

Viabilidade de sementes de arroz produzidas em condições supra-ótimas de temperatura

Viability of rice seeds produced under conditions supra-optimal temperatures

Sheila Bigolin Teixeira¹, Gabriele Espinel Ávila², Ítalo Lucas de Moraes³, Rodrigo da Silva Armesto⁴, Rafael Silva da Silva⁵, Victoria Novo Schmitz⁶, Sidnei Deuner⁷

RESUMO: O estresse por altas temperaturas constitui problema limitante à produtividade das plantas. O arroz, cultura de grande importância mundial, é fortemente influenciado por este elemento climático, especialmente durante a fase reprodutiva, por prejudicar a produção de sementes. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes produzidas sob estresse por altas temperaturas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo dois genótipos (cultivar Nagina 22 e Linhagem CTB 1115) e duas diferentes condições de temperatura (condição de controle e estresse por altas temperaturas). As sementes de arroz da cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, foram produzidas na Embrapa, Estação Experimental Terras Baixas, pertencente a Embrapa Clima Temperado, na safra 2016/2017, com e sem a presença de abrigos composto por estrutura de cano PVC e plástico transparente, colocado para provocar o aumento da temperatura interna, na fase reprodutiva (R2 – R9). Nas sementes colhidas avaliou-se a condutividade elétrica, a porcentagem de germinação, o vigor (índice de velocidade de germinação e primeira contagem de germinação), comprimento e massa seca da parte aérea e raiz das plântulas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software SigmaPlot 12.0. Para a condutividade elétrica, analisando-se a cv. Nagina 22, somente no período de 24 horas foi observada diferença estatística ($p < 0,05$), sendo a maior média apresentada pelas sementes advindas da condição de estresse. Em relação a linhagem CTB 1115, as médias de todos os períodos da condição de estresse foram significativamente superiores em comparação ao controle. Para o PCG, as sementes provenientes do tratamento estresse, apresentaram decréscimo significativo em relação aos controles. A menor média para o IVG foi apresentada pelas sementes da cv. Nagina 22 provenientes da condição de estresse, sendo significativamente inferior, inclusive, à linhagem CTB 1115 oriundas da mesma situação. Os resultados referentes aos parâmetros germinativos podem ser explicados pelo fato de o

¹ Mestre em Fisiologia Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal – UFPEL

^{2,3} Doutorando(a) no Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia - UFPEL

^{4,5,6} Graduando(a) em Agronomia pela Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPEL

⁷ Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal pela UFPEL

estresse por calor durante o desenvolvimento das sementes resultar em germinação reduzida e perda de vigor, diminuindo a emergência e o estabelecimento de plântulas. A análise de crescimento indica ter ocorrido redução, nas sementes provenientes do estresse, na conversão de esqueletos carbônicos a amido, principal constituinte de cereais. O estresse térmico afeta negativamente as sementes da cv. Nagina 22. A linhagem CTB 1115 é capaz de manter a viabilidade mesmo em condições de altas temperaturas durante o processo de formação de sementes.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., estresse térmico, mudanças climáticas.

