



ARTIGO ORIGINAL

José Antônio de Paula Oliveira<sup>1</sup>  
Adriano Stephan Nascente<sup>2</sup>  
Luis Fernando Stone<sup>2</sup>  
Anna Cristina Lanna<sup>2</sup>  
Alexandre Bryan Heinemann<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Samambaia, Av. Esperança s/n, Prédio da Reitoria, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil

<sup>2</sup> Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, km 12, Zona Rural, CP 179, 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: alexandre.heinemann@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

*Oryza sativa*  
Ecofisiologia  
Graus-dia  
Estádio de desenvolvimento

KEYWORDS

*Oryza sativa*  
Ecophysiology  
Degree-days  
Development stage

## Épocas de semeadura afetando índices morfofisiológicos de cultivares de arroz de terras altas

*Effects of seeding times on morphophysiological indices of upland rice cultivars*

**RESUMO:** A manifestação do potencial produtivo das culturas depende de fatores genéticos e de condições favoráveis de ambiente e de manejo. Objetivou-se determinar os efeitos das épocas de semeadura na eficiência do uso da radiação solar, nos índices morfofisiológicos e na produtividade de grãos de cultivares contrastantes de arroz de terras altas. O experimento de campo foi conduzido na região central do Brasil em solo sob Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso no esquema fatorial 3 x 5, com oito repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de três cultivares (BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão) com cinco datas de semeadura (11/09/2012, 22/10/2012, 28/11/2012, 21/12/2012 e 27/2/2013). Todas as cultivares requereram menos graus-dia acumulados para atingir a fase reprodutiva quanto mais tardia foi a data de semeadura. Os menores acúmulos de biomassa e índices de área foliar das três cultivares ocorreram na data de semeadura mais precoce, o que pode ter sido resultado de menor eficiência do uso da radiação (EUR) nesse período. A partição de assimilados para as folhas e colmos foi semelhante entre as cultivares, contudo a taxa de assimilação/translocação de carboidratos para as panículas foi maior para as cultivares BRSMG Curinga e Douradão. As cultivares diferiram quanto ao número total de grãos por área, tendo a cultivar Douradão apresentado o maior número e a BRS Primavera o menor. As maiores produtividades foram obtidas nas datas de semeadura que abrangeram o período tradicional de semeadura do arroz de terras altas, outubro a dezembro.

**ABSTRACT:** The expression of the full yield potential of crops depends on genetic factors, favorable environmental conditions and management. This study aimed to determine the effects of sowing dates on the solar radiation use efficiency (RUE), on morphophysiological indices, and on the grain yield of contrasting upland rice cultivars. The field experiment was conducted in the central region of Brazil in soils in Cerrado areas. The experiment had a 3 x 5 factorial randomized design with eight replications. The treatments consisted of combinations of three cultivars (BRS Primavera, BRSMG Curinga, and Douradão) with five sowing dates (11/09/2012, 22/10/2012, 11/28/2012, 21/12/2012, and 27/2/2013). All cultivars required less accumulated degree-days to reach the reproductive phase as the sowing was delayed. The lower biomass accumulation and leaf area index (LAI) of the three cultivars occurred on the earlier sowing date, which may have been a result of lower RUE. The assimilate partitioning to leaves and stems was similar among cultivars, but the translocation rate of carbohydrates to the panicle was higher in the cultivars BRSMG Curinga and Douradão. The cultivars differed in the total number of grains per area, with the highest values found in Douradão and the lowest in BRS Primavera. The highest grain yields were obtained in sowing dates covering the traditional period of sowing upland rice, which is October to December.

Recebido: 27 jan. 2015

Aceito: 23 ago. 2017

# 1 Introdução

O arroz de terras altas é cultivado na Ásia, África e Américas, correspondendo a 12% da produção global de arroz (FAO, 2017). A cultura nesse ambiente tem crescido em importância por causa da diminuição da disponibilidade de água para o cultivo do arroz irrigado (Bouman et al., 2005; Crusciol et al., 2013a; Nascente et al., 2017).

