

O trigo do Cerrado brasileiro sob cinco restrições hídricas

O Cerrado brasileiro apresenta uma certa previsibilidade em relação a pluviosidade, caracterizando-se em dois períodos: um chuvoso e outro seco. A oferta de água e seu consumo se tornam relevantes, para os diversos cultivos, isso porque a água é o principal preditor do desenvolvimento vegetal. A cultura do trigo surge como alternativa para produção no Brasil central, sendo importante sua adaptabilidade e eficiência nas condições do ambiente. O objetivo do trabalho foi submeter três cultivares de trigo, BRS264, BRS394, BRS404, indicadas para região central do Brasil, submetidas à cinco tensões hídricas: 12; 24; 36; 48 e 60kPa; em casa de vegetação, dispostos em vasos sob o delineamento em blocos ao acaso, esquema fatorial (5X3), com cinco repetições. O Monitoramento das irrigações foi a partir da leitura do sensor de capacitância (modelo- ML3, Delta T). As características avaliadas foram altura de plantas, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e índice de colheita. As cultivares BRS394 e BRS264 possuem as melhores respostas para as variáveis: altura de plantas, número de espiguetas por espiga e índice de colheita, em relação a cultivar BRS404 que demonstra menor adaptabilidade sob deficiência hídrica, A tensão hídrica do solo de 12kPa obteve os melhores resultados em relação as outras tensões.

Palavras-chave: Umidade; Déficit hídrico; Irrigação; Triticum aestivum.

The Brazilian Cerrado wheat under five water restrictions

The Brazilian Cerrado presents a certain predictability in relation to rainfall, being characterized in two periods: a rainy and a dry one. The supply of water and its consumption become relevant for different crops, because water is the main predictor of plant development. The wheat crop appears as an alternative for production in central Brazil, its adaptability and efficiency under environmental conditions being important. The objective of this work was to submit three wheat cultivars, BRS264, BRS394, BRS404, indicated for the central region of Brazil, submitted to five water stresses: 12; 24; 36; 48 and 60kPa; in a greenhouse, arranged in pots under a randomized block design, factorial scheme (5X3), with five replications. The monitoring of irrigations was based on the reading of the capacitance sensor (model-ML3, Delta T). The characteristics evaluated were plant height, number of spikelets per spike, number of grains per spike and harvest index. Cultivars BRS394 and BRS264 have the best responses for the variables: plant height, number of spikelets per ear and harvest index, compared to cultivar BRS404 which shows less adaptability under water deficit. The soil water tension of 12kPa obtained the best results in relation to the other tensions.

Keywords: Humidity; Water deficit; Irrigation; Triticum aestivum.

Topic: **Experimentação Agrícola**

Received: **02/10/2021**

Approved: **25/10/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Paulo Otávio Aldaves dos Santos Guedes 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4165026582376177>
<http://orcid.org/0000-0001-8423-7715>
guedes131090@gmail.com

Tonny José Araújo da Silva 
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0651075688988405>
<http://orcid.org/0000-0002-6978-7652>
tonnyjasilva@hotmail.com

Carlos Caneppele 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7689840272452622>
<http://orcid.org/0000-0002-6678-371X>
caneppele@ufmt.br

Luana Glaup Araújo Dourado 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9248085209267530>
<http://orcid.org/0000-0002-5126-4650>
luana.dourado@hotmail.com

Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1178199581655499>
<http://orcid.org/0000-0003-2186-0678>
thiagocastanon@live.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0005

Referencing this:

GUEDES, P. O. A. S.; SILVA, T. J. A.; CANEPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; CASTAÑON, T. H. F. M.. O trigo do Cerrado brasileiro sob cinco restrições hídricas. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.10, p.47-55, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0005>

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro apresenta estabilidade no seu clima, principalmente em relação as chuvas, caracterizando-se em duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre outubro e abril, e uma estação seca, no período de maio a setembro, nesta a oferta e consumo de água tornam-se relevantes para produção vegetal.

