



Parâmetros fisiológicos para seleção de linhagens de trigo adaptadas à região Sudoeste do estado do Paraná

Physiological parameters for selection of wheat lines adapted to the southwest region of the state of Paraná

Lucas Leite Colonelli

lucascolonelli@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Giovani Benin

benin@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Rogê Afonso Tolentino Fernandes

afonso412@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Vinicius Kunz Fernandes

viniciusf.1998@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Otávio Ramos Campagnolli

otaviocampagnolli@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Maiara Cecília Panho

maiarapanho@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

RESUMO

O ganho genético relatado à cultura do trigo ainda é baixo quando comparado a outras culturas de expressão mundial. Dessa forma, a quantificação da eficiência no uso dos recursos fisiológicos é uma alternativa viável para a seleção de novos genótipos, com produtividades mais elevadas e adaptados a condições adversas de clima. Com isso, objetivo do presente trabalho foi avaliar a correlação entre os diferentes parâmetros fisiológicos com a produtividade e os componentes de produtividade em linhagens de trigo, visando a seleção de genótipos melhor adaptados e com elevada produtividade. Os caracteres fisiológicos avaliados não apresentaram correlação com o rendimento de grãos. A linhagem 170500 obteve os melhores resultados para os caracteres fisiológicos (condutância estomática, taxa de transpiração e taxa de assimilação de CO₂), porém, mostrou-se pouco eficiente no uso da água. As linhagens 150313 e 170220 apresentaram a melhor eficiência no uso da água e entregaram bons resultados produtivos (acima de 4000 kg ha⁻¹). A variável peso do hectolitro apresentou correlação negativa com a taxa de transpiração, indicando maiores valores de PH para as linhagens com menores taxas transpiratórias.

PALAVRAS-CHAVE: *Triticum aestivum* (L.). Melhoramento genético de plantas. Fisiologia de plantas.



ABSTRACT

The genetic gain reported in wheat crops is still low when compared to other world-renowned crops. Thus, the quantification of the efficiency in the use of physiological resources is a viable alternative for the selection of new genotypes, with higher yields and adapted to adverse weather conditions. Thus, the objective of the present work was to evaluate the correlation between the different physiological parameters with yield and yield components in wheat lines, aiming to select better adapted genotypes with high yield. The physiological characters evaluated showed no correlation with grain yield. Line 170500 obtained the best results for the physiological characters (stomatic conductance, transpiration rate and CO₂ assimilation rate), however, it was inefficient in the use of water. The lines 150313 and 170220, showed the best efficiency in the use of water and delivered good productive results (above 4000 kg ha⁻¹). The variable hectoliter weight showed a negative correlation with the transpiration rate, indicating higher PH values for the lines with lower transpiration rates.

KEYWORDS: *Triticum aestivum* (L.). Plant Breeding. Plant Physiology.



DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo, atrás apenas do milho. É uma das commodities mais importantes do agronegócio mundial, considerado insumo essencial nas dietas humana e animal por apresentar elevado valor energético e também por ser rico em proteínas e carboidratos, sendo responsável por fornecer cerca de 20% das calorias diárias consumidas globalmente. A nível mundial são cultivados aproximadamente 214 milhões de hectares com um rendimento médio de 3,4 t ha⁻¹ (FAO, 2019).

O ganho genético relatado à cultura do trigo ainda é baixo, aproximadamente 1% ao ano (CRAIN *et al.*, 2018; WOYANN *et al.*, 2019). Dessa forma, a quantificação da eficiência no uso dos recursos fisiológicos é uma alternativa viável para a seleção de novos genótipos, com produtividades mais elevadas e adaptados a condições adversas de clima. Compreender quais características exercem maior impacto no rendimento de grãos, é essencial para o desenvolvimento de novas estratégias de seleção no programa de melhoramento vegetal (GERARD *et al.*, 2020).

A eficiência no uso da água (WUA) é uma variável fisiológica ligada à capacidade das plantas em acumular biomassa por unidade de água utilizada na transpiração (MANAVALAN *et al.*, 2009). De acordo com Taiz e Zeiger (2013), a WUA é descrita como a eficiência da planta em moderar a perda estomática de água ao absorver o CO₂ atmosférico. Uma melhor WUA é desejada principalmente em cultivos onde a disponibilidade hídrica é limitada visando diminuir as perdas por déficit hídrico (SILVA, 2018).