O potencial produtivo das culturas depende de fatores genéticos e das condições de ambiente e manejo (Santos et al., 2017; Teixeira et al., 2017). As variações da temperatura do ar, das disponibilidades de radiação e precipitação influenciam a fenologia, o crescimento e o desenvolvimento da planta (Santana et al., 2016). Esse potencial, definido pela interação genótipo-ambiente, pode ser maximizado por meio da escolha adequada da época de semeadura (Teixeira et al., 2015, 2017). A produtividade a ser obtida em cada época de semeadura dependerá principalmente da quantidade de radiação solar incidente, da eficiência de interceptação e de conversão da radiação interceptada em fitomassa, e da eficiência de partição de assimilados à estrutura de interesse econômico (Andrade, 1995; Nascente et al., 2016).

A janela de semeadura do arroz de terras altas na região produtora é considerada curta, de outubro a dezembro, em razão do risco de deficiência hídrica (Heinemann & Stone, 2009; Heinemann et al., 2016). Entretanto, nem sempre os produtores conseguem atender esse período. Com o uso da irrigação suplementar, pode-se evitar o estresse hídrico e esse período de semeadura pode ser antecipado ou postergado, de modo a aproveitar ao máximo a radiação solar. Entretanto, há poucos estudos sobre o efeito das variáveis climáticas nos determinantes fisiológicos do arroz de terras altas, bem como sua relação com a dinâmica de crescimento e acúmulo de biomassa produzida pela planta (Tesfaye et al., 2006; Crusciol et al., 2013a; Heinemann et al., 2009, 2016).

A fenologia é parte da ecologia de plantas e permite o estudo de mudanças no seu ciclo de desenvolvimento (Cleland et al., 2007; Leite et al., 2012). A biomassa expressa o produto da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) pela cultura e acumulada durante o período de crescimento e a eficiência na qual o dossel converte radiação em mais biomassa (EUR, eficiência do uso da radiação). O aumento na quantidade de biomassa é dependente da habilidade em aumentar a RFAi ou a EUR (Acreche et al., 2009; Sandaña et al., 2012). A análise de crescimento pode ser utilizada nas observações das variáveis fisiológicas que se correlacionam positivamente com a produtividade de grãos (Alvarez et al., 2012; Nascente et al., 2016). É também o meio mais acessível para avaliar o crescimento e entender a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (Antoniazzi & Deschamps, 2006; Falqueto et al., 2009).

Partiu-se da hipótese de que cultivares com diferentes tipos de plantas, como moderna, BRS Primavera e BRSMG Curinga (plantas baixas, folhas curtas e eretas, alta capacidade de perfilhamento e excelente resistência ao acamamento) e tradicional, Douradão (plantas altas, folhas compridas e decumbentes, baixa capacidade de perfilhamento e suscetível ao acamamento) (Santos et al., 2006; Crusciol et al., 2013b) podem ter diferentes características morfofisiológicas e

comportamentos diferentes em relação à época de semeadura. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar os efeitos das épocas de semeadura na eficiência do uso da radiação solar, nos índices morfofisiológicos e na produtividade de grãos de cultivares contrastantes de arroz de terras altas.