ABSTRACT: *High temperature stress is a limiting problem to plant productivity. Rice, a crop of great importance in the world, is strongly influenced by this climatic element, especially during the reproductive phase, because it impairs seed production. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of seeds produced under high temperature stress. The experimental design was completely randomized, in a 2 x 2 factorial scheme, two genotypes (cultivar Nagina 22 and Lineage CTB 1115) and two different temperature conditions (control condition and high temperature stress). The rice seeds of cv. Nagina 22 and lineage CTB 1115, were produced at Embrapa, Terras Baixas Experimental Station, belonging to Embrapa Clima Temperado, in the 2016/2017 harvest, with and without the presence of shelters composed of PVC pipe and transparent plastic, placed to cause the increase in internal temperature at reproductive phase (R2 - R9). In the seeds harvested the electrical conductivity, germination percentage, vigor (germination speed index and first germination count), length and dry mass of shoot and root of seedlings were evaluated. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at 5% probability, with the aid of SigmaPlot 12.0 software. For the electrical conductivity, analyzing the cv. Nagina 22, a statistical difference ($p < 0.05$) was observed only in the 24 hour period, being the highest mean presented by the seeds coming from the stress condition. In relation to the CTB 1115 lineage, the means of all periods of the stress condition were statistically superior in comparison to the control. For the PCG, the seeds from the stress treatment showed a significant decrease in relation to the controls. The lowest mean for IVG was presented by the seeds of cv. Nagina 22 from the stress condition, being statistically inferior, even, to the strain CTB 1115 originating from the same situation. The results concerning the germination parameters can be explained by the fact that the heat stress during the development of the seeds results in reduced germination and loss of vigor, decreasing emergence and establishment of seedlings. The growth analysis indicates that there has been a reduction, in seeds from stress, in the conversion of carbon skeletons to starch, the main constituent of cereals. Thermal stress negatively affects the seeds of cv. Nagina 22. The strain CTB 1115 is capable of maintaining viability even under high temperature conditions during the seed formation process.*

Keywords: *Oryza sativa* L., thermal stress, climatic changes.

INTRODUÇÃO

O estresse por altas temperaturas constitui problema limitante à produtividade das plantas em muitas partes do mundo (SAILAJA et al., 2014). Estimativas mostram que os rendimentos das culturas reduzirão em 41% até o final do século XXI, devido à elevação da temperatura, provocada pelas mudanças climáticas (CECCARELLI et al., 2010). E, apesar desses desafios, a produção mundial de alimentos precisa aumentar em cerca de 70% até 2050, para alimentar a crescente população (ALEXANDRATOS et al., 2012).

Neste cenário, o arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura que se destaca, por ser responsável por alimentar mais de 3 bilhões de pessoas em todo o mundo e contribuir com cerca de 20% da ingestão calórica total da população. A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da referida espécie, sendo que a sua temperatura ideal varia de 20 a 35°C, dependendo da fase de desenvolvimento (SOSBAI, 2014).

O estágio de desenvolvimento em que a planta está exposta ao estresse pelo calor determina qual será a gravidade do possível dano à cultura, destacando-se as fases de pré-floração e floração como as mais sensíveis a altas temperaturas no arroz (SHAH et al., 2011). A temperatura elevada afeta a deiscência das anteras, a germinação de pólen e a polinização, levando à esterilidade e perdas de rendimento (YOSHIDA, 1981). Durante a fase reprodutiva do arroz, os rendimentos de grãos diminuem de 10-15% para cada grau acima da temperatura ideal (PENG et al., 2004). Junto com o rendimento, a alta temperatura, particularmente no estágio reprodutivo, também afeta características de qualidade dos grãos (COOPER et al., 2008). Ambos os fatores influenciam severamente a produção de sementes de qualidade, necessária para atender a demanda.

Temperaturas elevadas durante o enchimento de grãos frequentemente perturbam o desenvolvimento normal, o que aumenta a proporção de sementes enrugadas, anormais e de menor qualidade (SPEARS et al., 1997). Este efeito deve-se principalmente ao aumento na proporção entre a respiração e a fotossíntese, diminuindo a capacidade da planta em fornecer às sementes os fotoassimilados necessários para sintetizar os compostos de armazenamento necessários durante a germinação (ZISKA; BUNCE, 1998). Também podem ocorrer danos fisiológicos a

medida em que a capacidade de germinar é perdida (POWELL, 2006), como a deterioração da membrana das células da semente, aumentando o vazamento eletrolítico (SHINOHARA et al., 2006) e a danificação do meristema apical do eixo embrionário (SENARATNA et al., 1988).