O uso da água é variável e tem relação com as condições edafoclimáticas do local, do estado nutricional da planta e principalmente das adaptações dos vegetais. A quantificação da demanda hídrica pelos cultivos agrícolas é importante em estudos de manejo de irrigação, zoneamento agrícola, estimativas de produção e estudos hidrológicos em geral (LENA et al., 2011).

No Brasil, região do Cerrado, em trigo irrigado, a evapotranspiração variou de 345 a 385 mm para um ciclo de 98 e 101 dias, respectivamente (LUCHIARI JUNIOR et al., 1997). Em Rondonópolis – MT, o consumo de água do trigo através de lisímetro foi de 360 mm, com médias 2,87 mm.d⁻¹ e 4,10 mm.d⁻¹ para as cultivares BRS254 e BRS394 respectivamente (SILVA, 2021). O cultivo do trigo no Cerrado brasileiro tem a capacidade de produção de grãos de trigo de excelente qualidade para a indústria.

Porém, o déficit hídrico em alguns estádios de desenvolvimento afeta o cultivo do trigo, Frizzone et al. (1990) demonstraram maiores reduções no rendimento de grãos quando estresse hídrico ocorria entre o início do florescimento e a fase de grãos leitosos.

Em regiões do Mato grosso, a semeadura no início de maio proporciona condições climáticas para o cultivo do trigo irrigado (CORDEIRO et al., 2015), a irrigação é o principal fator que determina a produção agrícola no Cerrado durante o período da seca, devido a precipitação insuficiente. O cultivo em pivôs para produção de trigo é uma alternativa pois o referido estado possui uma área irrigada de 293 mil hectares (ANA, 2021).

O cultivo de trigo irrigado permite a quebra do ciclo de doenças e pragas exclusivas de plantas leguminosas. Portanto, objetivou-se submeter três cultivares de trigo, BRS264, BRS394, BRS404, indicadas para região central do Brasil, sob cinco condições específicas de restrições hídricas e identificar as cultivares que apresentam maior desenvolvimento das suas características nas condições submetidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na área experimental de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Cuiabá-MT, altitude de 165 metros, em ambiente protegido (casa de vegetação) nas coordenadas geográficas: 15°36' Latitude Sul e 56°3' Longitude Oeste. No laboratório do Núcleo de Tecnologia em Armazenagem da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da UFMT, foram feitas as análises laboratoriais. O experimento iniciou no dia 7 de julho e foi até 4 de novembro de 2020, com temperatura média de 28,5 °C e média de 47,6% de umidade relativa.

O solo utilizado no experimento foi o Latossolo Vermelho distrófico de textura franco arenosa

(SANTOS et al., 2018). A coleta do solo foi realizada na camada de 0-0,20m de profundidade em área anteriormente cultivada com trigo na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT) da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), peneirados em malha 4 mm e depois acondicionados em sacos plásticos de 14 dm³.

A saturação por bases foi de 74,68% com a aplicação de 1,6248 t ha⁻¹ de calcário filler (PRNT= 103%). As adubações de plantio foram realizadas aplicando-se 300 kg ha⁻¹ de N, 206 kg ha⁻¹ de K₂O e 472 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de ureia (NH₂CONH₂), cloreto de potássio (KCl), superfosfato simples (Ca(H₂PO₄) 2.H₂O + CaSO₄.2H₂O) e 100 kg ha⁻¹ FTE - BR12 (B= 1,8%; Cu= 0,8%; Fe= 3,8%; Mn= 2,0%; Mo= 0,1%), para fornecimento de micronutrientes. Os vasos eram de polipropileno com capacidade de 5 dm³, que foram preenchidos com o solo. Após, foi semeado 20 sementes das cultivares, BRS264, BRS404 e BRS394, nos vasos à cinco centímetros de profundidade de cada cultivar em cada vaso.