# 2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Santo Antônio de Goiás, GO, 16°28'00"S e 49°17'00"W, com altitude de 823 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho ácrico, cuja camada superficial (0-0,2 m) apresentou as seguintes características físicas e químicas: textura argilosa; 1,5 Mg m<sup>-3</sup> de densidade do solo; 6,0 de pH (H<sub>2</sub>O); 1,7 dag dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; 5,7 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K; 2,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 3,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de acidez potencial; 6,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC a pH 7 e 50% de saturação por bases. O experimento foi conduzido de forma a minimizar os efeitos dos estresses abiótico e biótico. A irrigação foi feita por meio de sistema convencional de aspersão e seu manejo por meio de baterias de tensiômetros a 15 cm de profundidade, irrigando quando a tensão da água no solo atingia 20 kPa.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial, com oito repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco datas de semeadura (11/09/2012, 22/10/2012, 28/11/2012, 21/12/2012 e 27/2/2013, denominadas nesse estudo 1, 2, 3, 4 e 5) com três cultivares de arroz de terras altas (BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão). Essas cultivares diferem no número de folhas no colmo principal, ou seja, no ciclo de desenvolvimento, número de perfilhos e, consequentemente, na quantidade de biomassa produzida (Heinemann et al., 2009). As cultivares BRS Primavera e BRSMG Curinga são consideradas cultivares modernas, lançadas em 1995 e 2005, respectivamente, e a Douradão é considerada cultivar tradicional, lançada em 1970 (Santos et al., 2006). As parcelas foram constituídas de 15 linhas, com 7 m de comprimento e espaçadas de 0,4 m.

As adubações de base e de cobertura foram similares para todas as datas de semeadura, sendo aplicados na base 450 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-30-15. A adubação de cobertura consistiu da aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de sulfato de amônio, dividida em duas aplicações: 50 kg ha<sup>-1</sup> aos 13 dias após a emergência (pré-perfilhamento) e 50 kg ha<sup>-1</sup> aos 57 dias após a emergência (pré-florescimento). O controle de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as necessidades da cultura.

Os eventos que definem as fases fenológicas: datas de semeadura, emergência, iniciação da panícula, florescimento e maturação fisiológica foram observados no campo. Para a realização da análise de crescimento, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foram coletadas semanalmente 0,5 m de plantas em cada parcela. Essas plantas foram separadas em colmos, folhas e panículas. Esse material foi seco em estufa a 75 °C por 48 h e pesado para obter a sua massa seca total (MST) e seus componentes (folhas, colmos e panículas). A área foliar foi determinada por medidor fotoelétrico, modelo LI-3100 (LI-COR). Também se coletaram as variáveis climáticas radiação solar global e temperaturas do ar máxima (Tmax) e

mínima (Tmin) diárias necessárias para o cálculo dos graus-dia no período de experimentação.

A taxa do desenvolvimento fenológico relativo (DVR) das cultivares para as fases vegetativa (v), abrangendo da emergência à iniciação da panícula (0-0,65), reprodutiva (r), da iniciação da panícula ao florescimento (0,65-1) e enchimento de grãos (eg), da floração à maturação fisiológica (1-2), foi calculada de acordo com os procedimentos descritos por Bouman et al. (2001). A dinâmica da temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar global e o incremento diário de graus-dia (HU) durante o período foram monitorados (Figura 1).

A dinâmica da matéria seca acumulada (MST) das cultivares, para cada data de semeadura, foi estimada por meio do modelo logístico representado na Equação 1:

$$MST = a / (1 + (b \cdot \exp^{(cGDA)})) \quad (1)$$

sendo: a, b e c os valores dos parâmetros relativos à assíntota, inflexão e escala, respectivamente, e graus-dia acumulados no tempo (GDA) é o HU (incremento diário de graus-dia) após a emergência.

A eficiência do uso da radiação (EUR), expressa em g MJ<sup>-1</sup>, foi calculada por meio do coeficiente angular da regressão linear entre MST, em kg ha<sup>-1</sup>, e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA), em MJ m<sup>-2</sup>, assumindo-se que a RFA corresponde a 50% da radiação solar global diária incidente média, no período compreendido entre os estádios de desenvolvimento.

