

Foto: Sebastião José de Araújo



## Resposta da Produtividade do Arroz de Terras Altas ao Espaçamento Entrelinhas, Cultivar e Deficit Hídrico

Alexandre Bryan Heinemann<sup>1</sup>  
Luís Fernando Stone<sup>2</sup>  
Adriano Stephan Nascente<sup>3</sup>  
Silvando Carlos da Silva<sup>4</sup>  
Alessandra da Cunha Moraes<sup>5</sup>

### Introdução

Os agricultores brasileiros são reticentes à inclusão do arroz de terras altas nos sistemas de rotação de grãos existentes. Dois fatores explicam esse comportamento: Primeiro, como o espaçamento entrelinhas usado nos cultivos de soja, milho ou algodão varia de 0,40 m a 0,50 m, a introdução do arroz de terras altas em um sistema de rotação com essas culturas requer ajuste no espaçamento para 0,30 m, o recomendado para o arroz, o que implicaria em investimento adicional em maquinário, apenas para a semeadura do arroz. Em segundo lugar, o arroz de terras altas é altamente suscetível à deficiência hídrica quando comparado à soja, ao milho ou ao algodão, o que aumentaria os riscos para os produtores.

Assim, torna-se necessário compreender as respostas de diferentes cultivares ao espaçamento

entrelinhas, ao deficit hídrico e à interação para incorporar o arroz de terras altas na rotação com outras culturas e demonstrar a sua viabilidade econômica. As hipóteses, neste trabalho, são de que as características morfológicas e fisiológicas de cultivares de arroz, como por exemplo as plantas baixas versus altas, folhas curtas e eretas versus longas e decumbentes, alta versus baixa capacidade de perfilhamento e resistência versus susceptibilidade ao acamamento (SANTOS et al., 2006), levam a diferentes níveis de tolerância à deficiência hídrica e padrões de comportamento, de acordo com o espaçamento entrelinhas utilizado. Portanto, podem ajudar a superar as restrições à inclusão do arroz de terras altas nos sistemas de rotação de culturas existentes no Cerrado brasileiro. Com base nisso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de espaçamentos entrelinhas sobre a produtividade de três cultivares de arroz de terras altas, BRSMG Curinga, BRS Primavera e Douradão,

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>4</sup> Engenheiro-agrícola, mestre em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>5</sup> Bacharel em Tecnologia em Geoprocessamento, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

sob diferentes condições de deficit hídrico, em Formoso do Araguaia, TO, em Porangatu, GO, e em Santo Antônio de Goiás, GO.

## Material e Métodos

Os locais de realização dos experimentos foram selecionados de modo que refletissem situações de produção contrastantes em termos de impacto, frequência e época de ocorrência do deficit hídrico (HEINEMANN et al., 2015). Três experimentos foram realizados, na safra 2009/2010, em Formoso do Araguaia, TO (semeadura em 12/12/2009), em Porangatu, GO (semeadura em 16/11/2009) e em Santo Antônio de Goiás, GO (SAG-2009, semeadura em 24/01/2010), e um quarto experimento foi conduzido na safra 2010/2011 em Santo Antônio de Goiás (SAG-2010, semeadura em 09/12/2010). Os solos nesses locais são classificados como Latossolo, para Santo Antônio de Goiás e Porangatu, e Cambissolo, para Formoso do Araguaia.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os locais constituíram as parcelas principais, os espaçamentos entrelinhas, as subparcelas, e as cultivares, as subsubparcelas.

Em cada experimento, o arroz foi semeado a 0,25 m; 0,35 m; 0,45 m e 0,55 m entrelinhas, mantendo o mesmo número de sementes por área, 230 sementes m<sup>-2</sup>. Foram comparadas três cultivares de arroz de terras altas, BRSMG Curinga, BRS Primavera e Douradão. A BRSMG Curinga e a BRS Primavera são classificadas como cultivares modernas, enquanto a Douradão é caracterizada como uma cultivar tradicional. As cultivares diferem no número de folhas no colmo principal e no ciclo de desenvolvimento. A BRSMG Curinga apresenta ciclo médio (110 dias após a semeadura - DAS), a BRS Primavera também é de ciclo médio (100 DAS) e a Douradão é a cultivar de ciclo mais curto (95 DAS). As três cultivares também diferem em sua resposta ao deficit hídrico (HEINEMANN et al., 2011).