O vigor da semente é reduzido pelo estresse de alta temperatura tanto antes (EGLI et al., 2005) quanto após o ponto de maturidade fisiológica (HAMPTON, 2000). Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz produzidas em condições de temperaturas supra-ótimas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a instalação do experimento foram utilizadas sementes de arroz irrigado da cultivar Nagina 22 e da linhagem CTB 1115 (desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado), classificadas como tolerante e sensível a temperaturas supra-ótimas, respectivamente, com base em estudos prévios. As sementes foram obtidas a partir do cultivo das plantas de arroz (cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115) a campo, com espaçamento de 0,17 m entre linhas e população de 200 plantas m⁻², na Estação Experimental Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, na safra 2016/2017, em delineamento de blocos aumentados de Federer. Ao atingirem o estágio de desenvolvimento R2 foi realizada a instalação de abrigos de 0,75 x 2,0 m sobre uma parcela das plantas, compostos por estrutura de cano PVC e cobertura de plástico translúcido (tipo *shelter*), possibilitando incremento de 5 a 9°C na temperatura em relação ao ambiente externo – conferindo assim a condição de temperatura supra-ótima, denominando o tratamento estresse. Os abrigos foram mantidos até a maturação (R9) e como tratamento controle, parcelas de plantas de igual dimensão permaneceram em condição de ambiente aberto. A temperatura, em ambas as condições, foi monitorada por sensores HOBO, a cada 5 minutos.

Quando as sementes atingiram o estágio de desenvolvimento R9 e teor de umidade em torno de 20%, foi realizada a colheita manual das linhas centrais de cada parcela. Posteriormente ocorreu a secagem até a obtenção de 12% de umidade e realizado o beneficiamento manual, separando as impurezas e em seguida armazenadas sob temperatura ambiente por período de 6 meses, permitindo a superação da dormência das sementes.

A etapa seguinte do experimento foi conduzida no Laboratório de Fisiologia de Sementes pertencente ao Departamento de Botânica, no Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no município do Capão do Leão-RS. As sementes de arroz da cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, oriundas do estudo acima descrito, foram avaliadas quanto a sua qualidade fisiológica, primeiramente através do teste de condutividade elétrica, o qual foi realizado utilizando-se quatro subamostras de 50 sementes. As sementes foram colocadas em béquer com 80 mL de água destilada e mantidas em germinador com temperatura constante de 25°C. A condutividade elétrica foi medida com o auxílio do condutivímetro de bancada Digimed CD-21, nos períodos de 3, 6 e 24 horas após a embebição (KRZYZANOWSKI et al., 1991).

Em seguida foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes em papel germitest umedecido com um volume de 2,5 vezes o seu peso em água e mantidos em germinador à temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12h. A desinfestação prévia foi realizada com hipoclorito de sódio a 2% durante 5 minutos. A determinação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos 14 dias de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada conjuntamente com o teste de germinação avaliada no quinto dia após a semeadura. Assim como o índice de velocidade de germinação (IVG) que foi obtido por meio da contagem diária do número de plântulas normais, composta por sementes que apresentaram extensão radicular igual ou superior a 2 mm até que o número de plântulas normais permanecesse constante (MAGUIRE, 1962).

O comprimento e massa seca da parte aérea e raízes das plântulas foi obtido pela média de 10 plântulas ao final do teste de germinação. A medição do comprimento da parte aérea e das raízes foi obtida com auxílio de uma régua milimetrada e os resultados expressos em cm. A determinação da massa seca foi obtida gravimetricamente, em balança de precisão, após a secagem do material vegetal em estufa a $70 \pm 2^\circ\text{C}$ até a obtenção de massa constante.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2x2), constituído por dois genótipos e duas condições de temperatura, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância

e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software SigmaPlot 12.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica das sementes de arroz cv. Nagina 22 apresentou diferença somente no período de 24 horas de embebição, com aumento significativo para as sementes oriundas de plantas submetidas a temperatura supra-ótima. Já na linhagem CTB 1115, nos três períodos avaliados houve aumento significativo em resposta a elevada temperatura (Tabela 1). Comparando as cultivares para o mesmo tratamento, somente nas sementes do tratamento controle houve diferença significativa, com valores inferiores para a linhagem CTB 1115 nos três períodos avaliados.