A partição de matéria seca foi obtida a partir da matéria seca dos órgãos: folhas (MSF), colmos (MSC) e panículas (MSP), em função da MST. Devido ao fato de as cultivares apresentarem diferentes ciclos de desenvolvimento, os dados de partição da matéria seca para as três cultivares foram expressos em tempo cronológico denominado DVS, em que 0 foi considerada a data de emergência, e 0,65 a data de iniciação da panícula. A fase reprodutiva de 0,65 a 1, em que 1 foi considerada a data de florescimento, e a fase de enchimento de grãos de 1 a 2, em que 2 foi considerada a data de maturação fisiológica. A área específica foliar (AEF) foi calculada pela razão entre a área da folha e a sua massa, e também foi expressa no tempo cronológico DVS. Para determinar as tendências na partição da

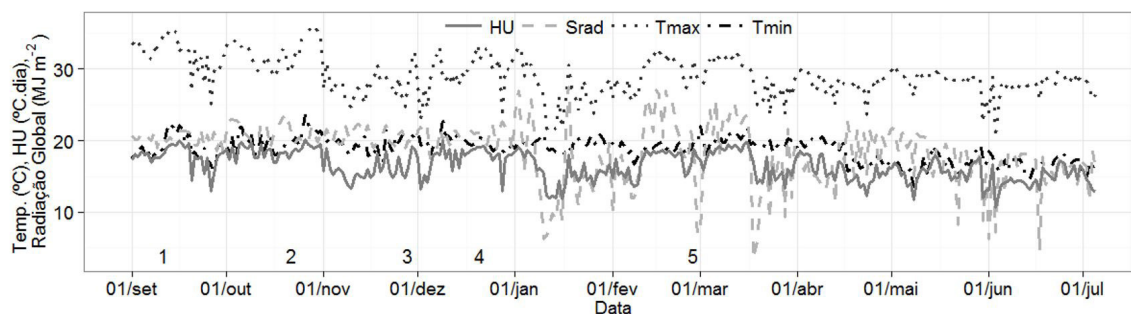
matéria seca e na AEF, utilizou-se o algoritmo de suavização de Kalman (Petrus, 2010) para obter os valores médios e suas variâncias. Para o ajuste da função logística e aplicação do algoritmo de suavização de Kalman, foi usado o programa R, v.3.0 (R Development Core Team, 2010), pacotes nlme e dlm.

A colheita foi realizada após a maturação fisiológica. A produtividade de grãos e seus componentes (número de grãos por m<sup>2</sup> e porcentagem de grãos cheios) foram medidos em uma área de 6 m<sup>2</sup> localizada no centro de cada parcela, considerando quatro linhas de 0,5 m. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste comparativo de médias, Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o pacote estatístico SAS. Para os dados quantitativos (época de semeadura) foram realizadas análises de regressão.