A adubação de base foi feita com 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicados como superfosfato triplo, 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, como cloreto de potássio, e 5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, como sulfato de zinco. Aplicou-se um total

de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) em duas doses: 50% no início do perfilhamento e 50% na iniciação da panícula, correspondendo às fases V3 e R0 da escala fenológica de Counce et al. (2000). A produtividade de grãos foi medida em uma área de 6 m<sup>2</sup> no centro de cada subsubparcela e corrigida para o conteúdo de umidade de 13%.

O conteúdo de água no solo, a cada 0,10 m, no perfil de 0,00 m a 1,00 m, foi medido com uma sonda de capacitância, durante o ciclo da cultura, em todos os experimentos. Para comparar as medidas de deficit hídrico do solo entre experimentos, os conteúdos de água do solo das primeiras quatro camadas, até 0,40 m, o que corresponde à profundidade do sistema radicular do arroz de terras altas (SANTOS et al., 2006), foram somados e, então, normalizados pelas respectivas capacidades de retenção de água do solo. Esse conteúdo de água do solo normalizado é referido como conteúdo relativo de água do solo (CRAS). Considerou-se que o conteúdo entre 85% e 100% da capacidade de retenção de água do solo (CRAS entre 0,85 e 1,00) não produz estresse nas plantas de arroz.

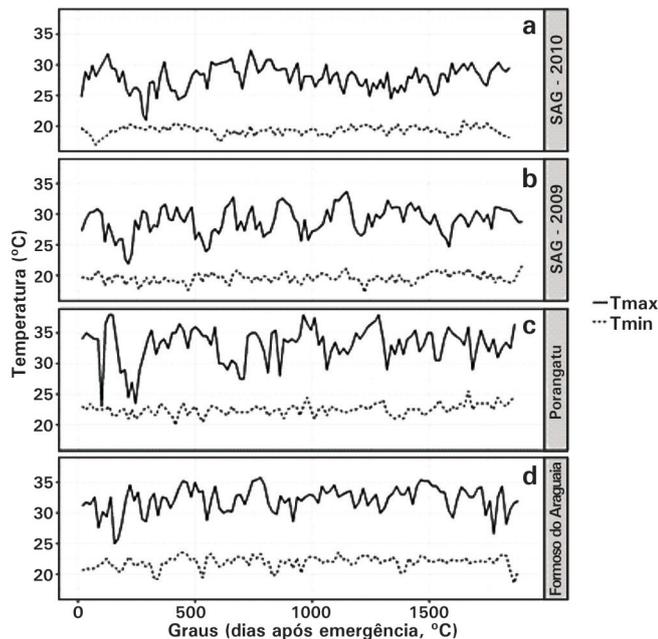
Os dados foram analisados utilizando modelos de efeito linear misto. Os níveis de espaçamento entrelinhas, combinados com blocos dentro dos locais, identificam as subparcelas e foram considerados como um efeito aleatório, ao passo que, os espaçamentos entrelinhas, as cultivares e os ambientes foram considerados efeitos fixos. A produtividade e seus componentes foram as variáveis independentes no modelo de efeito linear misto, sendo testadas suas respostas linear e quadrática para o espaçamento entrelinhas.

Os parâmetros estatísticos do modelo foram calculados pelo método de máxima verossimilhança utilizado no teste de Wald. Todas as inferências foram feitas no nível de significância de 5%. A análise pelo modelo de efeito linear misto foi realizada utilizando-se o software estatístico R, pacote "nlme" (*Nonlinear Mixed-Effects Models*) (PINHEIRO; BATES, 2000). Mais detalhes sobre este estudo estão descritos em Heinemann et al. (2017).

## Resultados e Discussão

A temperatura máxima média e a variação de temperatura (Figura 1) foram mais altas em

Porangatu e mais baixas em Santo Antônio de Goiás. A precipitação e o conteúdo de água no solo foram menores em Formoso do Araguaia e maiores em SAG-2010, único experimento em que foi aplicada a irrigação suplementar, com um sistema de aspersão, a fim de evitar qualquer deficit hídrico.



**Figura 1.** Temperaturas máxima e mínima nos quatro ambientes: (a) Santo Antônio de Goiás 2010 (SAG-2010); (b) Santo Antônio de Goiás 2009 (SAG-2009); (c) Porangatu; (d) Formoso do Araguaia. A linha preta, cheia, indica a temperatura máxima, e a tracejada a temperatura mínima.

