada pela redução da fotossíntese e absorção de nutrientes, provocando redução dos valores do peso do hectolitro (PH).

A alternância sucessiva do teor de umidade dos grãos em virtude das precipitações pluviométricas e posterior secagem dos grãos também é um fator que leva ao decréscimo dos teores de PH dos grãos (MELLADO; MALDONADO; GRANGER, 1985; FINNEY; YAMAZAKI, 1967).

Os resultados de produtividade observados estão relacionados ao controle da ferrugem do trigo (*P. triticina*), uma vez que o tratamento com aplicação de fungicida que foi o único que apresentou efeito de controle sobre a doença também foi significativamente mais produtivo que os demais tratamentos, que não apresentaram diferença significativa entre si.

Além disso, através da análise de componentes principais (PCA), constatou-se relação negativa entre a AACPD da ferrugem da folha (*P. triticina*) e a produtividade de grãos.

ELDOKSCH; ATTEIA; ABDEL-MOITY (2001) avaliando biocontrole de *P. triticina* utilizando *Trichoderma harzianum* e *B. subtilis* constataram que, ainda que os agentes de biocontrole avaliados tenham apresentado eficiência na redução da severidade da doença e no incremento da produtividade, o tratamento utilizando fungicida foi mais eficaz que os tratamentos biológicos.

DUHATSCHECK et al. (2017) combinando tratamentos biológicos à base de *B. subtilis* com aplicações de fungicida químico para controle de ferrugem do trigo, verificou que os tratamentos que utilizaram apenas fungicidas químicos tiveram menor AACPD e maior produtividade, corroborando com a relação existente entre estas variáveis também observada neste trabalho. Contudo, no trabalho dos autores supracitados, ainda que os tratamentos biológicos tenham apresentado menor eficácia no controle da doença, não diferiram em produtividade em relação aos tratamentos utilizando controle químico com fungicidas. Porém, em alguns casos, como observado por DREBES (2022), mesmo os tratamentos biológicos apresentando eficácia no controle de ferrugem do trigo, não foram capazes de incrementar produtividade em relação à testemunha não tratada.

A pressão da doença é um fator que afeta diretamente, as respostas dos agentes de biocontrole, tanto à capacidade de reduzir a severidade da doença quanto em proporcionar respostas de produtividade. REISS e JØRGENSEN (2017) ao avaliarem a eficácia de produto comercial à base de *B. subtilis* no controle da ferrugem

amarela do trigo, constataram que em condições de maior pressão da doença, além da eficácia de controle do tratamento biológico reduzir drasticamente, também não houve resposta de incremento de produtividade na cultura em relação à testemunha, tendo sido inferior nessa condição ao tratamento químico com fungicida. Em condições de menor pressão da doença, o controle biológico foi capaz de proporcionar produtividade semelhante ao controle químico.

Além disso, diversos trabalhos mostram respostas variáveis de incremento de produtividade na cultura do trigo pela utilização de agentes de biocontrole.

Um exemplo disso, é a utilização de *A. brasilense*, onde há relatos de incremento de produtividade pela sua utilização na cultura do trigo (GALINDO et al. 2022; ZAHEER et al. 2019; GALON et al. 2015; PICCININ et al. 2013), como ausência de resposta (NAIMAN; LATRÓNICO; SALAMONE, 2009; ZANETTINI; PUENTE, 2017; PICCININ et al. 2013).

NAIMAN; LATRÓNICO; SALAMONE (2009) também não verificaram incremento de produtividade pela utilização de *P. fluorescens* em trigo, enquanto que ERDEMCI.; AKTAS; EREN (2019) obtiveram resultados positivos de incremento de produtividade utilizando este mesmo microrganismo.

Resultados positivos de incremento de produção com a utilização de consórcios microbianos envolvendo *Enterobacter* sp. em trigo foram relatados por KUMAR; MAURYA; RAGHUWANSHI (2014) e ZAFAR-UL-HYE et al (2020). Por outro lado, com a utilização de biofertilizantes, MOI (2021) não observou incremento de produtividade em trigo, enquanto que PORTES (2016) não obteve respostas na cultura da soja.

Ainda, em alguns casos a resposta de incremento de produtividade pela utilização de agentes de biocontrole é variável de acordo com o ambiente de produção (PICCININ et al. 2013), dose utilizada (GALON et al. 2015); cepa do microrganismo e nível de fertilidade da área (SHAHAROONA et al. 2008).

5 CONCLUSÕES

Os consórcios de bactérias promotoras de crescimento avaliados não foram eficazes no controle de ferrugem da folha (*P. triticina*) no trigo sendo que apenas o tratamento utilizando fungicida químico foi eficaz em reduzir o valor de AACPD.

Apenas as variáveis biométricas massa verde de planta (MVP) e número de espigas (NE) foram influenciadas pelos tratamentos avaliados, sendo que para variável NE os tratamentos utilizando produtos biológicos foram equivalentes ao fungicida químico, enquanto que para variável MVP apenas os tratamentos utilizando biofertilizante isolado ou associado ao produto comercial “C” e utilizando as cepas não comerciais 203 e 208 associadas ao produto comercial “A” foram equivalentes ao tratamento com fungicida químico.

