



**TRATAMENTO QUÍMICO DE SEMENTES DE TRIGO E INOCULAÇÃO DE
AZOSPIRILLUM BRASILENSE NO ESTABELECIMENTO DAS PLÂNTULAS**

*CHEMICAL TREATMENT OF WHEAT SEEDS AND INOCULATION OF
AZOSPIRILLUM BRASILENSE IN THE ESTABLISHMENT OF SEEDLINGS*

Patrícia Bertoncelli

Universidad de la Republica, Uruguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8502-4439>
E-mail: pb.zootecnia@hotmail.com

Fernando Sintra Fulaneti

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6074-7873>
E-mail: fernando.sintrafulaneti@gmail.com

Vinicius dos Santos Cunha

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMA, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8022-6821>
E-mail: viniciuscunha@unipampa.edu.br

Matheus Martins Ferreira

Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4555-7852>
E-mail: math.ferreira10@yahoo.com.br

Jessica Deolinda Leivas Stecca

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2939-1389>
E-mail: jessica.stecca@yahoo.com.br

Thomas Newton Martin

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4549-3980>
E-mail: martin.ufsm@gmail.com

Submetido: 5 jun. 2023.

Aprovado: 10 jul. 2023.

Publicado: 20 jul. 2023.

E-mail para correspondência:

martin.ufsm@gmail.com

Resumo: A qualidade de sementes é fundamental para obtenção de um estande de plântulas uniforme e com maior capacidade de resistir às adversidades no estabelecimento da lavoura. Tecnologias de proteção e nutrição de plantas são aplicadas via tratamento de sementes, contudo pode ocorrer incompatibilidade dos produtos utilizados. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a manutenção da qualidade fisiológica, o desenvolvimento e o estabelecimento inicial de cultivares de trigo submetidas ao tratamento químico das sementes e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em trifatorial com quatro repetições. Foram avaliados quatro cultivares, tratamento químico de sementes e inoculação com *A. brasilense*. Os testes realizados foram vigor, germinação, comprimento e massa seca de raiz, parte aérea e total. A *A. brasilense* no tratamento de sementes com fungicida e inseticida garante a manutenção da qualidade fisiológica no crescimento e desenvolvimento inicial da plântula, estando essa resposta relacionada a cultivar.

Palavras-chave: Bactéria diazotrófica. Fungicida. Inseticida. *Triticum aestivum* L.

Abstract: The quality of seeds is fundamental to obtain a uniform seedling stand with greater capacity to withstand adversities in establishing the crop. Plant protection and nutrition technologies are applied via seed treatment, however incompatibility of the products used may



occur. The objective of this research was to evaluate the maintenance of the physiological quality, the development and initial establishment of wheat cultivars submitted to the chemical treatment of seeds and inoculation with *Azospirillum brasilense*. The design was completely randomized, in trifactorial with four replications. Four cultivars, chemical seed treatment and inoculation with *A. brasilense* were evaluated. The tests performed were vigor, germination, length and dry mass of root, shoot and total. The *A. brasilense* in the treatment of seeds with fungicide and insecticide guarantees the maintenance of the physiological quality in the initial growth and development of the seedling, being this response related to cultivar.

Keywords: Diazotrophic bacteria. Fungicide. Insecticide. *Triticum aestivum* L.

Introdução

O nitrogênio (N) é o macronutriente mais limitante na produtividade do trigo, pois determina o número de afilhos, formação dos nós e início do alongamento do colmo ^(1,2). É um dos nutrientes necessários em maior quantidade para as funções fisiológicas da planta, fazendo parte de nucleosídeos de fosfato e aminoácidos que compõe a estrutura dos ácidos nucleicos e das proteínas⁽³⁾. Contudo, devido ao custo elevado da fertilização com esse nutriente e a necessidade de aumentar a produção de alimentos com sustentabilidade econômica e ambiental tem-se adotado novas tecnologias que possam mitigar parcialmente a necessidade de N das plantas. Uma dessas é a utilização dos recursos biológicos do solo, como as bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV).

As BPCV fixam N para a planta, produzem hormônios de crescimento como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno ^(4,5), estimulando o desenvolvimento da planta. Favorecem maior desenvolvimento do sistema radicular, possibilitando explorar maior volume de solo e, portanto, promovendo vantagens em relação a demanda de nutrientes e água ⁽⁶⁾. Possuem capacidade de solubilizar fosfato e promover indução de resistência sistêmica a estresses ambientais e doenças ^(7,8). Além disso, o N fornecido pelo processo de fixação biológica possui vantagens por ser menos propenso a lixiviação e volatilização, sendo uma alternativa de baixo custo e ambientalmente sustentável. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a conversão de N gasoso (N₂) em outras formas químicas nitrogenadas promovidas por alguns organismos, que empregam o N fixado na biossíntese de proteínas e ácidos nucleicos ⁽³⁾.