Para garantir a germinação, estabelecimento e desenvolvimento das plântulas, o solo foi mantido em sua capacidade de campo até completar 15 dias após a emergência das plantas; sete dias após a emergência foi realizado o desbaste dos vasos, deixando cinco plantas.

O delineamento foi o de blocos casualizados (DBC), composto por três cultivares (BRS264, BRS404 e BRS394) e cinco tensões hídricas: 12 kPa; 24 kPa; 36 kPa; 48 kPa e 60 kPa, esquema fatorial (3X5), com cinco repetições. Depois de 15 dias após a emergência foram iniciados os tratamentos e mantidos até o final do experimento. As leituras das variáveis de cada unidade experimental foram constituídas da média de três plantas retiradas em cada vaso.

O monitoramento das irrigações foi através da leitura do sensor de capacitância (modelo- ML3, Delta T) que estima a umidade através FDR (Reflectometria no domínio da frequência) em todos os vasos. As leituras indicadas pelo ML3 correspondem as tensões de 12, 24, 36, 48 e 60 kPa, obtidas por meio de calibração utilizando tensiômetros como sensores padrão (SILVÉRIO et al., 2017).

O controle diário da umidade do solo foi realizado inserindo o sensor na parte superior do vaso em três pontos diferentes para obter uma umidade volumétrica média. Através do software SWCR (DOURADO NETO et al., 2000) foi obtida a curva característica de retenção de água no solo, os dados foram ajustados ao modelo proposto por Van Genuchten (1980). Para o cálculo da reposição de água no vaso foi utilizada a equação 1:

$$\theta_v = \theta_m * d_s \quad (1)$$

Onde:

θ_m - umidade a base de massa em decimal que se deseja

θ_v - umidade a base de volume em decimal que se deseja

d_s - densidade do solo no vaso (1,2 mg/cm³)

Para o cálculo da massa do solo úmido foi utilizada a equação 2:

$$\theta_m = \text{msu} - \text{mss} / \text{mss} \quad (2)$$

Onde:

msu - Massa do solo úmido (kg)

mss - Massa do solo seco (kg)

Para o cálculo do volume de água desejado foi utilizada a equação 3:

$$\text{vad} = \text{msu} / d_s \quad (3)$$

Onde:

vad- o volume de água desejado

ds- densidade do solo no vaso

msu - Massa do solo úmido

Para encontrar a umidade atual repetem-se os mesmos cálculos e por diferença encontra-se a quantidade de água no solo para reposição e assim manter o nível de água de cada tratamento. O volume de reposição de água no solo é obtido através da equação 4:

$$vr = vad - vaa \quad (4)$$

Onde:

vr- Volume de reposição de água no solo (ml)

vad- Volume de água desejado (ml)

vaa- Volume de água atual (ml)

Quando o resultado do foi positivo realizou-se a reposição e quando negativo não foi realizada a reposição de água no solo. As plantas que apresentavam sintomas na folha de verde opaco, pouco turgor, tenras e folhas enroladas, logo nas primeiras horas da manhã, próximas ao ponto de murcha, retirava-se as plantas do tratamento presente e depois eram submetidas a tensão de umidade do solo em 12kPa até desaparecerem os sintomas de deficiência hídrica extrema e posteriormente retornando as mesmas aos seus tratamentos designados.

O controle de plantas invasoras foi através de arranque manual diário nos vasos. O controle dos percevejos, vaquinhas e trípes (*Frankliniella schultzei*) foi através de inseticidas a base de Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose de 370 ml i.a. ha⁻¹. Com a ocorrência da mancha-amarela (*Pyrenophora tritici-repentis*) e para prevenção do brusone (*Magnaporthe oryzae*) foram utilizados os fungicidas difenoconazol na dose de 275 ml i.a. ha⁻¹ e tebuconazole na dose de 160 ml i.a. ha⁻¹.