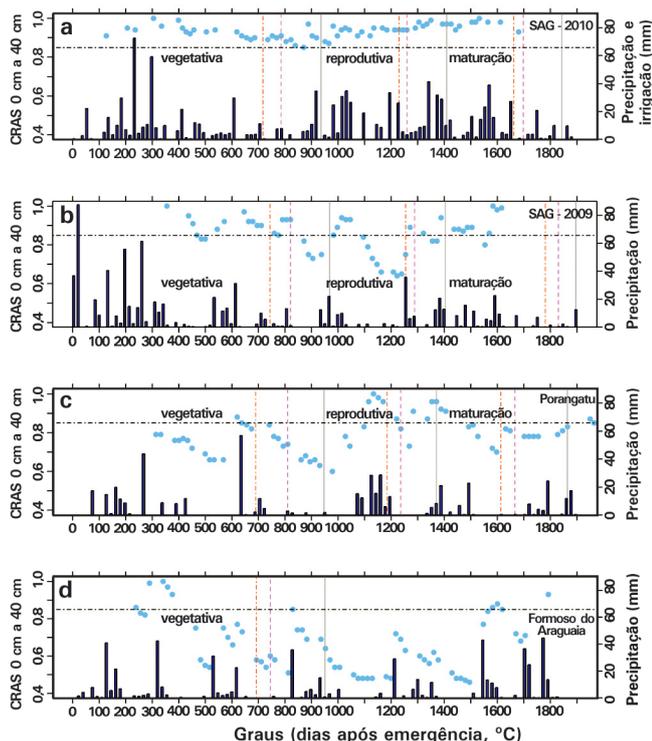
Essas diferenças ambientais condicionaram situações de estresse altamente contrastantes nos diferentes locais (experimentos), para as diferentes cultivares (Figura 2). Devido às diferenças ambientais, serão usadas as palavras “local”, “experimento” e “ambiente”, de forma intercambiável, daqui em diante. Em Santo Antônio de Goiás, em 2010 (SAG-2010), não houve deficit significativo de água no solo durante a fase de crescimento (Figura 2a), com CRAS variando entre 0,85 e 1,0, durante todo o ciclo do arroz.

Em contraste com SAG-2010, os outros três experimentos apresentaram graus variados de deficit hídrico (Figura 2). Para Santo Antônio de Goiás, em 2009 (SAG-2009), o deficit hídrico no solo ocorreu duas vezes, entre o início da fase reprodutiva das cultivares Douradão e BRS Primavera e o término da fase vegetativa da cultivar BRSMG Curinga (Figura 2b) e, mais

adiante, com maior severidade, no final da fase reprodutiva das cultivares de ciclo mais curto, Douradão e BRS Primavera, e no meio da fase reprodutiva da cultivar BRSMG Curinga. O CRAS foi de cerca de 0,6 durante o período mais intenso de deficit hídrico do solo (Figura 2b). O deficit hídrico ocorrido no final da fase vegetativa e início da fase reprodutiva pode ser atribuído à distribuição das chuvas, uma vez que a precipitação pluvial total durante esse período foi superior à do melhor ambiente (SAG-2010). Por outro lado, o deficit hídrico durante as fases reprodutiva e de enchimento dos grãos ocorreu, principalmente, devido à menor precipitação, em comparação com o SAG-2010.

Em Porangatu ocorreram três diferentes períodos de deficit hídrico do solo durante os experimentos, nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos, para todas as cultivares (Figura 2c). Consistente com os níveis de deficit hídrico observados, a precipitação pluvial em todas as fases foi cerca de metade da observada no SAG-2010. O deficit hídrico mais intenso ocorreu entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo. Além da baixa precipitação pluvial, os baixos teores de matéria orgânica e a alta porcentagem de areia no solo, provavelmente, contribuíram para o deficit hídrico nesse ambiente.

Em Formoso do Araguaia, as cultivares sofreram deficit hídrico durante praticamente todo o período de crescimento, com CRAS abaixo de 0,85 em mais de 50 dos 116 dias. Nesse ambiente, observou-se deficit hídrico severo durante a fase reprodutiva. Esse deficit hídrico causou alta variabilidade entre as plantas na mesma parcela, o que impediu uma definição precisa das fases reprodutiva e de enchimento de grãos, e essas fases são uma aproximação nesse local (Figura 2d). Nesse ambiente, a precipitação pluvial durante a fase vegetativa foi metade da observada no mesmo período no SAG-2010, enquanto que, durante a fase reprodutiva, foi de apenas 80 mm. Formoso do Araguaia apresentou as menores porcentagens de argila no solo, sugerindo que o baixo teor desse mineral também contribuiu para o deficit hídrico observado.