Nas culturas do trigo e milho, a inoculação com a bactéria *Azospirillum spp.* proporcionam acréscimos de 18% e 10%, respectivamente na produção de grãos comparado a não utilização da bactéria ^(9,10). No entanto, pode haver interações da bactéria com as cultivares, tipos e pH de solo e tratamento fitossanitário das sementes ^(11,12).



A inoculação com BPCV geralmente é realizada juntamente com o tratamento químico de sementes (TS), o que pode afetar a sobrevivência das bactérias devido a incompatibilidade entre bactéria e produtos químicos empregados no TS, podendo comprometer seus benefícios ⁽¹³⁾. Todavia, a utilização de TS se tornou uma prática indispensável, pois além de assegurar o estabelecimento da cultura, mediante o controle de patógenos transmitidos pela mesma, reduz ou previne a introdução e a disseminação destes na lavoura.

A cultura do trigo é susceptível a doenças sendo algumas veiculadas pelas sementes ⁽¹⁴⁾. Entre os vários fungicidas existentes para o TS tem-se a molécula triadimenol, do grupo dos triazóis, a qual proporciona resultados satisfatórios na sanidade de plântulas de trigo. Contudo, esta substância pode prejudicar o desenvolvimento inicial de plântulas de trigo, principalmente em relação ao comprimento de hipocótilo e parte aérea ⁽¹⁵⁾.

As pragas presentes no solo também podem causar redução no estande de plantas, pois consomem reservas das sementes, raízes e parte aérea das plantas. Para a maioria das pragas, a utilização do tratamento de sementes com inseticida protege as sementes, plântulas e suas reservas. Porém alguns inseticidas quando aplicados nas sementes podem reduzir a germinação e a sobrevivência das plântulas por estarem associados à formação de radicais livres, que ocorrem em resposta ao estresse exógeno produzidos pelos mesmos ⁽¹⁶⁾.

Portanto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade fisiológica, desenvolvimento e estabelecimento inicial das plântulas de sementes de trigo submetidas ao tratamento químico de sementes com fungicida, inseticida e inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum brasilense*.

Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizado no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em um trifatorial (4x2x2), sendo representado pelas combinações dos fatores cultivar de trigo, tratamento de semente e inoculação de *Azospirillum brasilense*. As cultivares utilizadas foram a TEC 10, TEC Frontale, BRS 327 e TBIO Pioneiro. A caracterização inicial das sementes das cultivares está apresentada na tabela 2. Sobre as sementes foram aplicados quatro tratamentos descritos na tabela 1.

**Tabela 1. O experimento possuem estes tratamentos nas cultivares de trigo**

| Tratamentos |
|--|
| Testemunha sem aplicação de produtos químicos ou biológicos (TEST) |
| Aplicação de inoculante (INO) a base de <i>Azospirillum brasilenses</i> |
| Aplicação do tratamento químico de sementes (TS) composto por fungicida e inseticida |
| Aplicação de inoculante + aplicação do tratamento químico de sementes (INO+TS) |

Fonte: Dos autores (2017).

A aplicação do tratamento de sementes (fungicida e inseticida) foi realizada sete dias antes da implantação do experimento, enquanto que a inoculação foi realizada seis horas antes. No tratamento de sementes foram utilizados IMIDACLOPRIDO 150 g L⁻¹ + TIODICARBE 450 g L⁻¹ e TRIADIMENOL 150 g L⁻¹, ambos na dose de 300 ml para 100 kg de sementes. A inoculação foi realizada com inoculante contendo bactérias *Azospirillum brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6 na concentração de 2,0 x 10⁸ UFC ml⁻¹, na dose de 100 ml para 25 kg de sementes.

Após a aplicação dos tratamentos, foram realizados os seguintes testes: vigor (primeira contagem) (VG), germinação (plântulas normais) (G), plantas anormais (AN), plantas mortas (MO)⁽¹⁷⁾, comprimento de raiz (RA), parte aérea (PA) e total (CT), massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSA) e total⁽¹⁸⁾ e a emergência em canteiro (EC).