As variáveis analisadas foram avaliadas durante e após o ciclo da cultura; a altura de planta foi determinada através de uma trena, sendo medida a distância da superfície do solo até a extremidade superior da espiga, a partir da amostragem e debulha manual das espigas de cada vaso foi feita a contagem de espiguetas por espiga e número de grãos por espiga; depois foi feito o índice de colheita que foi obtido através da relação da produção de grãos e massa seca da parte aérea. Os dados foram submetidos ao quadro de ANOVA para o teste de Fisher, ocorrendo significância ($P < 0,05$), efetuou-se análise de regressão ($P < 0,05$) linear através dos polinômios ortogonais nos fatores quantitativos e teste médias de Tukey ($P < 0,05$) para fatores qualitativos. Foi utilizado o software R para análises estatísticas através do pacote ExpDes.pt versão 1.2.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de Fisher realizado na variável altura de plantas evidenciou não existir interação entre os fatores, porém existe efeito isolado de cada fator, que demonstra diferença significativa entre as cultivares pelo teste de Tukey, destacando a cultivar BRS 394 e BRS264, ambas pertencentes ao mesmo grupo com as maiores médias e diferindo da cultivar BRS 404. O efeito isolado da umidade foi demonstrado por uma regressão polinomial de segunda ordem que demonstra que a planta tende a ser mais alta com o incremento de umidade no solo em relação as menores umidades.

As menores alturas ocorreram a partir da tensão de umidade de 24kPa. Os resultados menores podem ser um reflexo da restrição de umidade nos estágios de alongamento da planta, pois nessa fase o estresse hídrico compromete o desenvolvimento da altura e do caule do trigo (SARTO et al., 2017).

Tabela 1: Médias da altura das plantas, em centímetros submetidas ao teste de Tukey para o efeito das cultivares.

| Cultivar | Altura de plantas (cm) |
|----------|------------------------|
| BRS 394 | 29,56 A |
| BRS 264 | 28,25 AB |
| BRS 404 | 26,55 B |

Médias seguidas da mesma letra (vertical) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

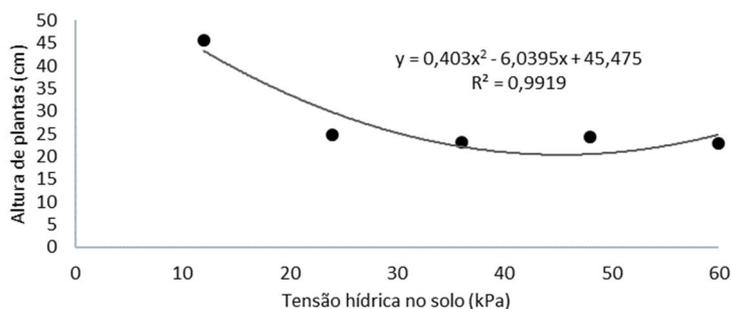


Figura 1: Altura média das plantas de trigo em centímetros, submetidas aos níveis de tensão hídrica no solo.

A irrigação deficitária afeta quase todos os aspectos do crescimento dos vegetais (ALI et al., 2007). O momento e a quantidade de água influenciam muito o crescimento da planta (ZHANG et al., 2015; WANG et al., 2017). O déficit de água promove a perturbação em processos fisiológicos e bioquímicos, promovendo redução do crescimento e o rendimento da planta (INGRAM et al., 1996), através da redução fotossintética (SHARKEY, 1990; CORNIC, 2000; LAWLOR, 2002).

Sob grave escassez de água, o alongamento das células é subjugado pelo menor fluxo da água no xilema para as células em desenvolvimento, resultando em crescimento reduzido (ZULKFFAL et al., 2021). Isso pode descrever uma menor tolerância da cultivar BRS404 a estes efeitos em relação as outras cultivares analisadas.

Após a contagem das espiguetas em cada espiga em todas as parcelas, os resultados demonstraram interação significativa ao nível de ($p < 0,05$) para essa variável. A partir do desdobramento do fator cultivar em cada nível do fator umidade é notado apenas diferença significativa nas tensões de 24 e 48kPa, sendo a classificação da BRS394 como cultivar mais adaptada para todos os níveis de umidade, tendo a melhor classificação em todas as faixas de restrição hídrica.