O teste de condutividade elétrica baseia-se na premissa de que o vigor está diretamente relacionado com a integridade do sistema de membranas celulares. As sementes menos vigorosas apresentam maior dificuldade no restabelecimento da integridade das membranas celulares durante a hidratação e, por consequência, liberam maiores quantidades de solutos citoplasmáticos para o meio líquido (MARCOS FILHO et al., 2005). É a primeira evidência de que a semente está em processo de deterioração.

Tabela 1 – Condutividade elétrica de sementes de arroz, cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, produzidas sob condições de temperatura supra-ótima.

| Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ semente) | | | | |
|---|----------|-------------|---------|----------|
| Genótipo | Condição | Período (h) | | |
| | | 3 | 6 | 24 |
| Nagina 22 | Controle | 6,11 Aa | 7,57 Aa | 9,93 Ba |
| | Estresse | 6,58 Aa | 7,85 Aa | 11,69 Aa |
| CTB 1115 | Controle | 2,74 Bb | 3,83 Bb | 7,30 Bb |
| | Estresse | 6,52 Aa | 8,57 Aa | 12,48 Aa |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas comparando os tratamentos para cada cultivar e minúsculas comparando as cultivares para o mesmo tratamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey $p < 0.05$.

A primeira contagem de germinação (PCG) objetiva determinar o vigor relativo de sementes através do registro de diferenças na velocidade de germinação, mesmo

em lotes de sementes que apresentam porcentagens de germinação final semelhantes (KRZYZANOWSKI, 1999). No presente estudo, sementes de arroz oriundas de plantas submetidas a temperatura supra-ótima apresentaram redução significativa na PCG em comparação as sementes do tratamento controle. Comparando as cultivares, no tratamento controle, a linhagem CTB 1115 apresentou menor PCG e no tratamento estresse, a cv. Nagina 22 apresentou redução significativa (Figura 1A).

O processo germinativo inicia com a embebição em água e culmina com a formação de plântulas normais. Para lotes de sementes de alta qualidade, é desejável germinação próxima aos 100%. Em relação a porcentagem de germinação (Figura 2B), foi observado comportamento semelhante a PCG. Novamente a cv. Nagina 22, no tratamento controle, diferiu significativamente da CTB 1115. Sua média também foi superior em comparação as sementes previamente estressadas, no entanto todas apresentaram germinação acima do padrão mínimo de comercialização para essa espécie (80%).