Os testes de vigor e germinação foram conduzidos em papel germiteste umedecidos com água destilada a 2,5 vezes a massa do papel seco. As unidades experimentais foram constituídas por 50 sementes distribuídas equidistantes sobre o papel germiteste e então foram acondicionadas em germinador tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.) regulado a temperatura de 20°C e fotoperíodo constante. As avaliações do vigor e germinação foram realizadas no quarto e sétimo dia após a semeadura, respectivamente, e os resultados expressos em número de plântulas (normais, anormais e sementes mortas)⁽¹⁷⁾.

Para o teste de comprimento de raiz, parte aérea e comprimento total das plântulas, a unidade experimental foi formada por vinte sementes distribuídas de forma equidistante sobre papel germiteste umedecido com 2,5 vezes a massa do papel seco, e acondicionadas em BOD regulado a temperatura de 20°C e fotoperíodo constante. A avaliação do comprimento das plântulas (raiz, parte aérea e total) foi realizada no sétimo dia após a semeadura, em 15 plântulas normais retiradas aleatoriamente, onde foram medidas com o auxílio de uma régua milimétrica e os resultados expressos em centímetros.

A fitomassa seca de plântulas foi determinada a partir das 15 raízes e epicótilos das plântulas utilizadas no teste de comprimento de plântulas. Essas foram colocados em sacos de papel e mantidos em estufa regulada a 60°C por 48 horas. Após foram colocados em dessecador por quinze



minutos para a estabilização da massa e então foi determinada a fitomassa em balança analítica de precisão.

A avaliação da emergência de plântulas foi avaliada em ensaio conduzido em canteiros preenchidos com solo, utilizando-se os mesmos tratamentos descritos anteriormente. O solo utilizado é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico ⁽¹⁹⁾. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a unidade experimental (UE) formada por uma fileira de um metro, onde foram semeadas 50 sementes. Cada UE foi separada por 15 centímetros uma da outra. A avaliação foi realizada sete dias após a semeadura.

Os dados foram testados para atendimento às pressuposições do modelo matemático e então submetidos a análise de variância (teste F). As médias foram submetidas à procedimentos complementares de acordo com as respostas apresentadas pela interação. As médias foram separadas pelo teste de Scott– Knott em nível de 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software estatístico Sisvar® ⁽²⁰⁾.

Resultados e Discussões

A caracterização inicial das sementes das cultivares TEC 10, Tbio Pioneiro e TEC Frontale atendem o padrão mínimo de 80% de germinação para a comercialização, segundo a Instrução Normativa n. 45 ⁽²¹⁾. A cultivar BRS 327, mesmo sendo adquirida em empresa idônea e sendo considerada semente, apresentou valores de germinação inferiores ao preconizado pela Instrução Normativa, assim como apresentou uma quantidade de sementes anormais e mortas superiores às demais cultivares (Tabela 2).

As demais características avaliadas das sementes viáveis estão próximas dos valores médios das outras cultivares. Dessa forma, a comparação entre as cultivares é limitada, pois além do efeito genético existem condições de qualidade individual dos cultivares avaliados. Contudo, percebe-se que os cultivares TEC 10 e Tbio Pioneiro possuem o melhor vigor das sementes e, por conseguinte, melhores germinações.



Tabela 2. Caracterização inicial das cultivares representadas pelas variáveis, plântulas vigorosas (VG, %), germinação (G, %), plântulas anormais (AN, %), plântulas mortas (MO, %), comprimento da parte aérea da plântula (PA, cm), comprimento da raiz da plântula (RA, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSA, g) e massa seca da raiz (MSR, g).

| Cultivares | VG | G | AN | MO | PA | RA | CT | MSA | MSR |
|---------------|-------|------|------|------|-------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| TEC 10 | 76 a* | 95 a | 1 b | 5 b | 8,6 ^{ns} | 11,6 b | 20,3 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,05 ^{ns} |
| BRS 327 | 37 c | 76 c | 12 a | 13 a | 10,9 | 10,9 b | 21,9 | 0,08 | 0,06 |
| TBio Pioneiro | 75 a | 92 a | 1 b | 8 b | 10,3 | 13,1 a | 23,4 | 0,06 | 0,06 |
| TEC Frontale | 66 b | 88 b | 5 b | 8 b | 9,6 | 10,4 b | 20,1 | 0,07 | 0,05 |
| Média | 70,5 | 90 | 3 | 8 | 9,9 | 11,3 | 21,1 | 0,06 | 0,05 |
| CV | 17,0 | 6,3 | 64 | 43 | 6,5 | 7,2 | 6,2 | 5,1 | 11,0 |

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott-Knott; ns: não significativo pelo teste F; CV: Coeficiente de Variação

Fonte: Dos autores (2017).