Tabela 2: Médias do número de espiguetas por espiga de cada cultivar sob cada nível de umidade no solo para o teste de Tukey e análise de regressão.

| Cultivar | Tensão de umidade do solo (kPa) | | | | | Linear reg. | Quad. reg. |
|----------|---------------------------------|--------|--------|---------|--------|-------------|------------|
| | 60 | 48 | 36 | 24 | 12 | | |
| BRS 264 | 10,21A | 9,10B | 11,08A | 12,00AB | 15,13A | <0,05 | <0,05 |
| BRS 394 | 12,40A | 12,27A | 11,60A | 14,07A | 14,93A | <0,05 | <0,05 |
| BRS 404 | 10,42A | 12,27A | 11,34A | 9,93B | 15,05A | Ns | <0,05 |

Médias seguidas da mesma letra (vertical) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ns: efeito da regressão não significativo.

O estudo inverso de cada nível de umidade desdobrando em cada cultivar, possibilitou analisar os

efeitos em regressões lineares e polinomial significativas.

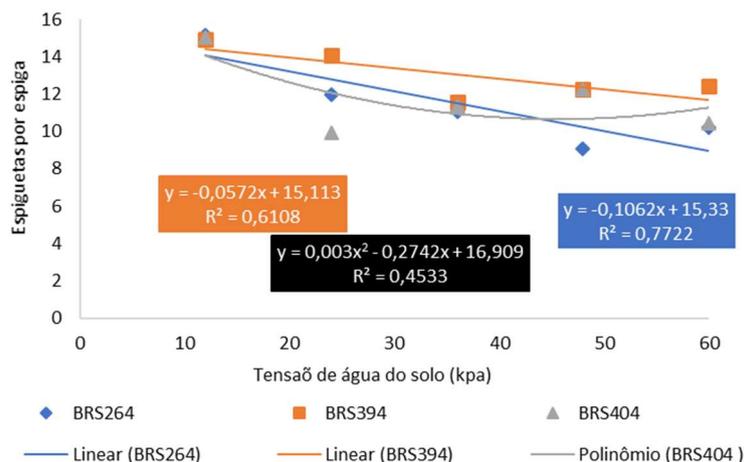


Figura 2: Curvas de respostas das regressões feitas das médias do número de espiguetas por espiga das cultivares de trigo sob níveis de tensões hídricas no solo.

Conforme ocorre o aumento do nível de umidade é expresso maiores valores desta variável, sendo apenas notado uma diminuição no nível de 24kPa, com a cultivar BRS404 que apresentou uma média de 9,33 espiguetas por espiga, o menor valor nesse nível para todas as cultivares e a menor resposta desta cultivar, diferindo assim do comportamento linear com incremento de água das outras cultivares. Sendo os maiores resultados em tensão de umidade de 12kpa e ocorrendo redução nas médias de 33,97% na cultivar BRS 404 sob tensão de 24kPa; 39,49% na cultivar BRS 264 sob tensão de 48kPa e 22,87% na cultivar BRS 394 sob tensão de 36kPa.

Esses resultados demonstram que a cultivar BRS404 é mais suscetível em relação as outras cultivares, pois, a tolerância a deficiência hídrica pode ser medida através de características anatômicas e fisiológicas da planta, como a característica número de espiguetas por espiga (KIRKHAM et al., 1983; FREITAS et al., 1985).

A partir da contagem de grãos por espiga de cada unidade experimental foi realizada a análise de variância que constatou apenas o efeito significativo no fator umidade, a análise de regressão demonstrou que para o trigo até tensões de 24 kPa de umidade, a diferença entre os níveis é pequena, porém, aumentando a umidade a diferença torna-se mais expressiva. Corroborando com estes resultados Bhunia et al. (2015) observaram que aumentando o limite de umidade para irrigação o trigo promove aumento do número de grãos por espiga.