Plantas de trigo pulverizadas com fungicida apresentaram maior produtividade e maior valor de umidade de grãos. De outro lado, os tratamentos com produtos biológicos não geraram incrementos de produtividade em relação à testemunha.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-HAMID, M. S. *et al.* Plant growth-promoting properties of bacterial endophytes isolated from roots of *Thymus vulgaris* L. and investigate their role as biofertilizers to enhance the essential oil contents. **Biomolecular Concepts**, [s. l.], v. 12, p. 175-196, 2021.
- ALMEIDA, T. A. de *et al.* Biofertilizer Microgeo® on Rice Crop: Yield and Seed Quality. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, ed. 5, p. 288-295, 2018. DOI 10.5539/jas.v10n5p288. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p288>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- ALVES, A. *et al.* Fungicidas no controle da ferrugem da folha e incremento no rendimento do trigo. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XXVIII., 2019, Pelotas, RS, Brasil. **Anais [...]**. Pelotas, RS, Brasil: UFPEL, 2019. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/cic/anais/anais-2019/>. Acesso em: 9 jan. 2023.
- ALVES, G. C. S. *et al.* Escala diagramática para quantificação de ferrugem da folha do trigo. **Multi-Science Journal**, [s. l.], ano 1, v. 1, p. 128-133, 2015.
- ANSARI, F. A.; AHMAD, I.; PICHTEL, J. Growth stimulation and alleviation of salinity stress to wheat by the biofilm forming *Bacillus pumilus* strain FAB10. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 143, p. 45-54, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139318314677?via%3Di> hub. Acesso em: 3 jan. 2023.
- BABAEIPOOR, E. *et al.* Evaluation of some antagonistic bacteria in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var *tritici* causal agent of wheat take-all disease in Iran. **African Journal of Microbiology Research**, [s. l.], v. 5, ed. 29, p. 5165-5173, 2011. Disponível em: African Journal of Microbiology Research. Acesso em: 4 jan. 2023.
- BACKER, R. *et al.* Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 9, n. 1473, 2018. DOI 10.3389/fpls.2018.01473. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01473/full>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- BAKER, K. F.; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974. 433 p.
- BECALTCHUK, B. *et al.* **Documentos Online**: Características e cuidados com algumas doenças do trigo. 64. ed. Passo Fundo, RS, Brasil: EMBRAPA Trigo, 2006.

1-13 p. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do64.pdf. Acesso em: 7 dez. 2022.

BERNARDO, E. R. de A. **Controle da Mancha Preta dos frutos cítricos em cultivo orgânico e convencional e do bolor verde em pós-colheita**. Orientador: Dr. Wagner Bettiol. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, Brasil, 2007.

BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna, SP, Brasil.: EMBRAPA - CNPDA, 1991. 226 p.

BETTIOL, W.; TRATCH, R.; GALVÃO, J. A. H. **Controle de doenças de plantas com biofertilizantes**. Jaguariúna, SP, Brasil: EMBRAPA - CNPMA, 1998. 22 p. Circular Técnica nº 2.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, 2008. Dados Vetoriais. Escala 1:600.000. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aparana_solos_20201105#more. Acesso em: 14 dez. 2022.

BIOTRIGO GENÉTICA. **TBIO TORUK**. [S. l.]: Biotrigo Genética, 2022. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/cultivares/portfolio/toruk/32>. Acesso em: 14 dez. 2022.

BOHATCHUCK, D. A. *et al.* Modelo de ponto crítico para estimar danos de doenças foliares do trigo em patossistema múltiplo. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, ed. 5, p. 363-369, 2008.

BOKHARI, A. *et al.* Bioprospecting desert plant *Bacillus* endophytic strains for their potential to enhance plant stress tolerance. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54685-y>. Acesso em: 16 jan. 2023.

BONFADA, E. B. **Efeito do número de aplicações de fungicidas no controle de doenças sobre componentes de rendimento do trigo**. Orientador: Juliane Ludwig. 2015. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, Brasil, 2015.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: John Wiley & Sons, 1990.

CARD, S. D. *et al.* Targeted selection of antagonistic microorganisms for control of *Botrytis cinerea* of strawberry in New Zealand. **Australasian Plant Pathology**, [s. l.], v. 38, p. 183-192, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1071/AP08097>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CASA, R. T.; REIS, E. M. **Doenças de cereais de inverno**: Guia de campo para identificação e controle. Lages. Santa Catarina. Brasil: Graphel, 2010. 84 p.

COMBES-MEYNET, E. *et al.* The *Pseudomonas* Secondary Metabolite 2,4-Diacetylphloroglucinol Is a Signal Inducing Rhizoplane Expression of *Azospirillum* Genes Involved in Plant-Growth Promotion. **Molecular Plant Microbe Interactions**, [s. l.], v. 24, ed. 2, p. 271-284, 2011. DOI 10.1094/MPMI -07-10-0148. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21043573/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

COMPANY, S. *et al.* Use of beneficial bacteria and their secondary metabolites to control grapevine pathogen diseases. **BioControl**, [s. l.], ed. 58, p. 435-455, 2013.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Trigo. **Análise Mensal**, Brasília, abril 2022a.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Trigo. **Análise Mensal**, Brasília, julho 2022b.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de Informações Agropecuárias**: Produção Agrícola. Safra. Série Histórica dos Grãos. [S. l.], 2022c. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 7 dez. 2022.