### 3 Resultados e Discussão

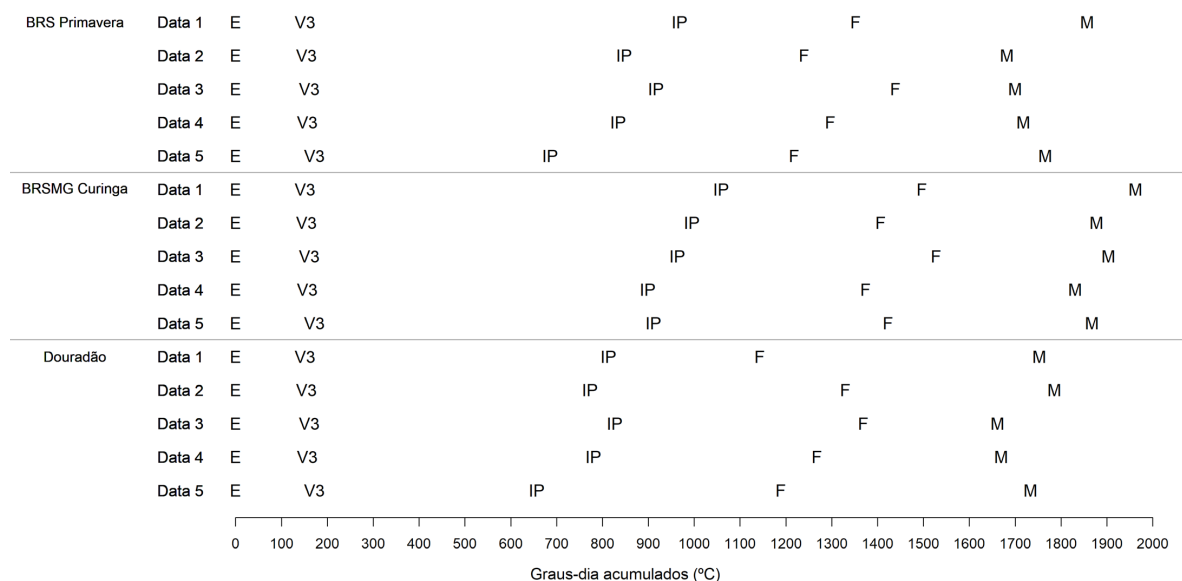
De maneira geral, para todas as cultivares, a necessidade de GDA da emergência a iniciação da panícula diminuiu em razão da semeadura tardia (semeadura 1- setembro a semeadura 5- fevereiro) (Figura 2). Isto é confirmado pelo aumento, na fase vegetativa, da taxa de desenvolvimento relativo (DVR) das plantas de arroz de terras altas observada no período abrangido pelas diferentes datas de semeadura (Tabela 1), tendo como consequência aumento na velocidade de emissão de folhas no colmo principal. O desenvolvimento do arroz, principalmente na fase vegetativa, é regido pela temperatura (van Oort et al., 2011), e a semeadura tardia proporciona um aumento no acúmulo de GDA em um menor período devido ao aumento da temperatura e diminuição na probabilidade de precipitação (Figura 1). Basicamente, essa diferença é notada após a emissão da terceira folha no colmo principal (V3, Figura 2). Esse efeito é mais acentuado para a cultivar BRS Primavera, que apresentou redução de 281 GDA, da emergência (E) a iniciação da panícula (IP), entre as datas de semeadura 1 e 5. As cultivares BRSMG Curinga e Douradão apresentaram redução de 148 e 156 GDA entre as datas de semeadura 1 e 5, respectivamente (Tabela 1).

Na fase reprodutiva, ao contrário da fase anterior, o valor da DVR tende a diminuir da data de semeadura 1 para a data 5 (Tabela 1). Isso implica que plantas de arroz de terras altas



**Figura 1.** Dinâmica da temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) do ar, radiação solar global (Srad) e graus-dia (HU) durante período experimental (setembro/12 a junho/13). Os números de 1 a 5 indicam as respectivas datas de semeadura 11/09/12, 22/10/12, 28/11/12, 21/12/12 e 27/2/13.

**Figure 1.** Dynamics of maximum and (Tmax), minimum (Tim) air temperature, solar radiation (SRAD) and degree-days (HU) during trial period (from September/12 to June/13). Numbers 1-5 indicate their sowing dates 09/11/12, 10/22/12, 11/28/12, 12/21/12 and 02/27/13.



**Figura 2.** Fenologia das cultivares BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão em razão do somatório de graus-dia acumulados (GDA) para as datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13). E – emergência; V3 – terceira folha no colmo principal desenvolvida; IP – iniciação da panícula; F – florescimento e M – maturação fisiológica.

**Figure 2.** Phenology of BRS Primavera, BRSMG Curinga and Douradão because as a function of accumulated degree days (GDA) for sowing dates 1 (09/11/12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (02/27/13). E - Emergency; V3 - third sheet developed in the main stem; IP - panicle initiation; F - flowering and M - physiological maturity.

possuem maior necessidade de GDA para atingir o florescimento (Figura 2), sendo o efeito mais acentuado para a cultivar Douradão, com variação de 202 GDA entre as datas 5 e 1, contra 148 e 75 GDA das cultivares BRS Primavera e BRSMG Curinga, respectivamente. Uma possível explicação é que as cultivares modernas, lançadas a partir de 2001, foram selecionadas para ter o florescimento em torno de 80 dias após a emergência (Breseghello et al., 2011), o que não ocorre para as tradicionais. Para a fase de enchimento de grãos (da floração à maturação fisiológica), não houve tendência definida, entre as datas de semeadura, de variação na DVR, bem como pouca variação nos GDA para atingir a maturação fisiológica. A razão disso é que essa fase é menos responsiva à temperatura que as fases vegetativa e reprodutiva. Corroborando essa observação, van Oort et al. (2011) relataram que para a fase de enchimento de grãos a mesma acurácia pode ser obtida assumindo um número fixo de dias.