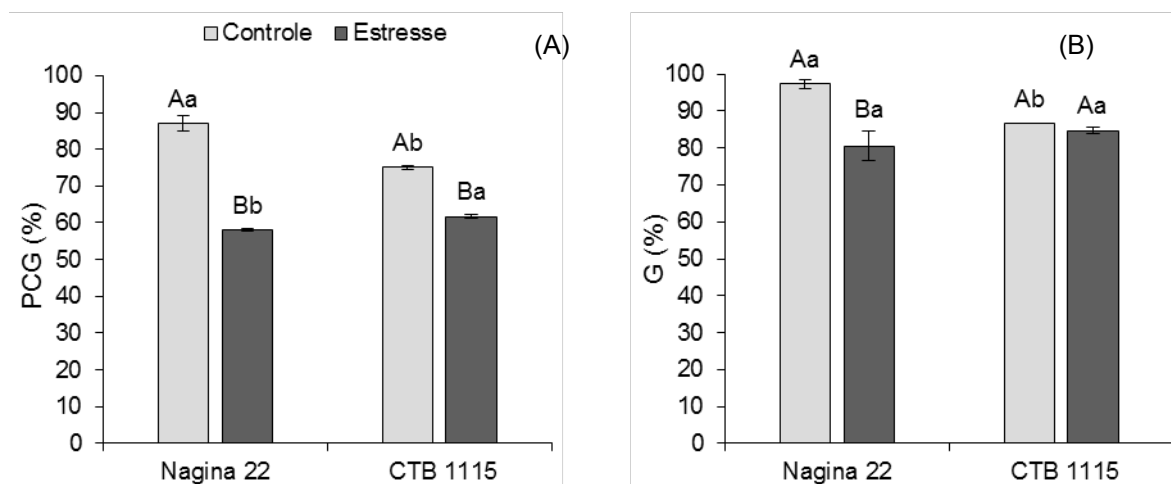


Figura 1 – Primeira contagem da germinação (A) e porcentagem de germinação (B) de sementes de arroz, cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, produzidas sob condições de temperatura supra-ótima. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas comparando os tratamentos para cada cultivar e minúsculas comparando as cultivares para o mesmo tratamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey $p < 0.05$.

A menor média para o IVG (Figura 2) foi apresentada pelas sementes da cv. Nagina 22 provenientes da condição de estresse, sendo significativamente inferior, inclusive, à linhagem CTB 1115 oriundas da mesma situação.

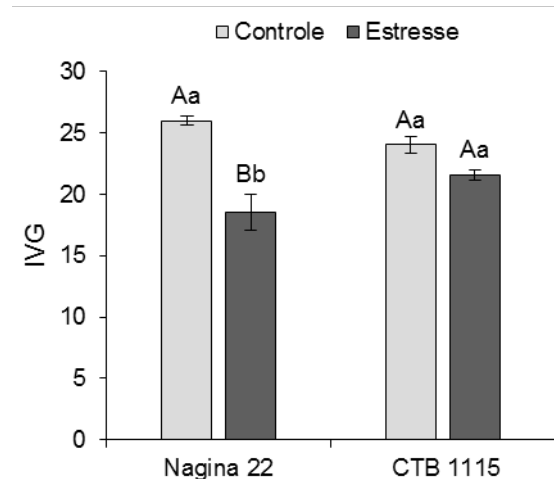


Figura 2 – Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de arroz, cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, produzidas sob condições de temperatura supra-ótima. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas comparando os tratamentos para cada cultivar e minúsculas comparando as cultivares para o mesmo tratamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey $p < 0.05$.

De acordo com Egli et al. (2005), a germinação pode ser afetada negativamente pelas condições em que as sementes são expostas durante a colheita, secagem, limpeza e armazenamento, mas também por condições ambientais desfavoráveis no campo durante o crescimento e o desenvolvimento, em particular a temperatura. Os resultados referentes aos parâmetros germinativos podem ser explicados pelo fato de o estresse por calor durante o desenvolvimento das sementes resultar em germinação reduzida e perda de vigor, diminuindo a emergência e o estabelecimento de plântulas (AKMAN, 2009; REN et al., 2009). Outro fator essencial a ser considerado é o desbalanço hormonal promovido pelo estresse por calor. Segundo Larkindale et al. (2005), ocorre decréscimo dos níveis de giberelina, hormônio indispensável ao processo germinativo.

Para a variável comprimento de parte aérea não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3A). Contudo, a massa seca (Figura 3C) destes tecidos diferiu significativamente ($p < 0,05$), sendo as maiores médias apresentadas pela cv. Nagina 22, tanto em condição de controle quanto de estresse.

Para o comprimento de raiz (Figura 3B), apenas as sementes da cv. Nagina 22 advindas da condição de estresse expressaram médias significativamente inferiores ($p < 0,05$) aos demais, evidenciando a ocorrência de danificação do meristema apical do eixo embrionário nesta cultivar (SENARATNA et al., 1988). Entretanto, em referência a massa seca de raiz (Figura 3D), este tratamento igualou-

se a CTB 1115 em ambas condições. Somente o controle da cv. Nagina 22 demonstrou valor significativamente superior para massa seca de tecidos radiculares.