CORREA, C. *et al.* Eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares do trigo no Paraná. **Acta Iguazu**, Cascavel, Paraná, Brasil., v. 2, n. 1, p. 20-23, 2013.

CUNHA, A. O. *et al.* Intensidade de pragas e doenças em feijão macassar cultivado em sistemas orgânicos e convencionais. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 18, p. 440-442, 2000.

D' ANDREA, P. A.; MEDEIROS, M. B. Biofertilizantes biodinâmicos na nutrição e proteção de hortaliças. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA ORGÂNICA, NATURAL, ECOLÓGICA E BIODINÂMICA, 1., 2002, Piracicaba, SP, Brasil. **Anais** [...]. Piracicaba, SP, Brasil: Agroecológica, 2002.

DREBES, L. **Associação de produtos biológicos e químicos no controle de doenças foliares do trigo e mofo-branco em soja**. Orientador: Jerson Vanderlei Carús Guedes. 2022. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2022.

DUHATSCHEK, E. *et al.* Utilização de produtos químicos, biológicos e alternativos no controle de doenças foliares de trigo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, Paraná, Brasil, v. 10, ed. 2, p. 105-109, 2017.

ELDOKSCH, H. A.; ATTEIA, M. F.; ABDEL-MOITY, S. M. H. Management of brown leaf rust, *Puccinia recondita* of wheat using natural products and biocontrol agents. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [s. l.], v. 4, ed. 5, p. 550-553, 2001.

ERDEMCI, I.; AKTAS, H.; EREN, A. Quantitative and qualitative response of wheat to *Pseudomonas fluorescens* rhizobacteria application. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, [s. l.], v. 29, ed. 2, p. 476-482, 2019.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030):** Revisão D. 07/2018. Porto Alegre, RS, Brasil: [s. n.], 2018. 33 p. Disponível em: <https://www.falker.com.br/br/suporte>. Acesso em: 26 dez. 2022.

FAO. FAOSTAT - Food and agriculture organization of the United Nations statistics. *In*: FAO. **FAOSTAT - Food and agriculture organization of the United Nations statistics**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 7 dez. 2022.

FERNANDES, J. M. C.; PICININI, E. C. Sistema de suporte à tomada de decisão para otimização do uso de fungicidas na cultura do trigo. **Fitopatologia Brasileira**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 9-17, 1999.

FERREIRA, J. de P.; VIDAL, M. S.; BALDANI, J. I. **Método para detecção e quantificação da atividade de ACC deaminase em bactérias diazotróficas promotoras de crescimento vegetal**: Comunicado Técnico 148. Seropédica, RJ, Brasil: EMBRAPA Agrobiologia, 2020. 14 p.

FERREIRA, S. da C. *et al.* Isolation and characterization of cassava root endophytic bacteria with the ability to promote plant growth and control the in vitro and in vivo growth of *Phytophthium* sp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, [s. l.], v. 116, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101709>. Acesso em: 5 jan. 2023.

FINNEY, K.; YAMAZAKI, W. Quality of hard, soft and durum wheats. *In*: QUINSENBERRY, K. S. *et al.* **Wheat and wheat improvement**. [S. l.]: Madison: American Society of Agronomy, 1967. cap. 14, p. 471-503.

FUKAMI, J. *et al.* Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, [s. l.], v. 6, ed. 3, 2016. DOI 10.1186/s13568-015-0171-y. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1039673/accessing-inoculation-methods-of-maize-and-wheat-with-azospirillum-brasilense>. Acesso em: 3 jan. 2023.

GALINDO, F. S. *et al.* Assessing Forms of Application of *Azospirillum brasilense* Associated with Silicon Use on Wheat. **Agronomy**, [s. l.], v. 9, ed. 678, 2019. DOI 10.3390/agronomy9110678. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/678>. Acesso em: 2 jan. 2023.

GALINDO, F. S. *et al.* Improving Sustainable Field-Grown Wheat Production With *Azospirillum brasilense* Under Tropical Conditions: A Potential Tool for Improving Nitrogen Management. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 10, 2022. DOI 10.3389/fenvs.2022.821628. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.821628/full>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GALON, L. *et al.* Desempenho agronômico da cultura do trigo após inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, RS, Brasil, v. 21, p. 65-71, 2015.

GAO, X. Endophytic *Bacillus subtilis* Strain E1R-J Is a Promising Biocontrol Agent for Wheat Powdery Mildew. **BioMed Research International**, [s. l.], v. 2015, p. 8p, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/462645>. Acesso em: 5 jan. 2023.

GERMÁN, S. *et al.* The situation of common wheat rusts in the Southern Cone of America and perspectives for control. **Australian Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 58, n. 6, p. 620-630, 2007.

GONG, A. D. *et al.* Antagonistic Mechanism of Iturin A and Plipastatin A from *Bacillus amyloliquefaciens* S76-3 from Wheat Spikes against *Fusarium graminearum*. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 10, ed. 2, 2015. DOI 10.1371/journal.pone.0116871. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0116871>. Acesso em: 5 jan. 2023.