A taxa de transpiração se trata de um parâmetro relacionado com a perda de vapor de água pelas plantas para atmosfera (LOPES, 2017). Aproximadamente 95% da água absorvida pela planta é perdida pela transpiração, o restante é direcionado para o metabolismo e crescimento da mesma. A medida que a disponibilidade de água no solo diminuiu, a taxa de transpiração decresce, como resultado do fechamento estomático. A respiração excessiva sem reposição pode levar a um déficit hídrico nas folhas e causar redução de produtividade (KERBAUY, 2004).

A condutância estomática é um caractere fisiológico relacionado a absorção de carbono, abertura e fechamento estomático, entre outros e, portanto, está diretamente ligado a fotossíntese (ADDINGTON *et al.*, 2004). Messinger *et al.*, (2006), define condutância estomática como o mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração. Diferentes estudos apontam correlação entre condutância estomática e indisponibilidade hídrica (OLIVEIRA *et al.*, 2005; OTTO *et al.*, 2013).

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

O presente estudo teve por objetivo avaliar os diferentes parâmetros fisiológicos e correlacioná-los com a produtividade e componentes de produtividade das linhagens de trigo desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético da UTFPR, visando a seleção de genótipos melhor adaptados e com elevada produtividade.

VANTAGENS DA INVENÇÃO

A seleção de linhagens de trigo com base em seus desempenhos fisiológicos e produtivos são uma alternativa interessante para o programa de melhoramento, visando a obtenção de genótipos mais produtivos e melhor adaptados a ambientes de instabilidade climática, evidenciando a importância de uma maior eficiência no uso dos recursos para a expressão de altos potenciais produtivos.



O Programa de Melhoramento Genético de Trigo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Pato Branco teve início no ano de 2006. O enfoque principal do programa da UTFPR é o treinamento de futuros pesquisadores e alunos. Além disso, busca-se desenvolver cultivares de trigo com adaptação local (Região Sudoeste do Paraná).

Em junho de 2019 foi encaminhado para o Registro Nacional de Cultivares (RNC/MAPA), solicitação de inscrição da cultivar de trigo com denominação sugerida “UTF 25”, em homenagem aos 25 anos do Curso de Agronomia da UTFPR Campus Pato Branco. Com isso, através dos multiplicadores de sementes, aliado ao marketing da cultivar, o setor agrícola/produtores são beneficiados com novas cultivares.

DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

O ensaio foi conduzido no município de Pato Branco-PR. Foram avaliadas 12 linhagens de trigo desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da UTFPR – Pato Branco e duas cultivares comerciais testemunhas: UTF 150313, UTF 141457, UTF 162323, UTF 170013, UTF 170074, UTF 170220, UTF 170242, UTF 170464, UTF 170490, UTF 170500, UTF 170588, UTF170615, TBIO2 AUDAZ e TBIO PONTEIRO. A semeadura do ensaio ocorreu no mês de junho de 2020. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. As unidades experimentais foram compostas por seis linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,25 m entre linhas. Foi considerado como área útil, as quatro linhas centrais de cada parcela, totalizando 5 m². A densidade de semeadura utilizada foi de 330 plantas m⁻².