Para as variáveis VG, PA, RA, CT e MSR interação tripla significativa (cultivares x inoculação x tratamento de sementes) foi observada entre os tratamentos. Já para G, MO e MSA as interações duplas foram significativas. Para as demais variáveis foi necessário o estudo dos efeitos principais, pois não houve interação significativa entre os fatores avaliados (Tabela 3).

O vigor (primeira contagem) na cultivar TBio Pioneiro apresentou as maiores médias quando comparada a todos os tratamentos da BRS 327, aos tratamentos com TS da TEC 10 e ao tratamento somente com TS da TEC Frontale (Tabela 4). Por tanto, a aplicação do inoculante com bactérias de *A. brasilense* na variável primeira contagem da germinação apresentou interação com as cultivares e com os tratamentos de sementes. Em trabalho realizado por Pinto ⁽³¹⁾, diferenças significativas no vigor das sementes de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas não foram encontradas. Já Raja, Anandham e Sivasubramaniam ⁽³²⁾, obtiveram também maior vigor de sementes de trigo quando inoculadas com *Azospirillum*.

Quanto ao VG, PA, RA e CT observa-se que quando da aplicação de tratamento de semente houve redução nessas variáveis indicando uma incompatibilidade deste tratamento em relação as cultivares e a inoculação (Tabela 4). A diminuição do VG em sementes tratadas pode estar relacionada com a formação de radicais livres, que se formam em resposta ao estresse exógeno produzido por inseticidas ⁽¹⁶⁾. Os radicais livres proporcionam a modificação oxidativa de proteínas, lesões no DNA e peroxidação de lipídeos de membrana, o que pode afetar o desenvolvimento inicial das plântulas ^(22, 23). Além disso, a redução do vigor pode estar relacionada a danos nas membranas da mitocôndria, os quais ocasionam redução da respiração aeróbica e da produção de ATP, que são



indicadores da intensidade de respiração e disponibilidade de energia para o processo de germinação ⁽²³⁾.

Fatores que podem ter influenciado diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Em relação a PA, trabalho realizado por Abati ⁽²⁴⁾, utilizando o mesmo fungicida e inseticida deste estudo também obtiveram redução do PA e por consequência do CT dessas. Redução que pode ter ocorrido devido ao atrofiamento deste órgão pelo efeito do tratamento com o triadimenol ⁽²⁵⁾.

O RA apresentou diferenças significativas entre as cultivares, apenas na ausência do tratamento de sementes, onde as médias foram significativamente maiores para todas as cultivares (Tabela 4). Nessas situações as sementes apresentaram apenas o seu efeito genético, sem haver a interferência negativa do estresse causado pela presença do tratamento químico. As médias dentro de cada cultivar demonstram que não se utilizando o tratamento químico de sementes os valores foram maiores para todas as cultivares, resultados estes que também foram observados por Rampim et al. (2012) que constataram que tratamentos contendo fungicida do grupo dos triazóis apresentam diminuição no comprimento de raiz e total.

Ao comparar-se o tratamento de sementes com e sem inoculação, percebe-se que em geral a presença do inoculante garante a manutenção da qualidade fisiológica (em três das quatro cultivares – TEC 10, BRS327 e TBIO Pioneiro) em relação ao tratamento realizado exclusivamente com inseticida e fungicida. Além de aumentar o VG das sementes da TEC Frontale e proporcionar aumento do PA da cultivar BRS 327 quando se utiliza TS. Isso demonstra que em situações de estresse (presença de radicais livres) a inoculação auxilia no desenvolvimento das plântulas. Contudo, os resultados encontrados variam entre as cultivares.

Em trabalho desenvolvido por Rampim ⁽²⁶⁾, a inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou menores valores de comprimento da parte aérea, hipocótilo, raiz. Já Alves, de Francisco e de Carvalho ⁽²⁷⁾ obtiveram maior comprimento total de planta com a aplicação de *Azospirillum* até a dose de 80 kg N ha⁻¹.