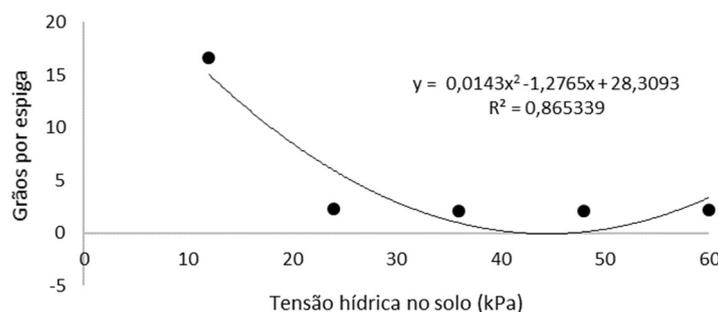


Figura 3: Curva de resposta das médias do número de grãos por espiga das plantas de trigo sob níveis de umidade do solo.

As condições impostas em tensões de até 24 kPa foram claramente prejudicadas em desempenho, pois tiveram respostas próximas e de valores baixos pois ocorreu uma diminuição de 86% dos grãos por espiga na tensão de 12kPa para 24kPa, isso devido a diminuição da fertilização das flores em meio a restrição hídrica imposta aos tratamentos até esse nível (TIWARI et al., 2015), resultando na diminuição da fixação do grão (SARTO et al., 2017). O trigo sob restrição hídrica tem seu rendimento afetado, tendo um menor número de grãos por área e o número de grãos por espiga, destacando a fase de pré-antese como a mais sensível a deficiência hídrica (RODRIGUES et al., 1998).

Plantas que passam por períodos de seca sofrem diminuição da atividade fotossintética durante a restrição, afetando a formação de grãos (JIANG et al., 2009). Na fase reprodutiva, o declínio na transpiração devido ao déficit hídrico no período de maturação, eventualmente resulta em número reduzido de grãos, peso de grãos, espiga e produtividade dos grãos, ocorre diminuição no fluxo da água do xilema para as células em desenvolvimento, ocasionando diminuição no curso da mitose (ZULKIFFAL et al., 2021).

O índice de colheita não foi afetado pela interação entre os fatores, apenas ocorreram efeitos simples significativos dos fatores cultivar e umidade, demonstrando a interferência do conjunto genético de cada cultivar e a disponibilidade de água nas respostas dessa variável. Podemos destacar a cultivar BRS264 com as melhores médias para essa variável, mas não sendo diferente estatisticamente BRS394.

Tabela 3: Médias dos índices de colheita das plantas submetidas ao teste de Tukey para o efeito das cultivares.

| Cultivar | Índice de colheita |
|----------|--------------------|
| BRS 264 | 0,23 A |
| BRS 394 | 0,22 AB |
| BRS 404 | 0,13 B |

Médias seguidas da mesma letra (vertical) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A regressão polinomial através das médias das cultivares nos níveis de umidade demonstra que os níveis mais secos restringiram a disponibilidade de água, sendo que apenas a partir de 24 kPa de umidade do solo que as plantas tiveram uma melhora significativa no índice de colheita, o índice aumentou em 85,89% da tensão de 60kPa até 12kPa, condição de maior umidade.

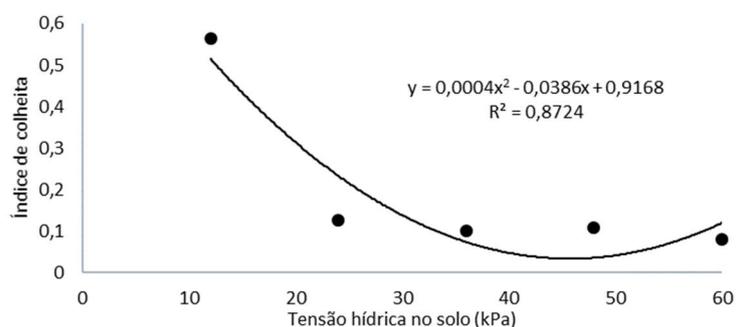


Figura 4: Curva de resposta das médias dos índices de colheita das plantas de trigo sob níveis de tensão hídrica no solo.