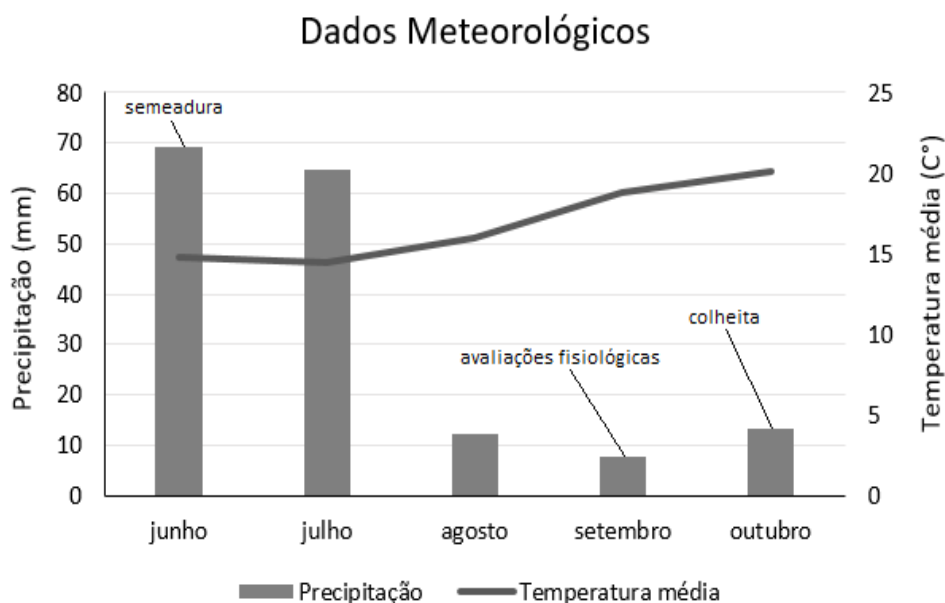
Com relação aos caracteres fisiológicos foram avaliados: a taxa de assimilação líquida de CO₂ (Photo, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (Cond, $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (Tr, $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e eficiência no uso da água (WUE), sendo WUE calculada pela relação entre a taxa fotossintética líquida e a transpiração (Pn/Tr) (OU et al., 2015); foi utilizado o equipamento portátil, com analisador infravermelho de gases (IRGA), modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska – USA), com injetor automático de CO₂ e fonte artificial de luz vermelha e azul. Antes das avaliações foram realizadas as devidas calibrações do aparelho no local (taxa constante com 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR (Photosynthetic Active Radiation) e 400 ppm de CO₂). Em relação aos caracteres agrônômicos, foram avaliados o rendimento de grãos (RG), obtido por meio da colheita da parcela, após trilha e pesagem, a umidade dos grãos corrigida para 13%, e convertido para kg ha⁻¹. Para determinação do peso de mil sementes (PMS), procedeu-se a escolha aleatória de oito repetições de 100 sementes de trigo, sendo determinada o peso de cada repetição em balança analítica, expressos em gramas (BRASIL, 2009). O peso hectolitro (PH), foi determinado através da massa de grãos em 250 ml, por pesagem em balança de precisão, e expressa em kg hL⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posteriormente submetidos ao teste de comparação de médias (Tukey), a 5% de probabilidade de erro. As análises do teste de medias foram realizadas no programa estatístico R Studio Core Team (2020), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2020). A análise de correlação entre os caracteres, foi realizada com o auxílio do pacote Metan (OLIVOTO e LÚCIO, 2020).

Os dados meteorológicos obtidos durante o período de condução do ensaio são apresentados na Figura 1. É possível observar bons acumulados durante o início da emergência até parte do desenvolvimento vegetativo da cultura. Entretanto, nota-se um período de elevada escassez hídrica, ocorrida entre os estádios reprodutivos da planta. Durante os meses de agosto a outubro os acumulados não superaram 40 mm de precipitação, interferindo significativamente na expressão dos genótipos e nos resultados das análises fisiológicas.



Figura 1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental, safra 2020.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A análise de variância revelou diferença significativa entre os genótipos avaliados, para os caracteres eficiência do uso da água (WUE), taxa de assimilação líquida de CO₂ (Photo), condutância estomática (Cond), transpiração (Trmmol), rendimento de grãos (RG), peso de mil sementes (PMS) e peso do hectolitro (PH) (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da Anova para Eficiência do uso da água (WUE), taxa de assimilação líquida de CO₂ (Photo), condutância estomática (Cond), transpiração (Trmmol), rendimento de grãos (RG) peso de mil sementes (PMS) e peso do hectolitro (PH) dos ensaios de linhagens e cultivares testemunha de trigo avaliados em ensaio de Valor Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de trigo da UTFPR na região sudoeste do Paraná. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2021.