O alongamento da parte aérea e das raízes das plântulas é produto da translocação de nutrientes desdobrados no endosperma da semente pela ação das enzimas hidrolases (DAS NEVES et al., 2010). A biomassa seca é o reflexo do acúmulo de carboidratos na parte aérea e nas raízes, assim como do seu comprimento (DAS NEVES et al., 2010). O amido é o constituinte principal em cereais e, segundo Jenner et al. (1995), a amido sintase exerce papel dominante no controle da conversão de carbono a amido. No presente trabalho pode ter ocorrido inibição na atividade desta enzima. De acordo com Jenner et al. (1991) ao estudarem trigo, relataram diminuição acentuada na atuação da referida enzima, em temperaturas superiores a 25°C.

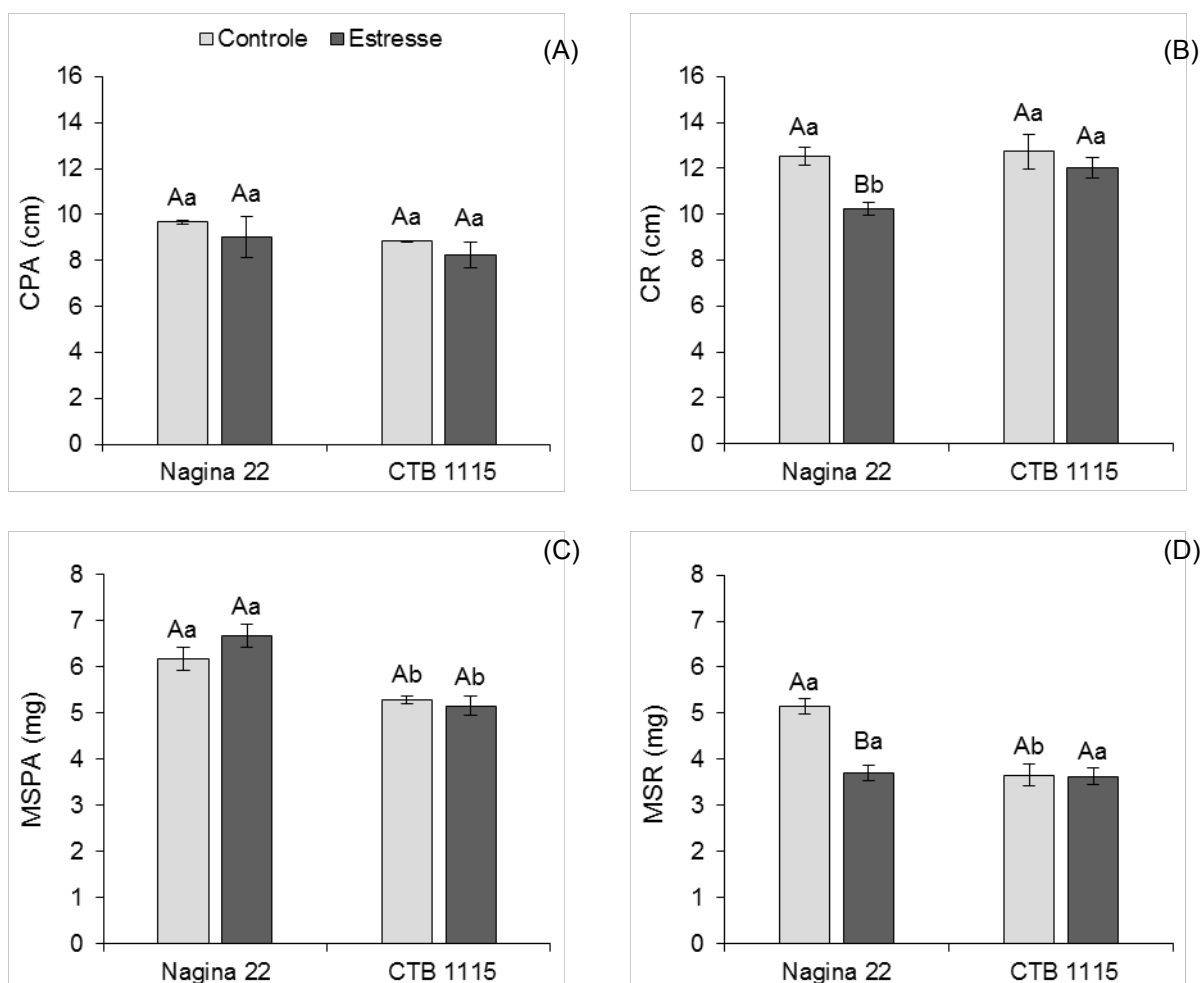


Figura 3 – Comprimento da parte aérea (A), comprimento da raiz (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca da raiz (D) de plântulas de arroz, cv. Nagina 22 e linhagem CTB 1115, produzidas sob condições de temperatura supra-ótima. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas comparando os tratamentos para cada cultivar e minúsculas comparando as cultivares para o mesmo tratamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey $p < 0.05$.

A cv. Nagina 22 caracteriza-se por apresentar elevada tolerância a altas temperaturas, em comparação com as demais cultivares indicas (YOSHIDA et al., 1981; PRASAD et al., 2006). Porém, neste estudo, tal característica não foi observada nas sementes desta cultivar submetidas ao estresse. Este comportamento pode indicar priorização e realocação de energia a outros processos metabólicos em detrimento à produção de sementes. O acúmulo de osmólitos em resposta ao estresse por calor promove aumento da estabilidade de proteínas e estabiliza a estrutura da bicamada de membranas (MIRZAEI et al., 2012). Dentre eles, estão a prolina, a glicina e betaína ou os