Os dados demonstram um maior desempenho das cultivares BRS264 e BRS394 em relação a cultivar BRS404, todas responderam melhor com aumento da umidade. Estes resultados vão de encontro aos resultados de Jha et al. (2019) e Zhang et al. (2010), que observaram a diminuição do índice de colheita com aumento da irrigação, isso pode ter ocorrido devido ao fato dos Autores trabalharem em percentuais de

umidades mais elevadas, acima de 50% da capacidade de campo, condição essa mais próxima do limite de adição de água no solo para um bom desempenho da cultura.

Porém, os Autores não observaram em déficit hídrico severo, pois o estresse hídrico durante o enchimento de grãos, reduz o índice de colheita em 19,1% (MOREIRA et al., 1999). No presente trabalho, a capacidade de água disponível no tratamento mais úmido, 12 kPa tensão de umidade ou 15% de umidade volumétrica, é próxima de 34% da capacidade de campo, valor bem abaixo dos valores dos trabalhos realizados pelos Autores.

CONCLUSÕES

As cultivares BRS394 e BRS264 se destacam apresentando melhores respostas para as variáveis: altura de plantas, número de espiguetas e índice de colheita, em relação a cultivar BRS404 que demonstra menor adaptabilidade sob deficiência hídrica. A tensão hídrica do solo de 12KPa obteve os melhores resultados, a partir de 24kpa ocorre queda dos valores das variáveis analisadas. As cultivares BRS394 e BRS264 são superiores na tensão de 12kPa na maioria das características, fitométricas e produtivas, em relação a cultivar BRS404 e as outras tensões hídricas do solo avaliadas.

REFERÊNCIAS

ALI, M. H.; HORQUE, M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. A.. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. **Agricultural water management**, v.92, n.3, p.151-161, 2007. DOI: <http://10.1016/j.agwat.2007.05.010>

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**. 2 ed. Brasília: ANA, 2021.

BHUNIA, S. R.; VERMA, I. M.; ARIF, M.; DOCHAR, R.. Effect of crop geometry, drip irrigation and bio-regulator on growth, yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Agricultural Sciences**, v.11, n.1, p.45-49, 2015. DOI: <http://10.15740/HAS/IJAS/11.1/45-49>

CORDEIRO, M. B.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; SEABRA, S.. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agro@ambiente**, v.9, n.1, p.96-101, 2015. DOI: <http://10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2177>

CORNIC, G.. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, 2000.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.191-192, 2000. DOI: <http://10.1590/S0103-90162000000100031>

FREITAS, J. G.; CARDOSO, A. A.; SEDIYAMA, C. S.; FERREIRA, P. A.; MOURA FILHO, W.. Trigo: efeito de três faixas de umidade na evapotranspiração real e na produção de grãos e seus componentes. **Bragantia**, v.44, n.2, p.515-530, 1985.

FRIZZONE, J. A.; OLITTA, A. F. L.. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do trigo. **Engenharia Rural**, v.1, n.1, p.1-76, 1990.

INGRAM, J.; BARTELS, D.. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.47, n.1, p.377-403, 1996.

JHA, S. K.; RAMATSHABA, T. S.; WANG, G.; LIANG, Y.; LIU, H.; GAO, Y.; DUAN, A.. Response of growth, yield and water use efficiency of winter wheat to different irrigation methods and scheduling in North China Plain. **Agricultural Water Management**, v.217, p.292-302, 2019. DOI: <http://10.1016/j.agwat.2019.03.011>

JIANG, D.; YUE, H.; WOLLENWBER, N.; TAN, W.; MU, H.; BO, Y.; DAI, T.; JING, Q.; CAO, W.. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on accumulation of high-molecular-weight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.195, n.2, p.89-97, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00353.x>

KIRKHAM, M. B.; KANEMASU, E. T.. Wheat. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M.. **Crop-water relations**. New York: John Wiley & Sons, 1983. p.483-520.