Considerando a média das cinco datas de semeadura, as cultivares BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão necessitaram, respectivamente, de 850, 965 e 770 GDA para a iniciação da panícula, 459, 480 e 490 GDA para o florescimento e 435, 443 e 461 GDA para atingir a maturação fisiológica (Tabela 1). Observa-se que a maior variabilidade na necessidade de GDA entre as três cultivares ocorreu na fase vegetativa.

A temperatura média máxima para a fase vegetativa diminuiu da data de semeadura 1 para a 4, aumentando para a última data (Tabela 1). Nessa fase, a Tmax apresentou maior variabilidade que a temperatura média mínima. Para a fase reprodutiva, foi observado efeito contrário: a Tmax não apresentou tendência de redução entre as datas de semeadura 1 e 5. A Tmin, nessa

fase, apresentou maior variação que a Tmax. A amplitude térmica na fase vegetativa foi maior para a data de semeadura 1. Já na fase reprodutiva, ela foi maior na data de semeadura 5. Cultivares de ciclo maior, BRS Primavera e BRSMG Curinga, apresentaram maior acúmulo de radiação solar global na fase vegetativa na data 1. Já a de ciclo menor, Douradão, foi na data 2. O déficit de pressão de vapor (DPV), que representa a demanda evaporativa, variou de 1,18 a 1,20 kPa na fase vegetativa, tendo baixa variabilidade entre as datas de semeadura. Para as fases reprodutiva e de enchimento de grãos, o déficit variou de 1,18 a 1,29 kPa, sendo os maiores valores observados na última data de semeadura. Essa data de semeadura apresenta os maiores valores de dias sem precipitação (DSP, Tabela 1).

A dinâmica do acúmulo da biomassa e do índice de área foliar (IAF) observada para as três cultivares e cinco datas de semeadura é ilustrada na Figura 3. Para a cultivar moderna BRS Primavera, o maior acúmulo de biomassa ocorreu na data 2, e os maiores valores de IAF nas datas 4 e 5; já o menor acúmulo de biomassa ocorreu nas datas 3 e 1, e o menor valor de IAF na data 1 (Figura 3a, 3d). Para a outra cultivar moderna, BRSMG Curinga, o maior acúmulo de biomassa e IAF ocorreu na data 4, e o menor valor de acúmulo de biomassa e de IAF nas datas 1 e 2 (Figura 3b, 3e). Já para a cultivar tradicional Douradão, o maior acúmulo de biomassa ocorreu na data de semeadura 3, e o maior valor de IAF na data 2; e o menor acúmulo de biomassa e valor de IAF na data 1 (Figura 3c, 3f).