**Figura 2.** Conteúdo relativo de água no solo (CRAS, círculo cheio [•], cor azul-claro) e precipitação (mm, barra cor azul-escuro) para três cultivares, Douradão, BRS Primavera e BRSMG Curinga, e quatro ambientes: (a) Santo Antônio de Goiás 2010 (SAG-2010); (b) Santo Antônio de Goiás 2009 (SAG-2009); (c) Porangatu; e (d) Formoso do Araguaia. A linha preta horizontal pontilhada representa CRAS = 0,85 e, abaixo desse valor, assume-se que houve deficiência hídrica. Linhas verticais representam a transição entre fases fenológicas (vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos) para as três cultivares (Douradão - linha pontilhada tracejada, cor coral; BRS Primavera - linha pontilhada, cor violeta; e BRSMG Curinga - linha sólida, cor cinza).

Foi observada interação significativa entre ambientes e cultivares com relação à produtividade de grãos (Figura 3), com o ambiente sem deficit hídrico (SAG-2010) propiciando produtividades mais elevadas. No SAG-2010, a cultivar mais moderna, BRSMG Curinga, apresentou a maior produtividade, independentemente do espaçamento entrelinhas.

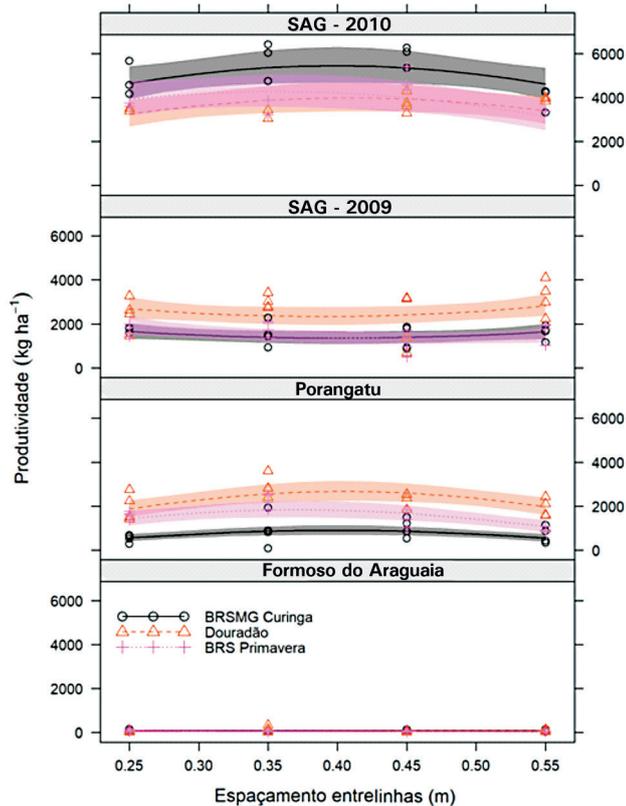
À medida que o deficit hídrico do solo aumentou, a produtividade diminuiu, com a cultivar Douradão apresentando as maiores produtividades nos ambientes SAG-2009 e Porangatu. De acordo com Heinemann et al. (2011), a cultivar Douradão apresenta maior fechamento estomático no início do período de deficit hídrico, o que evita

a dessecação. Esse comportamento justifica as maiores produtividades dessa cultivar nos ambientes onde o deficit hídrico foi moderado (SAG-2009 e Porangatu). No ambiente sem deficit hídrico (SAG-2010), no entanto, a produtividade da cultivar Douradão foi, provavelmente, limitada pelo fechamento estomático precoce, o que resultou em menor assimilação de carbono e fotossíntese e menor interceptação de luz, devido à arquitetura da planta (DINGKUNH et al., 2015).

Finalmente, em Formoso do Araguaia, onde ocorreram os mais severos deficit hídricos do solo, as produtividades foram próximas de zero para todas as cultivares e espaçamentos.

Foi verificada também interação estatisticamente significativa entre ambientes e espaçamentos entrelinhas com relação à produtividade de grãos (Figura 3), o que foi atribuído a uma resposta ligeiramente não linear entre produtividade e espaçamento entrelinhas no SAG-2010 e em Porangatu, não observada nos outros dois ambientes. Embora essa resposta indique claramente que a produtividade é um pouco responsiva ao espaçamento entrelinhas, indica também que o valor ótimo é de cerca de 0,40 m. Esse resultado sugere que o espaçamento entrelinhas maior pode ter sido benéfico para a produtividade do arroz, em SAG-2010 e Porangatu, e não teve impactos negativos significativos sobre a produtividade nos outros dois ambientes (SAG-2009 e Formoso do Araguaia).