LAWLOR, D. W.. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of botany**, v.89, n.7, p.871-885, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1093/aob/mcf110>

LENA, B. P.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T.. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros adultos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.8, p.905-

911, 2011. DOI: <http://10.1590/S0100-204X2011000800017>

LUCHIARI JUNIOR, A.; RIHA, S. J.; GOMIDE, R. L.. Energy balance in irrigated wheat in the cerrados region of Central Brazil. *Scientia Agricola*, v.54, p.78-88, 1997. DOI: <http://10.1590/S0103-90161997000300011>

MOREIRA, M. A.; ANGULO FILHO, R.; RUDORFF, B. F. T.. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. *Scientia Agricola*, v.56, n.3, p.597-603, 1999. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0103-90161999000300012>

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A.; SCIPIONI, C.. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.6, p.839-846, 1998.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. À.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

SARTO, M. V. M.; SARTO, J. R. W.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; BASSEGIO, D.; COSTA, P. F.; INAGAKI, A. M.. Wheat phenology and yield under drought: a review. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, n.8, p.941, 2017.

SHARKEY, T. D.. Water stress effects on photosynthesis. *Photosynthetica*, v.24, p.651-661, 1990.

SILVA, T. J. A.; FENNER, W.; BONFIM-SILVA, E. M.; DUARTE, T. F.; CASTANON, T. H. F. M.; DOURADO, L. G. A.; BEZERRA, M. D. L.. Dual crop coefficients and performance of evapotranspiration methods in irrigated wheat. *Australian Journal of Crop Science*, v.15, n.1, p.32-40, 2021. DOI: <http://10.3316/informit.850501991241330>

SILVÉRIO, J. M.; SILVA, T.; BONFIM-SILVA, E. M.; IAIA, A. M.;

DUARTE, T.; PIRES, R. C. M.. Drought tolerance of the sugar cane varieties during the initial development. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, n.6, p.711-715, 2017. DOI: <http://10.3316/informit.045419941962954>

TIWARI, R.; SHEORAN, S.; RANE, J.. Wheat improvement for drought and heat tolerance. In: SHUKLA, R. S.; MISHRA, P. C.; CHATRATH, R.; GUPTA, R. K.; TOMAR, S. S.; SHARMA, I.. **Recent Trends on Production Strategies of Wheat in India**. Karnal: Directorate of Wheat Research, 2015. p.39-58.

VAN GENUCHTEN, M. T.. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

WANG, D.. Water use efficiency and optimal supplemental irrigation in a high yield wheat field. *Field Crops Research*, v.213, p.213-220, 2017. DOI: <http://10.1016/j.fcr.2017.08.012>

ZHANG, X.; ZHANG, X.; LIU, X.; SHAO, L.; SUN, H.; CHEN, S.. Incorporating root distribution factor to evaluate soil water status for winter wheat. *Agricultural Water Management*, v.153, p.32-41, 2015. DOI: <http://10.1016/j.agwat.2015.02.001>

ZHANG, X.; CHEN, S.; SUN, H.; WANG, Y.; SHAO, L.. Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, v.97, n.8, p.1117-1125, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.003>

ZULKIFFAL, M.; AHSAN, A.; AHMAD, J.; MUSA, M.; KANWAL, A.; SALEEM, M.; ANWAR, J.; REHMAN, A. U.; AJMAL, S.; GULNAZ, S.; JAVAID, M. M.. Heat and Drought Stresses in Wheat (*Triticum aestivum* L.): Substantial Yield Losses, Practical Achievements, Improvement Approaches, and Adaptive Mechanisms. In: **Plant Stress Physiology**. IntechOpen, 2021. DOI: <http://10.5772/intechopen.92378>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.