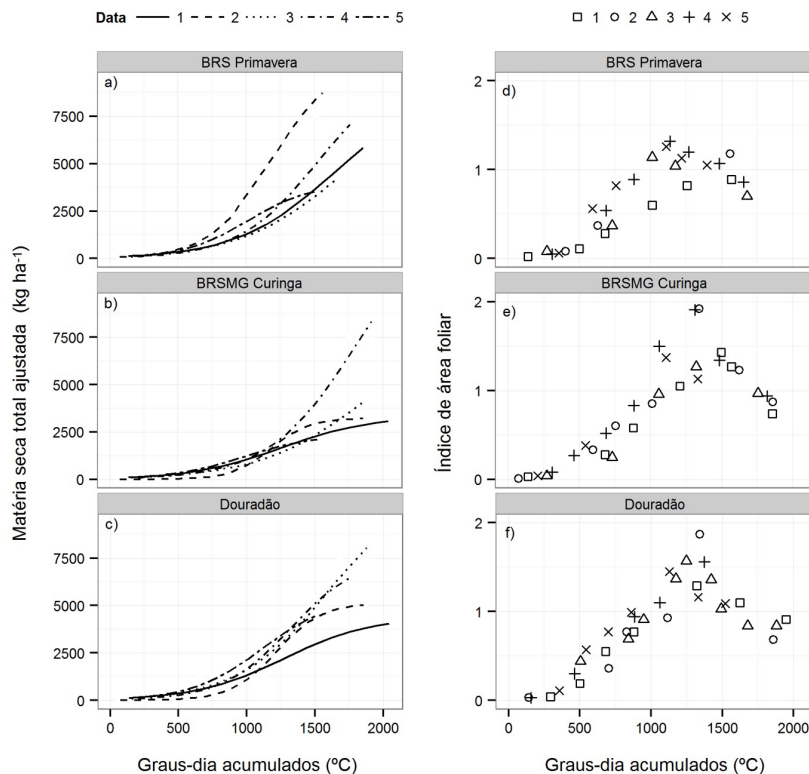
O menor acúmulo de biomassa foi obtido na data de semeadura 1 para as três cultivares (Figura 4a, 4b e 4c) devido aos menores valores de EUR que ocorreu nessa data. A quantidade de radiação solar interceptada pela cultura de arroz é o principal



**Tabela 1.** Taxa de desenvolvimento relativo (DVR) e variáveis climáticas para as cultivares de arroz de terras altas BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão, para as fases vegetativa (v), reprodutiva (r) e enchimento de grãos (eg), nas datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13).**Table 1.** Relative development rate (DVR) and climatic variables for the cultivars of upland rice BRS Primavera, BRSMG Curinga and Douradão for the vegetative stage (v), reproductive (r) and grain filling (g) in 1 sowing dates (09.11.12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (02/27/13).