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio						
		WUE	Photo	Cond	Trmmol	RG	PMS	PH
Tratamento	13	0.0098*	152730*	0.0132*	155155*	1238988*	1132.18*	174882*
Bloco	2	0.0032 ^{ns}	31977 ^{ns}	0.0023 ^{ns}	0.44365 ^{ns}	188149 ^{ns}	0.76 ^{ns}	25397 ^{ns}
Resíduo	26	0.0019	49.115	0.00359	0.40828	489344	2.28	24.826
Total	41							
CV (%)		10,18%	20,21%	35,84%	24,37%	15,75%	4,03%	1,88%
Média		0,433	10,964	0,167	2,622	4440,810	27,638	72,133

* Significância para Teste F a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: autoria própria.

A linhagem 150313 diferiu significativamente das demais linhagens e apresentou o melhor desempenho em relação a eficiência no uso da água (EUW). O pior desempenho para este caractere fisiológico foi observado para a linhagem 150500, que apresentou uma eficiência no uso da água abaixo de 0,37.

Com relação a taxa de assimilação de CO₂ (Photo), a linhagem 150500 apresentou os melhores resultados, com uma taxa de assimilação superior a 15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O pior desempenho em relação a esse caractere foi obtido pela linhagem 170220 com uma taxa de assimilação de CO₂ (Photo) de 6,52 CO₂



$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O mesmo foi observado para os resultados de condutância estomática (Cond) e transpiração (Trmmol), onde a linhagem 170500 apresentou o melhor desempenho com $0,327 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $4,249 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados são explicados pela correlação negativa entre WUA e os parâmetros Cond e Trmmol (Figura 2).

Em relação ao caractere rendimento de grãos (RG), a cultivar TBIO Ponteiro apresentou a maior produtividade (5673 kg ha^{-1}) entretanto, não diferiu significativamente da linhagem já lançada pelo Programa de Melhoramento Genético da UTFPR 141457 (UTF25), que apresentou produtividade de 5255 kg ha^{-1} . Outras linhagens do programa também apresentaram bons resultados produtivos, como a 170220 com produtividade de 5004 kg ha^{-1} , 170074 com 4836 kg ha^{-1} e 170588 com 4584 kg ha^{-1} .

Períodos mais severos de estiagem podem ocasionar alterações no fluxo hídrico das plantas, influenciando diretamente na condutância estomática e na eficiência do uso da água, causando redução no desenvolvimento foliar e um menor acúmulo de biomassa, refletindo posteriormente no rendimento de grão (JALEEL *et al.* (2009). No presente estudo foi detectado período de estiagem severa, principalmente nos meses de agosto e setembro (Figura 1), englobando os estádios finais de desenvolvimento da cultura. Isso refletiu no rendimento de grãos, ocasionando rendimentos médios baixos para região. Durante a fase reprodutiva, a planta de trigo é mais suscetível aos danos por déficit hídrico, causando esterilidade e reduzindo a formação de grãos (MOTA, 1989). De acordo com Sayed *et al.*, (1983), a produtividade do trigo é altamente relacionada com a disponibilidade de água no solo. Com isso, cultivares tolerantes a seca, são capazes de reduzir as perdas produtivas ou produzirem mais grãos a partir de uma mesma quantidade de água utilizada, isso ocorre por meio de melhorias fisiológicas que são relacionadas a uma maior eficiência no uso da água.

Genótipos modernos de trigo apresentam elevada capacidade no uso da radiação, a partir de melhorias de sua capacidade fotossintética. Como descrito por Fischer e Edmeades (2010), a atividade fotossintética está diretamente correlacionada com a condutância estomática, que exerce influência na taxa de assimilação de CO_2 e a perda de água pela planta. Condições propícias a fixação de carbono induzem a maior abertura estomática, enquanto as condições propícias a perda de água favorecem ao fechamento estomático. Plantas com maior eficiência na condutância estomática são aquelas que conseguem perder menos moléculas de água para absorver uma molécula de CO_2 . Maiores valores de condutância estomática, resultam em maior abertura dos estômatos, aumentando taxas de transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2013). Neste contexto, Beche *et al.*, (2014) sugere que a seleção de genótipos de trigo que apresentem redução do período de semeadura até a antese é uma característica desejável para a diminuição dos riscos ambientais.