Tabela 3. Resumo da análise de variância com as fontes de variação (FV), bloco, cultivares (CVS), inoculação (INO), tratamento de sementes (TS) e interações, graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM), nível mínimo significativo (PR>F), para as variáveis plantas vigorosas (VG, %), germinação (G, %), plantas anormais (AN, %), plantas mortas (MO, %), comprimento da parte aérea da plântula (PA, cm), comprimento da raiz da plântula (RA, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSA, g), massa seca da raiz (MSR, g) e emergência de plantas no canteiro (EC, %). UFSM, Santa Maria (RS), 2017.

| FV | GL | QM | | | | | | | | | |
|----------------|----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | | VG | G | NA | MO | PA | RA | CT | MSA | MSR | EC |
| Bloco | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 71,2 ² |
| A ¹ | 3 | 2888,1* | 966,8* | 374,7* | 140,2* | 5,2* | 6,4* | 9,2* | 0,001* | 0,001* | 784,8* |
| C | 1 | 25,0 | 9,0 | 7,5 | 33,0 | 0,1 | 0,7 | 0,2 | 0,001 | 0,001* | 473,1* |
| D | 1 | 18632,2* | 930,3* | 60,0* | 517,5* | 215,7* | 153,7* | 733,8* | 0,002* | 0,001* | 3,1 |
| A*C | 3 | 292,5* | 106,2* | 8,0 | 74,3* | 0,9* | 0,9 | 2,1 | 0,001 | 0,001* | 25,6 |
| A*D | 3 | 455,1* | 33,8 | 16,2 | 14,2 | 1,5* | 6,1* | 8,7* | 0,001* | 0,001* | 92,8 |
| C*D | 1 | 156,3 | 2,3 | 10,5 | 3,1 | 0,0 | 1,3 | 1,5 | 0,001 | 0,001* | 52,5 |
| A*C*D | 3 | 212,1* | 37,4 | 14,0 | 7,7 | 3,9* | 1,7* | 10,3* | 0,001 | 0,001* | 95,7 |
| Média | | 45,3 | 84,0 | 5,6 | 10,3 | 8,0 | 9,7 | 17,8 | 0,06 | 0,05 | 76,7 |
| CV(%) | | 18,4 | 6,5 | 64,9 | 43,8 | 6,6 | 8,1 | 5,7 | 12,90 | 18,5 | 12,7 |

*significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. ¹ A é o fator cultivar, C fator Inoculação e D tratamento de sementes. ² para emergência no canteiro o delineamento utilizado foi de blocos ao acaso e para as demais para as demais variáveis utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. Fonte: Dos autores (2017).

Tabela 4. Média da interação tripla das diferentes cultivares de trigo, com ou sem aplicação da inoculação e com e sem aplicação do tratamento químico de sementes para as variáveis vigor primeira contagem (VG, %), comprimento da parte aérea da plântula (PA, cm), comprimento da raiz da plântula (RA, cm), comprimento total da plântula (CT, cm) e massa seca da raiz (MSR, g)

| | Com inoculação | | Sem inoculação | |
|---------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | Com TS | Sem TS | Com TS | Sem TS |
| VG | | | | |
| TEC 10 | α 14 bB* | β 63 aA** | α 24 bB | α 75 aA |
| BRS 327 | α 12 bB | α 49 bA | α 12 cB | β 37 bA |
| TBio Pioneiro | α 52 aB | α 72 aA | α 41 aB | α 75 aA |
| TEC Frontale | α 43 aB | α 61 aA | β 26 bB | α 65 aA |
| PA | | | | |
| TEC 10 | α 5,05 dB | α 9,71 bA | α 5,77 bB | β 8,65 cA |
| BRS 327 | α 7,64 aB | β 9,08 bA | β 6,83 aB | α 10,96 aA |
| TBio Pioneiro | α 6,52 bB | α 10,21 aA | α 6,19 bB | α 10,30 aA |
| TEC Frontale | α 6,03 cB | α 10,83 aA | α 5,98 bB | β 9,64 bA |
| RA | | | | |
| TEC 10 | α 7,71 aB | α 12,50 aA | α 7,50 aB | α 11,65 bA |
| BRS 327 | α 8,23 aB | β 9,59 bA | α 7,85 aB | α 10,94 bA |
| TBio Pioneiro | α 8,89 aB | β 11,82 aA | α 8,47 aB | α 13,14 aA |
| TEC Frontale | α 8,05 aB | α 10,19 bA | α 8,74 aB | α 10,41 bA |
| CT | | | | |
| TEC 10 | α 12,76 bB | α 22,21 aA | α 13,28 bB | β 20,30 cA |
| BRS 327 | α 15,88 aB | β 18,68 bA | α 14,69 aB | α 21,91 bA |
| TBio Pioneiro | α 15,41 aB | β 22,04 aA | α 14,66 aB | α 23,44 aA |
| TEC Frontale | α 14,08 bB | α 21,03 aA | α 14,73 aB | α 20,05 cA |
| MSR | | | | |
| TEC 10 | α 0,04 Ca | α 0,05 aA | α 0,05 aA | α 0,05 aA |
| BRS 327 | α 0,07 bA | α 0,06 aA | α 0,06 aA | α 0,06 aA |
| TBio Pioneiro | α 0,11 Aa | α 0,06 aB | β 0,06 aA | α 0,06 aA |
| TEC Frontale | α 0,05 Ca | α 0,06 aA | α 0,05 aA | α 0,05 aA |