GROSU, A. I. *et al.* Evaluation of Some *Bacillus* spp. Strains for the Biocontrol of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* in Wheat. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s. l.], v. 6, p. 559-566, 2015.

HERVAS, A. *et al.* Effects of commercial and indigenous microorganisms on *Fusarium* wilt developmen in chickpea. **Biological Control**, [s. l.], v. 13, p. 166-176, 1998.

HETZLER, J. *et al.* Interactions between spot blotch (*Cochliobolus sativus*) and wheat cultivars. In: WHEAT FOR THE NONTRADITIONAL WARM AREAS, 1990, Foz do Iguaçu, Brazil. **Wheat for the nontraditional warm areas: a proceedings os the International Conference** [...]. Mexico, D. F.: [s. n.], 1991. p. 146-164.

HIRANO, J. Effects of rain in ripening period on the grain quality of wheat. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ibaraki, v.10, n.4, p.168-173, 1976.

HUSSAIN, A. *et al.* Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 15, ed. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241130>. Acesso em: 9 jan. 2023.

JACOBSEN, B. J. *et al.* Integrated management of *Cercospora* leaf spot. **Sugarbeet Research and Extension Reports**, [s. l.], v. 33, p. 235-240, 2002.

JAMES, W. C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. **Canadian Plant Disease Survey**, Ottawa, v. 51, n. 2, p. 39-65, 1971.

JASEM, A. M.; SHARIFI, R.; ABBASI, S. Induced systemic resistance to wheat take-all disease by probiotic bacteria. **Journal of Plant Protection Research**, [s. l.], v. 58, ed. 304-310, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.24425/jppr.2018.124639>. Acesso em: 4 jan. 2023.

KANG, X. *et al.* *Bacillus velezensis* CC09: A Potential 'Vaccine' for Controlling Wheat Diseases. **Molecular Plant Microbe Interactions**, [s. l.], v. 31, ed. 6, p. 623-632, 2018.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra**: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses.. R Package Version 1.0.7. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 2 maio 2023.

KAUL, N. *et al.* Diversity and Exploration of Endophytic Bacilli for the Management of Head Scab (*Fusarium graminearum*) of Wheat. **Pathogens**, [s. l.], v. 11, ed. 1088, 11 jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pathogens11101088>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KAZI, N. *et al.* The response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 196, p. 368-378, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.012>. Acesso em: 5 jan. 2023.

KHAN, N.; BANO, A.; BABAR, M. A. The stimulatory effects of plant growth promoting rhizobacteria and plant growth regulators on wheat physiology grown in sandy soil. **Archives of Microbiology**, [s. l.], v. 201, p. 769-785, 2019.

KOLDE, R. **Pheatmap**: Pretty Heatmaps. R package version 1.0.12. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=pheatmap>. Acesso em: 2 maio 2023.

KUHNEM, P. *et al.* **Trigo: doenças**: Guia prático para Identificação no Campo. Passo Fundo, RS, Brasil: Biotrigo Genética, 2021. 73 p.

KUMAR, A.; MAURYA, B. R.; RAGHUWANSHI, R. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 3, p. 121–128, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818114001091?via%3Di> hub. Acesso em: 3 jan. 2023.

LAHLALI, R. *et al.* Biological Control of Plant Pathogens: A global perspective. **Microorganisms**, [s. l.], v. 10, n. 596, p. 0-33, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>. Acesso em: 7 dez. 2022.

LARSON, B. J. **Integrated management of Cercospora leaf spot**. 2004. 110 p. Tese (M.S.) - Montana State University, Bozeman, Montana, USA., 2004.

LAU, D. *et al.* Doenças do Trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS, Brasil: EMBRAPA Trigo, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128300/1/2011-LVtrigonobrasil-cap12.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2022.

LAU, D. *et al.* **Principais Doenças do Trigo no sul do Brasil: Diagnóstico e Manejo**. Passo Fundo, RS, Brasil: EMBRAPA Trigo, dezembro 2020. 44 p. REIS, E.M.; CASA, R.T. Doenças do trigo. In: KIMATI, H., AMORIM, L.; REIS, E.M.; CASA, R.T.; FORCELINI, C.A. Relação entre a severidade e a incidência da ferrugem da folha do trigo, causada por *Puccinia recôndita f. sp. tritici*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 21, p. 369–372, 2005b.

LEME FILHO, J. F. da C. *et al.* Corn Response to an Integrated Plant Nutrition System (IPNS) With Humic Acid and Biofertilizers. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 12, ed. 8, 2020. DOI 10.5539/jas.v12n8p25. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n8p25>. Acesso em: 10 jan. 2023.

LEME FILHO, J. F. da C. *et al.* Effect of biostimulants on cannabis productivity and soil microbial activity under plasticulture conditions. **Research Square**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2050388/v1>. Acesso em: 19 jan. 2023.

LENZ, G. *et al.* Severidade de doenças e manutenção da área foliar verde em função da aplicação de micronutrientes e fungicidas em trigo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, SP, Brasil, v. 37, ed. 2, p. 119-124, 2011.

LEVENE, H. Robust tests for equality of variances. In: HOTELLING, H. **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. Stanford: Stanford University Press, 1960. p. 278-292.