No presente estudo, dependendo do ambiente e da cultivar, houve impacto positivo ou nenhum impacto na produtividade do espaçamento entrelinhas, e o seu efeito médio não foi estatisticamente significativo. Esses resultados sugerem que a produtividade foi dependente da cultivar e do ambiente e não do espaçamento entrelinhas. Com base nisso, os agricultores podem cultivar o arroz de terras altas em um espaçamento maior (> 35 cm) que o utilizado pelo programa de melhoramento de arroz de terras altas, em um sistema de rotação com milho, soja ou algodão, utilizando a mesma semeadora.



**Figura 3.** Efeito do espaçamento entrelinhas na produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para os quatro experimentos (SAG-2010, SAG-2009, Porangatu e Formoso do Araguaia) e cultivares (BRSMG Curinga - cinza, BRS Primavera - violeta, e Douradão - coral). Caracteres (círculo, triângulo e +) representam os valores de produtividade observados para cada espaçamento (0,25 m; 0,35 m; 0,45 m e 0,55 m) e as linhas correspondem aos valores de produtividade preditos pelo modelo linear misto. Faixas representam os intervalos de confiança a 95% em relação à média citada.

## Conclusões

Os resultados deste estudo permitem concluir que, nos ambientes menos estressantes (SAG-2009 e SAG-2010), as cultivares modernas BRSMG Curinga e BRS Primavera apresentaram a maior produtividade de grãos. Em contraste, nos ambientes com deficit hídrico moderado a intenso (Porangatu), a cultivar tradicional Douradão apresentou o melhor desempenho, independente do espaçamento entrelinhas usado. Ademais, os resultados não mostram nenhum impacto negativo do espaçamento entrelinhas mais largo na produtividade de grãos, em quaisquer um dos três ambientes, para as três cultivares. Conclui-se que o arroz de terras altas é uma opção viável para os sistemas de rotação existentes no Brasil Central, em razão de que as cultivares de terras altas testadas podem ser semeadas com as mesmas semeadoras

empregadas para a semeadura de soja, de milho ou de algodão, com espaçamento entrelinhas de 0,40 m, sem perdas de produtividade perceptíveis.

## Referências

- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHEL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, Mar./Apr. 2000.
- DINGKUHN, M.; LAZA, M. R. C.; KUMAR, U.; MENDEZ, K. S.; COLLARD, B.; JAGADISH, K.; SINGH, R. K.; PADOLINA, T.; MALABAYABAS, M.; TORRES, E.; REBOLLEDO, M. C.; MANNEH, B.; SOW, A. Improving yield potential of tropical rice: achieved levels and perspectives through improved ideotypes. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 182, p. 43-59, Oct. 2015.
- HEINEMANN, A. B.; BARRIOS-PEREZ, C.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ARANGO-LONDOÑO, D.; BONILLA-FINDJI, O.; MEDEIROS, J. C.; JARVIS, A. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 66, n. 12, p. 3625-3638, June 2015.
- HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; NASCENTE, A. S.; ZEVIANI, W. M.; STONE, L. F.; SENTELHAS, P. C. Upland rice cultivar responses to row spacing and water stress across multiple environments. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 53, n. 4, p. 609-626, Oct. 2017.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 24-30, jan./fev. 2011.
- PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. New York: Springer, 2000. 528 p.
- SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). *A cultura do arroz no Brasil*. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

**Comunicado Técnico, 230**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Arroz e Feijão**  
Endereço: Rod. GO 462 Km 12 Zona Rural, Caixa Postal 179 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (62) 3533 2238  
Fax: (62) 3533 2105  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição  
On-line (2017)

**Comitê de publicações**

**Presidente:** *Lineu Alberto Domiti*  
**Secretário-Executivo:** *Pedro Marques da Silveira*  
**Membros:** *Aluisio Goulart Silva, Ana Lúcia Delalibera de Faria, Élcio Perpétuo Guimarães, Luciene Fróes Camarano de Oliveira, Luís Fernando Stone, Márcia Gonzaga de Castro Oliveira, Roselene de Queiroz Chaves*

**Expediente**

**Supervisão editorial:** *Luiz Roberto R. da Silva*  
**Revisão de texto:** *Luiz Roberto R. da Silva*  
**Normalização bibliográfica:** *Ana Lúcia Delalibera de Faria*  
**Editoração eletrônica:** *Fabiano Severino*