Tabela 2 – Teste de médias para Eficiência do uso da água (WUE), taxa de assimilação líquida de CO_2 (Photo), condutância estomática (Cond), transpiração (Trmmol), rendimento de grãos (RG) peso de mil sementes (PMS) e peso do hectolitro (PH), das linhagens conduzidas em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de trigo da UTFPR, na região sudoeste do Paraná. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2021.

		Photo	Cond	Trmmol			
	Euw	($\mu\text{mol CO}_2$	(mol de H_2O	(mmol de	RG	PMS	PH
Linhagem	(%)	$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(kg ha^{-1})	(g)	(kg hL^{-1})
150313 ¹	0.584 a	12.50 abc	0.171 abc	2.195 bc	4154 ab	26,3 cd	73 abcd
141457	0.388 bc	9.70 abc	0.142 bc	2.539 abc	5255 ab	34,3 a	75,7 a
162323	0.421 bc	11.34 abc	0.209 abc	2.708 abc	4040 ab	28,1 bcd	71,6 abcd
170013	0.401 bc	11.40 abc	0.171 abc	2.878 abc	4575 ab	26,4 cd	72 abcd
170074	0.443 bc	9.85 abc	0.132 bc	2.219 bc	4836 ab	28,5 bcd	70,6 cd
170220	0.499 ab	6.52 c	0.063 c	1.314 c	5004 ab	30,3 b	75,6 ab



170242	0.384 bc	11.81 abc	0.204 abc	3.090 abc	4246 ab	27,1 bcd	70,2 cd
170464	0.433 bc	10.19 abc	0.129 bc	2.393 abc	4149 ab	25,5 cd	69,6 cd
170490	0.372 bc	10.66 abc	0.166 abc	2.934 abc	3724ab	26,2 cd	70,9 bcd
170500	0.366 c	15.42 a	0.327 a	4.249 a	3311 b	25,5 d	68,4 d
170588	0.462 abc	8.42 bc	0.099 bc	1.837 bc	4584 ab	26,8 cd	72,9 abcd
170615	0.446 bc	11.75 abc	0.144 bc	2.650 abc	3816 ab	25,8 cd	69,6 cd
Audaz ²	0.446 bc	9.62 abc	0.125 bc	2.192 bc	4800 ab	27,8 bcd	75,4 ab
Ponteiro	0.412 bc	14.24 ab	0.254 ab	3.500 ab	5673 a	28,6 bc	74,1 abc

¹ Linhagens do Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UTFPR

² Biotrigo Genética Ltda

Fonte: autoria própria

Buscando elucidar o relacionamento entre os caracteres fisiológicos e os de produtividade, foi realizado a análise de correlação linear de Pearson (Figura 2). Houve apenas uma correlação fraca entre os resultados de produtividade com os parâmetros fisiológicos, ocorrida entre os caracteres peso do hectolitro (PH) e taxa de transpiração (Trmmol) (-0,35*), demonstrando que, quanto menor a taxa transpiratória da planta, maior foram os valores do PH. Entretanto, foram observadas correlações dentro dos caracteres fisiológicos e dentro dos fatores produtivos (Figura 2).