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott-Knott. **Letras maiúsculas apresentadas na linha representam a interação tratamento de sementes dentro dos tratamentos da inoculação e cultivares analisadas. As letras gregas (α e β) apresentadas nas células de mesma combinação antes do valor das médias representam a interação da inoculação dentro dos tratamentos de sementes e cultivares analisadas (ex: α 14 x α 24). Letras minúsculas apresentadas na coluna após o valor das médias representam a interação das cultivares dentro dos tratamentos da inoculação e tratamento de sementes.

Fonte: Dos autores (2017).



A interação tripla para a variável MSR apresentou as maiores médias para todos os tratamentos utilizados para a cultivar TBio Pioneiro. Já quando utilizada a inoculação com o tratamento de sementes houve variação entre as cultivares, sendo que a cultivar TBio Pioneiro apresentou a maior média demonstrando ser a mais responsiva à inoculação para essa variável. Em trabalho de Feldmann ⁽¹¹⁾ com diferentes cultivares de trigo observaram-se respostas semelhantes, atribuindo-se a esse fato uma possível liberação diferenciada de exudatos pelas diferentes cultivares ⁽¹¹⁾. Quanto ao tratamento de sementes para a variável MSR, a interação tripla apresentou diferença apenas para a cultivar TBio Pioneiro sendo que sem tratamento de sementes e com inoculação a média da interação foi menor (Tabela 4).

A interação dupla significativa entre as cultivares e a utilização da inoculação para as variáveis G, MO variam conforme a cultivar (Tabela 5). O que demonstra que as características genéticas das cultivares influenciam na associação das bactérias presentes no inoculante e a planta. Isso ocorre pelo fato da colonização das raízes estarem associadas à liberação de exsudatos da planta, que são determinados por fatores genéticos ^(28,29). A inoculação diminuiu a porcentagem de sementes mortas para as cultivares TBio Pioneiro e TEC Frontale, inferindo que a inoculação pode manter a viabilidade das sementes germinarem (Tabela 5). Fato que pode contribuir para esse menor número de sementes mortas é pela capacidade das bactérias de *Azospirillum* reduzir a contaminação por fungos nas sementes ⁽³⁰⁾.

Entre as diferentes cultivares e o tratamento de sementes para a variável MSA, a utilização do tratamento de sementes proporcionou uma diminuição das médias devido à formação de radicais livres pelo estresse causado principalmente pelos inseticidas (Tabela 5). Esses radicais livres modificam a formação das proteínas, causando lesões no DNA e peroxidação de lípidos reduzindo o desenvolvimento da planta proporcionando menor massa seca de parte aérea ⁽²²⁾. Ao observar as diferentes cultivares dentro do tratamento sem a aplicação do tratamento de sementes, observa-se que existe variabilidade entre as cultivares. E quanto ao tratamento de sementes mantêm-se a variabilidade de cada cultivar devido ao estresse fitotóxico dado pelo inseticida e fungicida.

Para a porcentagem de plantas anormais, observou-se que as cultivares apresentaram diferenças significativas, demonstrando que existe variabilidade entre as mesmas (Tabela 5). A cultivar que apresentou maior porcentagem de plantas anormais obteve média de 12%, indicando menor qualidade fisiológica das sementes. Essa variação pode estar relacionada com as características genéticas da cultivar. Para a emergência de plântulas em canteiro houve efeito significativo para as diferentes cultivares testadas, sendo que a cultivar TBio Pioneiro apresentou a



maior média com 85%. Já quando é comparado o efeito do tratamento de sementes no número de plantas anormais, observa-se que a utilização desse compromete a normalidade das sementes. Enquanto que a presença de inoculante garante uma maior emergência de plantas em canteiros.