LI, H. *et al.* Biological control of wheat stripe rust by an endophytic *Bacillus subtilis* strain E1R-j in greenhouse and field trials. **Crop Protection**, [s. l.], v. 43, p. 201-206, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.008>. Acesso em: 6 jan. 2023.

LI, Q. *et al.* The potential of novel bacterial isolates from healthy ginseng for the control of ginseng root rot disease (*Fusarium oxysporum*). **PLoS ONE**, [s. l.], v. 17, ed. 11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277191>. Acesso em: 5 jan. 2023.

LIMA, F. F. *et al.* *Bacillus subtilis* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, Brasil, v. 6, ed. 4, p. 657-661, outubro-dezembro 2011.

LIU, K. *et al.* Mixtures of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Biological Control of Multiple Plant Diseases and Plant-Growth Promotion in the Presence of Pathogens. **Plant Disease**, [s. l.], v. 102, p. 67-72, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0478-RE>. Acesso em: 4 jan. 2023.

LIU, X. *et al.* Plant growth promotion properties of bacterial strains isolated from the rhizosphere of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) adapted to saline–alkaline soils and their effect on wheat growth. **Canadian Journal of Microbiology**, [s. l.], v. 63, ed. 3, p. 228–237, 2017.

MACIEL, J. L. N.; KOVALESKI, M.; F. D., DE BONA. Trigo - Nutrição Saudável. **Revista Cultivar**, Pelotas, RS, Brasil, p. 32-36, maio 2021.

MAHESHWARI, R. *et al.* Exploration of plant growth-promoting endophytic bacteria from *Pisum sativum* and *Cicer arietinum* from South–West Haryana. **Journal of Basic Microbiology**, [s. l.], v. 62, p. 857-874, 2022.

MAPA (Brasil). Portaria SPA/MAPA nº 608. **Portaria SPA/MAPA**, [S. l.], 15 dez. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-2021-2022/parana-pr/port-no-608-trigo-de-sequeiro-pr.pdf/view>. Acesso em: 1 maio 2022.

MARCHIORO JUNIOR, M. A. *et al.* Avaliação do efeito da adubação biológica Microgeo sobre fitonematóides na cultura da soja em área naturalmente infestada. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, XXXII., 2015, Londrina, PR, Brasil. **Anais [...]**. Londrina, PR, Brasil: [s. n.], 2015. p. 168.

MARIANO, R. de L. R. *et al.* Importância de Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas para uma Agricultura Sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, PE, Brasil, v. 1, p. 89-111, 2004.

MARK, G. L. *et al.* Molecular-based strategies to exploit *Pseudomonas* biocontrol strains for environmental biotechnology applications. **FEMS Microbiol Ecol**, [s. l.], v. 56, p. 167-177, 2006. DOI 10.1111/j.1574-6941.2006.00056.x. Disponível em: <https://academic.oup.com/femsec/article/56/2/167/486122>. Acesso em: 2 jan. 2023.

MARON, J.L. *et al.* Soil fungal pathogens and the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters*, Oxford, v. 14, p. 36–41, 2010.

MCQUILKEN, M. P.; WHIPPS, J. M.; LYNCH, J. M. Effects of water extracts of a composted manure-straw mixture on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. **World Journal Microbiology Biotechnology**, [s. l.], v. 10, p. 20-66, 1994.

MEDEIROS, M. B. de *et al.* Uso de biofertilizantes líquidos no manejo ecológico de pragas agrícolas. *In: II ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA UFPB*, 2003, João Pessoa, PB, Brasil. **Anais** [...]. João Pessoa, PB, Brasil: UFPB, 2003. Tema: Meio Ambiente.

MEHMOOD, S. *et al.* Alleviation of salt stress in wheat seedlings via multifunctional *Bacillus aryabhatai* PM34: An in-vitro study. **Sustainability**, [s. l.], 8030, v. 13, 13p, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/su13148030>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/8030>. Acesso em: 3 jan. 2023.

MEHTA, P. *et al.* Efficiency of plant growth-promoting P-solubilizing *Bacillus circulans* CB7 for enhancement of tomato growth under net house conditions. **Journal of Basic Microbiology**, [s. l.], v. 55, p. 33-44, 2013. DOI 10.1002/jobm.201300562. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24464353/>. Acesso em: 2 jan. 2023.

MEHTA, Y. R. *et al.* Integrated management of major wheat diseases in Brazil: an example for the Southern Cone region of Latin America. **Crop Protection**, [s. l.], v. 11, p. 517-524, 1992.

MEHTA, Y. R. *et al.* **Doenças do trigo e seu controle**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres / Summa Phytopathologica, 1978. 190 p.

MEHTA, Y. R. **Manejo Integrado de enfermidades del trigo**. Santa Cruz de La Sierra, Bolívia: Imprenta Ladivar, 1993. 319 p.

MEKUREYAW, M. F. *et al.* The cytokinin-producing plant beneficial bacterium *Pseudomonas fluorescens* G20-18 primes tomato (*Solanum lycopersicum*) for enhanced drought stress responses. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 270, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153629>. Acesso em: 5 jan. 2023.