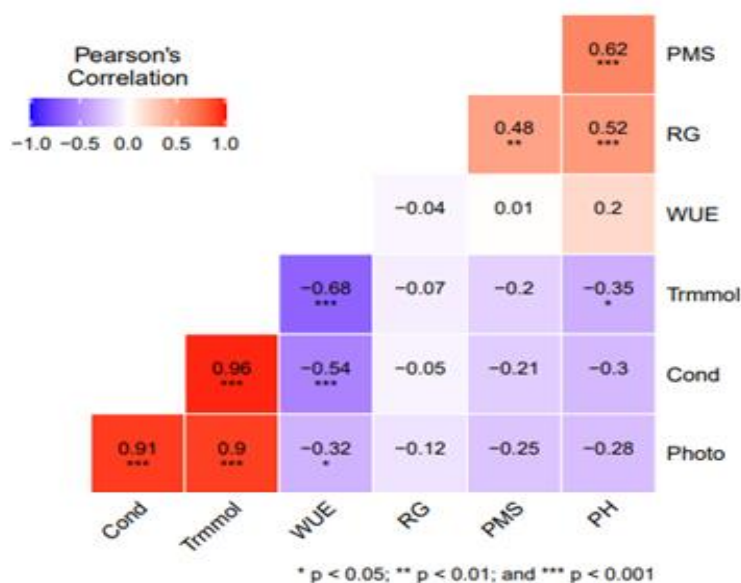
Entre os caracteres fisiológicos é possível observar uma forte correlação entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ (Photo) com a condutância estomática (Cond) e transpiração (Trmmol), com valores de 0,91*** e 0,9*** respectivamente. Ou seja, quanto maiores os valores da taxa de assimilação de CO₂, maiores foram os resultados da condutância estomática e da transpiração. O mesmo foi observado entre a transpiração (Trmmol) e condutância estomática (Cond), com uma correlação de 0,96***. Já a condutância estomática (Cond) apresentou correlação negativa de -0,54*** com a eficiência de uso da água e de -0,68*** com a transpiração (Trmmol). Dessa forma, quanto menores os valores da condutância estomática, maiores foram os valores da eficiência do uso da água e da transpiração.

Entre os caracteres de produtividade, foi possível observar uma correlação média entre os caracteres de peso do hectolitro (PH) com o rendimento de grãos (RG) e peso de mil sementes (PMS), com valores de 0,52*** e 0,62***, respectivamente. O mesmo foi observado para o peso de mil sementes (PMS) que apresentou correlação média de 0,48** com o rendimento de grãos (RG). As correlações de peso do hectolitro com a produtividade, são descritas com alto grau de confiabilidade por Silva *et al.*, (2006), no qual apresentou forte correlação (0,71*) desta variável com o rendimento de grãos.

As correlações negativas entre a eficiência no uso da água (WUE) e os fatores de condutância estomática (Cond), transpiração (Trmmol) e taxa de assimilação de CO₂ (Photo), indicam que quanto menores os valores dessas variáveis, maior a eficiência no uso da água. Isso ocorre, pois, os estômatos quando abertos liberam mais facilmente a água contida na célula, quanto maior a atividade estomática, maior será a taxa de assimilação de CO₂ e conseqüentemente, maior será a taxa respiratória. O aumento de forma singular da condutância estomática não proporcionara um aumento direto da fotossíntese, pois, a mesma é também dependente da condutância mesofílica e da translocação no floema (ADAMS *et al.*, 2007).



Figura – 2 correlações do rendimento de grãos (RG), peso de mil sementes (PMS), peso do hectolitro (PH), Eficiência do uso da água (WUE), taxa de assimilação líquida de CO₂ (Photo), condutância estomática (Cond), transpiração (Trmmol) na cultura do trigo. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2021.



Fonte: autoria própria.

A partir do presente estudo foi possível observar que os parâmetros fisiológicos avaliados não apresentaram correlação direta com o rendimento de grãos, porém, deve ser levado em consideração que o ano safra de 2020 foi atípico em relação ao clima, apresentando baixos volumes de precipitação. De acordo com Liu *et al.*, (2016) e Santos *et al.*, (2012) os estádios fenológicos que envolvem (floração, ântese e enchimento de grãos) são extremamente sensíveis ao estresse hídrico, diminuindo significativamente a expressão do potencial produtivo de cada genótipo. Além disso, maiores valores de transpiração, condutância estomática e taxa de assimilação de CO₂ influenciam negativamente a eficiência do uso da água (TAIZ e ZEIGER, 2013). Nesse contexto, é importante a avaliação conjunta dos caracteres fisiológicos e produtivos no programa de melhoramento, a fim de obter linhagens que agreguem elevada caixa produtiva mesmo em anos de clima adverso.