Tabela 5. Média da interação das diferentes cultivares de trigo com ou sem a aplicação da inoculação, interação das diferentes cultivares de trigo com e sem a aplicação do tratamento de sementes para as variáveis germinação (G, %), plantas mortas (MO, %), massa seca da parte aérea (MSA, g), plântulas anormais (AN), percentual de emergência no canteiro (EC)

| | Cultivares | | | |
|--------------------|------------|----------|----------------|--------------|
| | TEC 10 | BRS 327 | TBio Pioneiro | TEC Frontale |
| G | | | | |
| Sem inoculação | 90 aA* | 73 aB** | 87 aA | 83 aA |
| Com inoculação | 84 bB | 72 aC | 91 aA | 89 aA |
| MO | | | | |
| Sem inoculação | 7 aA | 14 aA | 10 aA | 11 aA |
| Com inoculação | 10 aB | 15 aA | 6 bC | 6 bC |
| MAS | | | | |
| Sem TS | 0,064 aB | 0,075 aA | 0,066 aB | 0,074 aA |
| Com TS | 0,049 bB | 0,069 aA | 0,061 aA | 0,052 Bb |
| Efeitos principais | | | | |
| NA | | | | |
| | 3 b* | 12 a | 2 b | 4 b |
| EC | | | | |
| | 77 b | 69 b | 85 a | 74 b |
| AN | | | | |
| Sem TS | 4 b | | Sem inoculação | 74 b |
| Com TS | 6 a | | Com inoculação | 79 a |

*Médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott-Knott. **Letras maiúsculas apresentadas na linha representam a interação entre as cultivares e os tratamentos da inoculação e a interação entre as cultivares e os tratamentos de sementes. Letras minúsculas apresentadas na coluna representam a interação entre as cultivares e os tratamentos da inoculação e a interação entre as cultivares e os tratamentos de sementes.

Fonte: Dos autores (2017).

A utilização da inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum* proporcionou maior número de plantas emergidas, fato que ocorre devido à capacidade das bactérias em promover o crescimento das plantas, pois produzem fitohormonas que estimulam o desenvolvimento como o AIA (ácido indolil 3-acético) e giberelinas que possuem elevada importância em situações de estresse ⁽⁷⁾. Deve-se considerar que na emergência em campo não foi verificada a redução da germinação pelo tratamento químico de sementes, devido ao ambiente interagir com os produtos químicos (inseticidas e fungicidas) diluindo o estresse causado pelo contato direto entre as sementes e os produtos que poderiam estar em alta concentração no tegumento da semente. O estímulo ao crescimento possui importância em situações de campo onde as plantas ficam mais susceptíveis ao estresse, principalmente o hídrico, e dessa forma as hormonas produzidas pelas bactérias intensificam o crescimento das raízes e dos pelos radiculares na procura de água e nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, contribuindo também para o equilíbrio hormonal ⁽³³⁾.



Considerações Finais

A aplicação de *Azospirillum brasilense* no tratamento de sementes com fungicida e inseticida garante a manutenção da qualidade fisiológica no crescimento e desenvolvimento inicial da plântula, estando essa resposta relacionada com a cultivar utilizada.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão de bolsas de pesquisas aos membros da equipe.

Referências

- 1 Manna MC, Subba Rao A, Mandal A. Maintenance of soil biological health under different crop production systems. *Indian Journal Soil Conservation*. 2013;41(2):127-135.
- 2 Allart K, Almoussawi A, Kerbey, L, et al. Splitting Nitrogen Fertilization Is More Important than Nitrogen Level When Mixed Wheat Varieties Are Cultivated in a Conservation Agriculture System. *Agronomy*. 2023;13(5):1295. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051295>
- 3 Taiz L, Zeiger E, Moller I, Murphy A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- 4 Orozco-Mosqueda MDC, Santoyo G, Glick, BR. Recent advances in the bacterial phytohormone modulation of plant growth. *Plants*. 2023;12(3):606. <https://doi.org/10.3390/plants12030606>
- 5 Kudoyarova G, Arkhipova T, Korshunova T, et al. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Fronteiras em ciência das plantas*. 2019;10:1368. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368>
- 6 Puente ML, Zawoznik M, de Sabando, ML, et al. Improvement of soybean grain nutritional quality under foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* strain Az39. *Symbiosis*. 2018;77:1-7. <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0568-x>
- 7 Fukami J, Cerezini P, Hungria, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*. 2018;8(1):73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>



8 Rafi MM, Krishnaveni MS, Charyulu, PBBN. Microrganismos solubilizadores de fosfato e seu papel emergente na agricultura sustentável. In: Desenvolvimentos Recentes em Microbiologia Aplicada e Bioquímica . Academic Press; 2019. p. 223-233. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00017-9>

9 Cassán F, Diaz-Zorita, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. Soil Biology and Biochemistry. 2016;103:117-130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>

10 Karimi N, Zarea MJ, Mehnaz, S. Endophytic *Azospirillum* for enhancement of growth and yield of wheat. Environmental Sustainability. 2018;1:149-158.