MELLADO, Z. M.; MALDONADO, I. I.; GRANGER, Z. D. Efecto de la lluvia, posterior a la madurez de cosecha, sobre el grano de trigo. **Agricultura Técnica**, Santiago, Chile, v. 45, ed. 3, p. 247-251, 1985.

MENDES, R. *et al.* Deciphering the rhizosphere microbiome for disease suppressive bacteria. **Science**, New York, v. 332, ed. 6033, p. 1097-1100, 2011.

MICROGEO. **Manual Técnico: Guia Rápido Microgeo**. [S. l.]: Microgeo Biotecnologia Agrícola, 2021. 24 p. Disponível em: <https://microgeo.com.br/site/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL-TECNICO-MICROGEO.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2022.

MOI, T. **Efeito do produto Microgeo nos componentes de produtividade de trigo e soja, e sobre os colêmbolos no solo**. Orientador: Vanessa Neumann Silva. 2021.

32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal Fronteira Sul, Chapecó, SC, Brasil, 2021.

MUNARETTO, J. D. *et al.* Nitrogen management alternatives using *Azospirillum brasilense* in wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00276>. Acesso em: 5 jan. 2023.

MUTUMBA, F. A. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria for improved water stress tolerance in wheat genotypes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 18, ed. 4, p. 1080-1096, 2018.

NAIMAN, A. D.; LATRÓNICO, A.; SALAMONE, I. E. G. de. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 45, p. 44-51, 2009. DOI 10.1016/j.ejsobi.2008.11.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1164556308001416?via%3Dihub>. Acesso em: 6 jan. 2023.

NAVARINI, L.; BALARDIN, R. S. Doenças foliares e o controle por fungicidas na produtividade e qualidade de grãos de trigo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, SP, Brasil, v. 38, ed. 4, p. 294-299, 2012.

NICOT, P. C. *et al.* Review of factors influencing the success or failure of biocontrol: Technical, industrial and socio-economic perspectives. **IOBC WPRS Bulletin**, [s. l.], v. 78, p. 95-98, 2012. Disponível em: <https://hal.inrae.fr/hal-02643155>. Acesso em: 5 jan. 2023.

NITSCHKE, P. R. *et al.*, (ed.). **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR, 2019. Atlas.

OESTER, L. E. **Desempenho de diferentes fungicidas multissítios no controle de mancha amarela na cultura do trigo**. Orientador: Eduardo Lorensi de Souza. 2022. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Três Passos, RS, Brasil, 2022.

OMARA, R. I. *et al.* Efficacy of certain bioagents on patho-physiological characters of wheat plants under wheat leaf rust stress. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, [s. l.], v. 106, p. 102-108, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0885576518303369?via%3Dihub>. Acesso em: 4 jan. 2023.

PAITER, A. M. de S. *et al.* IAA production and phosphate solubilization performed by native rhizobacteria in western Paraná. **Agronomy Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 5, ed. 2, p. 70-76, 2019.

PANG, F. *et al.* Novel bacterial endophytes isolated from winter wheat plants as biocontrol agent against stripe rust of wheat. **BioControl**, [s. l.], v. 61, ed. 207, p. 207-209, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10526-015-9708-x>. Acesso em: 4 jan. 2023.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V (coord.). **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - NEPAR - SBCS, 2019. 289 p. ISBN 978-85-69146-07-0.

PICCININ, G. G. *et al.* Rendimento e desempenho agronômico da cultura do trigo em manejo com *Azospirillum brasilense*. **Revista Agrarian**, Dourados, MS, Brasil, v. 6, ed. 22, p. 393-401, 2013.

PICININI, E.C; FERNANDES, J.M.C. Efeito de diferentes fungicidas sobre o rendimento de grãos, sobre o peso do hectolitro e sobre o controle da ferrugem da folha (*Puccinia recondita f.sp. tritici*) em trigo, cultivar BR 43. **Fitopatologia Brasileira**, [s. l.], v. 20, p. 319, 1995.

PIRES, J. L. F *et al.* **Sistemas de Produção Embrapa**: Cultivo de Trigo. Brasília: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, abril 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3704&p_r_p_-996514994_topicold=3044. Acesso em: 7 dez. 2022.

PORTES, A. F. **Uso de biofertilizante Microgeo® associado à inoculante na cultura da soja**. Orientador: Mauricio Vicente Alves. 2016. 28 f. Monografia (Especialista em Manejo da Fertilidade do Solo) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, Brasil, 2016.

PRESTES, A. M.; SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Práticas culturais e incidência de manchas foliares em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 791-797, 2002.

PRZEMIENIECKI, S. W. *et al.* Bacteria Isolated from Treated Wastewater for Biofertilization and Crop Protection Against *Fusarium* spp. Pathogens. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-018-0001-9>. Acesso em: 20 jan. 2023.

QIN, L. *et al.* *Bacillus circulans* GN03 Alters the Microbiota, Promotes Cotton Seedling Growth and Disease Resistance, and Increases the Expression of Phytohormone Synthesis and Disease Resistance-Related Genes. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.644597/full>. Acesso em: 6 jan. 2023.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available in: <<https://www.R-project.org>> (Accessed on Dezembro 10, 2022).