De maneira geral foi possível observar que os caracteres fisiológicos avaliados não apresentaram correlação com o rendimento de grãos. A linhagem 170500, obteve os melhores resultados para os caracteres fisiológicos (condutância estomática, taxa de transpiração e taxa de assimilação de CO₂), porém, mostrou-se pouco eficiente no uso da água e apresentou os piores desempenhos em relação aos caracteres produtivos (rendimento de grãos peso de mil sementes e peso do hectolitro). As linhagens 150313 e 170220, apresentaram a melhor eficiência no uso da água e entregaram bons resultados produtivos (acima de 4000 kg ha⁻¹). A variável peso do hectolitro apresentou correlação negativa com a taxa de transpiração, indicando maiores valores de PH para as linhagens com menores taxas transpiratórias.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Giovani Benin por todo conhecimento repassado e pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Aos meus familiares, colegas de graduação e pós-graduação que de alguma forma contribuíram para a realização e finalização deste trabalho.



REFERÊNCIAS

- ADAMS, William W et al. Photosynthetic acclimation in the context of structural constraints to carbon export from leaves. **Photosynthesis Research**, Springer, v. 94,n.2-3, p.455–466, 2007.
- ADDINGTON, Robert N. et al. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. **Tree Physiology**, v. 24, n. 5, p. 561-569, 2004.
- BECHE, Eduardo et al. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. **European journal of agronomy**, v. 61, n. 49–59, 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Regras para análise de sementes**. 2009.
- CRAIN, Jared et al. Combining high-throughput phenotyping and genomic information to increase prediction and selection accuracy in wheat breeding. **The plant genome**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2018.
- ERIC BATISTA FERREIRA, PORTYA PISCITELLI CAVALCANTI and DENISMAR ALVES NOGUEIRA (2021). ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). **R package version 1.2.1**. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of food and Agriculture**, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7658e.pdf>>. Acesso em: 05 jul 2021.
- FISCHER, RA; EDMÉADES, Gregory O. Breeding and cereal yield progress. **Crop Science**, v. 50, p. 5–85, 2010.
- GERARD, Guillermo S. et al. Grain yield genetic gains and changes in physiological related traits for CIMMYT's High Rainfall Wheat Screening Nursery tested across international environments. **Field crops research**, v. 249, p. 107742, 2020.
- JALEEL et al. 80 Drought stress in Plants: A review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v.11, n.1, p. 100 – 105, 2009
- KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, p. 452, 2004. ADDINGTON, R. N. et al. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. **Tree Physiology**, v. 24, 2004.
- LIU, Yang et al. Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 100, p. 113-129, 2016.
- LOPES, Emile Caroline Silva. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E TROCAS GASOSAS EM GENÓTIPOS DE SOJA (*Glycine max* L.)⁴³ COM DIFERENTES CAPACIDADES DE NODULAÇÃO. Dissertação, **Universidade Estadual do Norte Fluminense**, 2017.
- MANAVALAN, L. P. et al. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. **Plant Cell Physiology**, v. 50, n. 7, p. 1260-1276, 2009.
- MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiol.**, v. 140, n. 2, p. 771-778, 2006.



MOTA, F.S. da. **Agrometeorologia do Trigo no Brasil Campinas**, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 122 p.

OLIVEIRA, A. D. DE. et al. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Eng. Agric., Jaboticabal*, v.25, n.1, p.86-95, 2005.

OLIVOTO, T., and LÚCIO, A.D. (2020). metan: an R package for multi-environment trial analysis. **Methods Ecol Evol.** 11:783-789 doi:10.1111/2041-210X.13384

OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.36, n.3, p.431-439, 2013.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, Diego dos et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 836-842, 2012.

SILVA, Jodean Alves. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO E COMPACTAÇÃO DO SOLO. Dissertação, **Universidade Federal de Lavras**, 2018.

SILVA, José Antonio Gonzalez da et al. Correlação de acamamento com rendimento de grãos e outros caracteres de interesse agrônomo em plantas de trigo. **Ciência Rural**, v. 36, p. 756-764, 2006.

TAIZ, L. et al. E. Fisiologia vegetal. 5. ed., **Artmed**, 2013.

WOYANN, Leomar Guilherme et al. Genetic gain over 30 years of spring wheat breeding in Brazil. **Crop Science**, v. 59, n. 5, p. 2036-2045, 2019.