açúcares solúveis. Os metabólitos secundários, como os fenólicos, incluindo flavonoides e antocianinas também estão significativamente envolvidos nas respostas das plantas ao estresse térmico (WAHID; CLOSE, 2007). No entanto, a energia para produção destes compostos é desviada de processos como crescimento e produção.

CONCLUSÃO

Temperaturas supra-ótimas afetam negativamente a viabilidade de sementes de arroz, sendo o efeito mais pronunciado na cv. Nagina 22 em comparação a linhagem CTB 1115.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. No. 12-03. Rome, FAO: ESA working paper (2012).

AKMAN, Z. Comparison of high temperature tolerance in maize, rice and sorghum seeds by plant growth regulators. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 8, n. 2, p. 358-361, 2009.

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. 187p.

CECCARELLI, S.; GRANDO, S.; MAATOUGUI, M.; MICHAEL, M.; SLASH, M.; HAGHPARAST, R.; RAHMANIAN, M.; TAHERI, A.; AL-YASSIN, A.; BENBELKACEM, A.; LABDI, M.; MIMOUN, H.; NACHIT, M. Plant breeding and climate changes. **The Journal of Agricultural Science**, v. 148, n. 6, p. 627-637, 2010.

COOPER, N. T. W.; SIEBENMORGEN, T. J.; COUNCE, P. A. Effects of nighttime temperature during kernel development on rice physicochemical properties. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 3, p. 276-282, 2008.

DAS NEVES, L. A. S.; BASTOS, C.; GOULART, E. P. L.; EMÍLIO, C.; HOFFMANN, F. Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado submetidas a ácidos orgânicos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 2, p. 169-177, 2010.

EGLI, D. B; TEKRONY, D. M.; HEITHOLT, J. J.; RUPE, J. AIR temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. **Crop Science**, v. 45, n. 4, p. 1329-1335, 2005.

HAMPTON, J. G. Producing quality seed: the problem of seed vigour. **Current Research on Seeds in New Zealand**, p. 53-67, 2000.