RAMESH, A. *et al.* Plant Growth-Promoting Traits in *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* MDSR9 Isolated from Soybean Rhizosphere and its Impact on Growth and Nutrition of Soybean and Wheat Upon Inoculation. **Agricultural Research**, [s. l.], v. 3, ed. 1, p. 53-66, 2014.

REANG, L. *et al.* Plant growth promoting characteristics of halophilic and halotolerant bacteria isolated from coastal regions of Saurashtra Gujarat. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 12, ed. 4699, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08151-x>. Acesso em: 4 jan. 2023.

REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças do Trigo. *In*: KIMATI, H. *et al.* **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. [S. l.: s. n.], 2005a. v. 2, p. 631-638.

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças dos cereais de inverno**: diagnose, epidemiologia e controle. 2. ed. Lages. Santa Catarina. Brasil: Graphel, 2007. 176 p.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. Controle Cultural de Doenças Radiculares. *In*: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em solos Tropicais**. Recife, PE, Brasil: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. cap. 11, p. 279-301.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. Efeito do oídio, causado por *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, sobre o rendimento de grãos de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 492-495, 1997

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. **Controle de Doenças Trigo**: Safra 2019. 2. ed. Passo Fundo, RS, Brasil: Berthier, 2019.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; MEDEIROS, C.A. Diagnose, patometria e controle de doenças de cereais de inverno. Londrina. ES Comunicação S/C Ltda. 2001, 94p.

REISS, A.; JØRGENSEN, L. N. Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade®ASO (*Bacillus subtilis* strain QST713). **Crop Protection**, [s. l.], v. 93, p. 1-8, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.009>. Acesso em: 5 jan. 2023.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 2006, Passo Fundo, RS, Brasil. **Indicações técnicas para cultura do trigo**. [...]. Passo Fundo, RS, Brasil: Comissão Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2006.

REZVYAKOVA, S. V. *et al.* Biological protection of winter wheat against fungal diseases. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v.

1010, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1010/1/012021>. Acesso em: 9 jan. 2023.

RODRIGUES NETO, J.; MALAVOLTA, J. R. V.; VICTOT, O. Meio simples para isolamento e cultivo de *Xantomonas campestris* pv. *Citri* Tipo B. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba - SP, Brasil, v. 12, p. 16, 1986.

ROJAS, E. C. *et al.* Selection of fungal endophytes with biocontrol potential against Fusarium head blight in wheat. **Biological Control**, [s. l.], v. 144, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104222>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SAFARI, D. *et al.* Evaluation of ACC deaminase producing *Pseudomonas fluorescens* strains for their effects on seed germination and early growth of wheat under salt stress. **Australian Journal of Crops Science**, [s. l.], v. 12, ed. 03, p. 413-421, 2018. Disponível em: http://www.cropj.com/jamali_12_3_2018_413_421.pdf. Acesso em: 5 jan. 2023.

SANTANA, F. M. *et al.* **Eficiência de fungicidas para controle de manchas foliares do trigo**: Resultados dos Ensaio Cooperativos - Safras 2018 e 2019. Passo Fundo, RS, Brasil: EMBRAPA Trigo, maio 2021. 23 p.

SANTANA, F. M. *et al.* **Manual de Identificação de doenças de Trigo**. 1. ed. Passo Fundo, RS, Brasil: EMBRAPA Trigo, julho 2012. 44 p.

SANTOS, L. D. *et al.* Desenvolvimento e produtividade de trigo submetido a aplicações aéreas sequenciais de *Azospirillum*. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, ed. 10, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8680>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SARI, E.; ETEBARIAN, H. R.; AMINIAN, H. Effects of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 on the resistance of wheat seedling roots to the take-all fungus *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. **Plant Production Science**, [s. l.], v. 11, ed. 3, p. 298-306, 2008.

SARI, E.; ETEBARIAN, H. R.; AMINIAN, H. The Effects of *Bacillus pumilus*, Isolated from Wheat Rhizosphere, on Resistance in Wheat Seedling Roots against the Take-all Fungus, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. **Journal of Phytopathology**, [s. l.], v. 155, p. 720-727, 2007.

SERRAGO, R. A. *et al.* Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, [s. l.], n. 120, p. 352-359, 2011.

SHAHAROONA, B. *et al.* Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Applied Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 74, p. 147-155, 2008. DOI 10.1007/s00253-008-1419-0. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-008-1419-0>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SINGH, R. P. *et al.* ACC deaminase producing rhizobacterium *Enterobacter cloacae* ZNP-4 enhance abiotic stress tolerance in wheat plant. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 17, ed. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267127>. Acesso em: 9 jan. 2023.

SINGH, R. P. *et al.* Effect of inoculation of zinc-resistant bacterium *Enterobacter ludwigii* CDP-14 on growth, biochemical parameters and zinc uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. **Ecological Engineering**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.033>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SINGH, R. P.; JHA, P. J.; JHA, P. N. Bio-inoculation of Plant Growth-promoting Rhizobacterium *Enterobacter cloacae* ZNP-3 Increased Resistance Against Salt and Temperature Stresses in Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 36, p. 783-798, 2017. DOI 10.1007/s00344-017-9683-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-017-9683-9>. Acesso em: 11 jan. 2023.