11 Feldmann NA, Bredemeier C, Hahn L. Wheat cultivars submitted to seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen application in different environments. Científica. 2018;46(1):95-100. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n1p95-100>

12 Stecca JDL, Martin TN, Lúcio ADC, et al. Inoculation of soybean seeds coated with osmoprotector in diferents soil pH's. Acta Scientiarum. Agronomy. 2018;41: e39482.

13 Vogel GF, Fey, R. . *Azospirillum brasilense* interaction effects with captan and thiodicarb on the initial growth of corn plants. Revista de Agricultura Neotropical. 2019;6(3):53-59. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i3.3133>

14 Ulzijjargal E, Gorgo YP, Skorochood IO. Detection of seedborne mycoflora in wheat. International Journal of Innovative Science and Research Technology. 2019;4(10):532-536.

15 Ludwig RL, Martin TN, Stecca JDL, et al. Action specificity of chemical treatment and inoculation with *Azospirillum brasilense* in wheat seed on the crop initial growth. Revista Ceres. 2018; 65(5): 407-414. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865050005>

16 dos Santos Soares AM, Machado OLT. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. Revista Trópica. 2007; 1(1): 9-19, 2007.

17 Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

18 Nakagawa J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: KRZYZANOWSKI FC, VIEIRA R, D, França-Neto JB. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999.

19 Dos Santos HG, Jacomine PKT, Dos Anjos LHC, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

20 Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia. 2021;35:1039-1042.



- 21 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 45, Brasília, MAPA, 2013.
- 22 Dan LGDM, Dan HDA, Piccinin GG, et al. Tratamento de sementes com inseticida e a qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Caatinga*. 2012; 25(1):45-51.
- 23 Mhamdi A, Van Breusegem, F. Espécies reativas de oxigênio no desenvolvimento de plantas. *Desenvolvimento*. 2018; 145(15):1-12. <https://doi.org/10.1242/dev.164376>
- 24 Abati J, Zucareli C, Foloni JSS, et al. Treatment with fungicides and insecticides on the physiological quality and health of wheat seeds. *Journal of Seed Science*. 2014; 36(4):392-398. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n41006>
- 25 Forcelini CA. Trigo: a importância do tratamento de sementes. *Correio Agropecuário*. 1991; 1(1):2-5.
- 26 Rampim L, Rodrigues-Costa ACP, Nacke H, et al. Qualidade fisiológica de sementes de três cultivares de trigo submetidos à inoculação e diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Sementes*. 2012; 34(4):78-685. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400020>
- 27 de Paula Alves SR, de Francisco ALO, de Carvalho TC. *Azospirillum brasilense* e nitrogênio: atuação no potencial fisiológico de sementes de trigo. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*. 2017; 10(2):43-51. 10.5935/PAeT.V10.N2.04
- 28 Kuzmicheva YV, Shaposhnikov AI, Petrova SN, et al. Variety specific relationships between effects of rhizobacteria on root exudation, growth and nutrient uptake of soybean. *Plant and Soil*. 2017; 419, (1-2): 83-96. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3320-z>
- 29 Li B, Li YY, Wu HM, Zhang FF, et al. Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N₂ fixation. *Proceedings of the national Academy of Sciences*. 2017; 113(23):6496-6501. <https://doi.org/10.1073/pnas.152358011>
- 30 López-Reyes L, Carcaño-Montiel MG, Lilia TL, et al. Antifungal and growth-promoting activity of *Azospirillum brasilense* in *Zea mays* L. ssp. mexicana. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2017;50(13-14):727-743.
- 31 Pinto MAB, Nunes UR, Fipke GM. Germinação de trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* sob distintos pHs da água de embebição. *Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*. 2017;26(4):694-704. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n4p694-704>
- 32 Raja K, Anandham R, Sivasubramaniam K. Seed and seedling vigour improvement through seed infusion with liquid microbial consortia in sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Research on Crops*. 2019;20(3): 652-660. 10.31830/2348-7542.2019.096



33 Deak EA, Martin TN, Fipke GM, et al. Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. *Australian Journal of Crop Science*. 2019;13(8):327. 10.21475/ajcs.19.13.08.p1739



10.31072/rcf.v14i2.1304

Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



BY

Open Access