JENNER, C. F.; UGALDE, T. D.; ASPINALL, D1. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. **Functional Plant Biology**, v. 18, n. 3, p. 211-226, 1991.

JENNER, C. F.; DENYER, K.; GUERIN, J. Thermal characteristics of soluble starch synthase from wheat endosperm. **Functional Plant Biology**, v. 22, n. 4, p. 703-709, 1995.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 15-50, 1991.

KRZYZANOWSKI, F. C. **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218p.

LARKINDALE, J.; HALL, J. D.; KNIGHT, M. R.; VIERLING, E. Heat stress phenotypes of Arabidopsis mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. **Plant Physiology**, v. 138, n. 2, p. 882-897, 2005.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination and in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor**. Crop Science, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Fealq, 2005.

MIRZAEI, M.; PASCOVICI, D.; ATWELL, B. J.; HAYNES, P. A. Differential regulation of aquaporins, small GTPases and V-ATPases proteins in rice leaves subjected to drought stress and recovery. **Proteomics**, v. 12, n. 6, p. 864-877, 2012.

PENG, S.; HUANG, J.; SHEEHY, J. E.; LAZA, R. C.; VISPERAS, R. M.; ZHONG, X.; CENTENO, G. S.; KHUSH, G. S.; CASSMAN, K. G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 27, p. 9971-9975, 2004.

POWELL, A. A. Seed vigour and its assessment. In: BASRA, A. S. (Ed.) **Handbook of Seed Science and Technology**, New York: Food Products Press, p. 603-648, 2006.

PRASAD, P. V. V.; BOOTE, K. J.; ALLEN, L. H.; SHEEHY, J. E.; THOMAS, J. M. G. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice

in response to high temperature stress. **Field crops research**, v. 95, n. 2, p. 398-411, 2006.

REN, C.; BILYEU, K. D.; BEUSELINCK, P. R. Composition, vigor, and proteome of mature soybean seeds developed under high temperature. **Crop science**, v. 49, n. 3, p. 1010-1022, 2009.

SAILAJA, B.; ANJUM, N.; PRASANTH, V. V.; SARLA, N.; SUBRAHMANYAM, D.; VOLETI, S. R.; VIRAKTAMATH, B. C.; MANGRAUTHIA, S. K. Comparative study of susceptible and tolerant genotype reveals efficient recovery and root system contributes to heat stress tolerance in rice. **Plant molecular biology reporter**, v. 32, n. 6, p. 1228-1240, 2014.

SENARATNA, T.; GUSSE, J. F.; MCKERSIE, B. D. Age-induced changes in cellular membranes of imbibed soybean seed axes. **Physiologia Plantarum**, v. 73, n. 1, p. 85-91, 1988.

SHAH, F.; HUANG, J.; CUI, T.; SHAH, T.; CHEN, C.; WANG, K. Impact of high temperature stress on rice plant and its traits related to tolerance. **The Journal of Agriculture Science**, v. 149, n. 5, p. 545-556, 2011.

SHINOHARA, T.; HAMPTON, J. G.; HILL, M. J. Location of deterioration within garden pea (*Pisum sativum*) cotyledons is associated with the timing of exposure to high temperature. **New Zealand journal of crop and horticultural science**, v. 34, n. 4, p. 299-309, 2006.

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves-RS, 2014. 189 p. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/lista/552/outras-publicacoes>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

SPEARS, J. F.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Temperature during seed filling and soybean seed germination and vigour. **Seed Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 233-244, 1997.

WAHID, A.; CLOSE, T. J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. **Biologia Plantarum**, v. 51, n. 1, p. 104-109, 2007.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. International Rice Research Institute, Philippines, 1981. 269 p.

ZISKA, L. H.; BUNCE, J. A. The influence of increasing growth temperature and CO₂ concentration on the ratio of respiration to photosynthesis in soybean seedlings. **Global Change Biology**, v. 4, n. 6, p. 637-643, 1998.