STUCHI, J. F. **Biofertilizante**: Um adubo líquido de qualidade que você pode fazer. Brasília, DF, Brasil.: Embrapa, 2015. 16 p.

SUÁREZ, D. F. P. *et al.* Activación de mecanismos de defensa en maíz pira mediante el uso del abono orgánico Microgeo®. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, [s. l.], v. 11, ed. 5, p. 965-977, 2020.

SUÁREZ, D. F. P. **Produtos naturais fermentados**: Ativação de mecanismos de defesa e controle de cercosporiose em milho pipoca. Orientador: Dra^a Kátia Regina Freitas Schwan-Estrada. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2017.

TORMEN, N. R. *et al.* Reação de cultivares de trigo à ferrugem da folha e mancha amarela e responsividade a fungicidas. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, Brasil, v. 43, ed. 2, p. 239-246, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200008>. Acesso em: 9 jan. 2023.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

UMER, M. *et al.* Role of rhizobacteria on plants growth and biological control of plant diseases: a review. **Plant Protection**, [s. l.], v. 05, ed. 01, p. 59-73, 2021. DOI

10.33804/pp.005.01.3565. Disponível em: <https://doi.org/10.33804/pp.005.01.3565>. Acesso em: 11 jan. 2023.

VERMA, P. *et al.* Appraisal of diversity and functional attributes of thermotolerant wheat associated bacteria from the peninsular zone of India. **Saudi Journal of Biological Sciences**, [s. l.], v. 26, p. 1882-1895, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X16000449?via%3Dihub>. Acesso em: 4 jan. 2023.

WICKHAM, H. *et al.* Welcome to the Tidyverse. **The Journal of Open Source Software**, [s. l.], v. 4, n. 1686, ed. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>. Acesso em: 2 maio 2023.

XIE, D. *et al.* Studies on the control effect of *Bacillus subtilis* on wheat powdery mildew. **Pest Manag Sci**, [s. l.], v. 77, p. 4375-43-82, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.6471>. Acesso em: 5 jan. 2023.

YANG, M. M. *et al.* Biological Control of Take-All by Fluorescent *Pseudomonas* spp. from Chinese Wheat Fields. **Biological Control**, [s. l.], v. 101, ed. 12, p. 1481-1491, 2011. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-04-11-0096>. Acesso em: 4 jan. 2023.

YANG, M. M. *et al.* Biological Control of Wheat Root Diseases by the CLP-Producing Strain *Pseudomonas fluorescens* HC1-07. **Biological Control**, [s. l.], v. 104, ed. 3, p. 248-256, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24512115/>. Acesso em: 6 jan. 2023.

YI, Y. *et al.* Antagonistic Activity and Mechanism of *Bacillus subtilis* XZ16-1 Suppression of Wheat Powdery Mildew and Growth Promotion of Wheat. **Phytopathology**, [s. l.], v. 112, ed. 12, p. 2476-2485, 2022.

ZADOKS, J. C. The costs of change in plant protection. **Journal of plant protection in the tropics**, Kuala Lumpur, v. 9, p. 151-159, 1992.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZAFAR-UL-HYE, M. *et al.* Multi-strain Inoculation with PGPR Producing ACC Deaminase is More Effective Than Single-strain Inoculation to Improve Wheat (*Triticum aestivum*) Growth and Yield. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 89, ed. 2, p. 405-413, 2020. Disponível em: <https://www.techscience.com/phyton/v89n2/38682>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ZAHEER, M. S. Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy and Soil**

Science, [s. l.], 2019. DOI 10.1080/03650340.2019.1566954. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566954>. Acesso em: 11 jan. 2023.

ZAHEER, M. S. *et al.* Cytokinin Production by *Azospirillum brasilense* Contributes to Increase in Growth, Yield, Antioxidant, and Physiological Systems of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 13, 2022a. DOI 10.3389/fmicb.2022.886041. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.886041/full>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ZAHEER, M. S. *et al.* Improving Sustainable Field-Grown Wheat Production With *Azospirillum brasilense* Under Tropical Conditions: A Potential Tool for Improving Nitrogen Management. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 10, 2022b. DOI 10.3389/fenvs.2022.821628. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.821628/full>. Acesso em: 2 jan. 2023.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, RS, Brasil, v. 1, p. 275-318, 1993.

ZANETTINI, J. L.; PUENTE, M. **Inoculación foliar con *Azospirillum brasilense* en trigo**. 35. ed. Buenos Aires, Argentina: INTA, 2017. 3 p. v. 10.

ZHANG, D. D. *et al.* Novel screening strategy reveals a potent *Bacillus* antagonist capable of mitigating wheat take-all disease caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. **Letters in Applied Microbiology**, [s. l.], v. 65, p. 512-519, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28977681/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ZHENG, L. *et al.* Identification of a Novel *Alternaria alternata* Strain Able to Hyperparasitize *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the Causal Agent of Wheat Stripe Rust. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 8, ed. 71, 2017. DOI 10.3389/fmicb.2017.00071. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.00071/full>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ZOLDAN, S. M.; BARCELLOS, A. Postulação de genes (Lr) de resistência à ferrugem da folha em cultivares brasileiras de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, 2002.