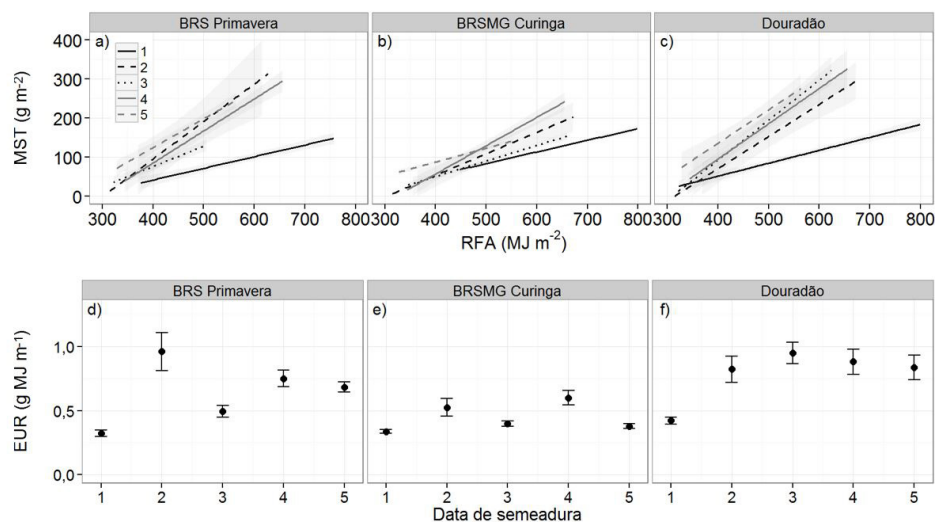
Data	Cultivares	Vegetativa					Reprodutiva					Enchimento de grãos				
		DVR	GDA	DSP	Tmax	Tmin	Amp	Rad	DPV	DVR	GDA	DSP	Tmax	Tmin	Amp	Rad
1	BRSPrimavera	6,7E-04	968	26	30,9	19,5	11,4	1145	1,18	9,1E-04	384	8	27,7	19,4	8,2	492
2	BRSPrimavera	7,7E-04	847	16	28,5	19,8	8,8	1047	1,19	8,9E-04	393	7	30,6	19,5	11,1	453
3	BRSPrimavera	7,1E-04	917	13	28,4	19,6	8,8	994	1,19	6,7E-04	523	9	29,2	19,1	10,2	573
4	BRSPrimavera	7,8E-04	834	10	27,9	19,3	8,6	902	1,20	7,6E-04	463	12	29,8	19,9	9,9	481
5	BRSPrimavera	9,5E-04	686	15	28,4	19,7	8,6	697	1,19	6,6E-04	532	35	28,4	13,4	11,8	655
Média		7,8E-04	850	16	28,8	19,6	9,2	957	1,19	7,8E-04	459	14	29,1	18,3	10,2	531
DP		9,6E-05	95		1,1	0,2	1,1	151,9	0,01	1,1E-04	62		1,0	2,4	1,2	73,8
1	BRSMGCuringa	6,1E-04	1059	27	30,5	19,4	11,1	1271	1,18	8,0E-04	438	11	28,4	19,8	8,6	527
2	BRSMGCuringa	6,5E-04	995	19	29,0	19,7	9,2	1212	1,18	8,5E-04	412	4	27,4	19,3	8,2	442
3	BRSMGCuringa	6,7E-04	963	13	28,4	19,6	8,7	1039	1,19	6,2E-04	565	11	29,6	19,1	10,5	636
4	BRSMGCuringa	7,2E-04	899	11	27,9	19,2	8,7	975	1,20	7,4E-04	474	12	29,4	19,9	9,5	482
5	BRSMGCuringa	7,1E-04	911	30	28,3	19,0	9,3	988	1,21	6,8E-04	513	29	27,9	16,7	11,1	574
Média		6,7E-04	965	20	28,8	19,4	9,4	1097	1,19	7,4E-04	480	13	28,5	19,0	9,6	532
DP		4,0E-05	58		0,9	0,3	0,9	121,4	0,01	8,2E-05	54		0,8	1,2	1,1	68,3
1	Douradão	8,0E-04	813	24	31,7	19,5	12,2	937	1,18	1,1E-03	330	6	27,6	19,1	8,5	437
2	Douradão	8,4E-04	773	16	28,4	19,7	8,7	963	1,19	6,3E-04	557	7	28,8	19,4	9,4	599
3	Douradão	7,9E-04	827	12	28,7	19,6	9,2	903	1,19	6,5E-04	542	9	28,6	19,1	9,5	610
4	Douradão	8,3E-04	780	10	27,7	19,3	8,4	833	1,21	7,2E-04	488	12	30,3	19,9	10,5	532
5	Douradão	9,9E-04	657	13	28,4	19,8	8,6	657	1,18	6,6E-04	532	35	28,3	16,7	11,6	668
Média		8,5E-04	770	15	29,0	19,6	9,4	859	1,19	7,5E-04	490	14	28,7	18,8	9,9	569
DP		7,2E-05	60		1,4	0,2	1,4	109,8	0,01	1,8E-04	83		0,9	1,1	1,1	79,1

DVR – taxa de desenvolvimento relativo (°Cd<sup>-1</sup>); GDA – graus-dia acumulados (°C); DSP – número de dias sem precipitação; Tmax – temperatura média máxima (°C); Tmin – temperatura média mínima (°C); Amp – Amplitude (°C); Rad – Radiação solar global acumulada (MJ m<sup>-2</sup>); DPV – déficit de pressão de vapor (kPa).



**Figura 3.** Dinâmica da produção de matéria seca acumulada ajustada pela equação logística e do índice de área foliar observado das cultivares (a) e (d) BRS Primavera, (b) e (e) BRSMG Curinga e (c) e (f) Douradão, em função do somatório de graus-dia para as datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13).

**Figure 3.** Dynamic production of the accumulated dry matter adjusted by logistic equation and leaf area index observed of the cultivars (a) and (d) BRS Primavera, (b) and (e) BRSMG Curinga and (c) and (f) Douradão, as a function of the degree-day summation for sowing dates 1 (09/11/12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (02/27/13).

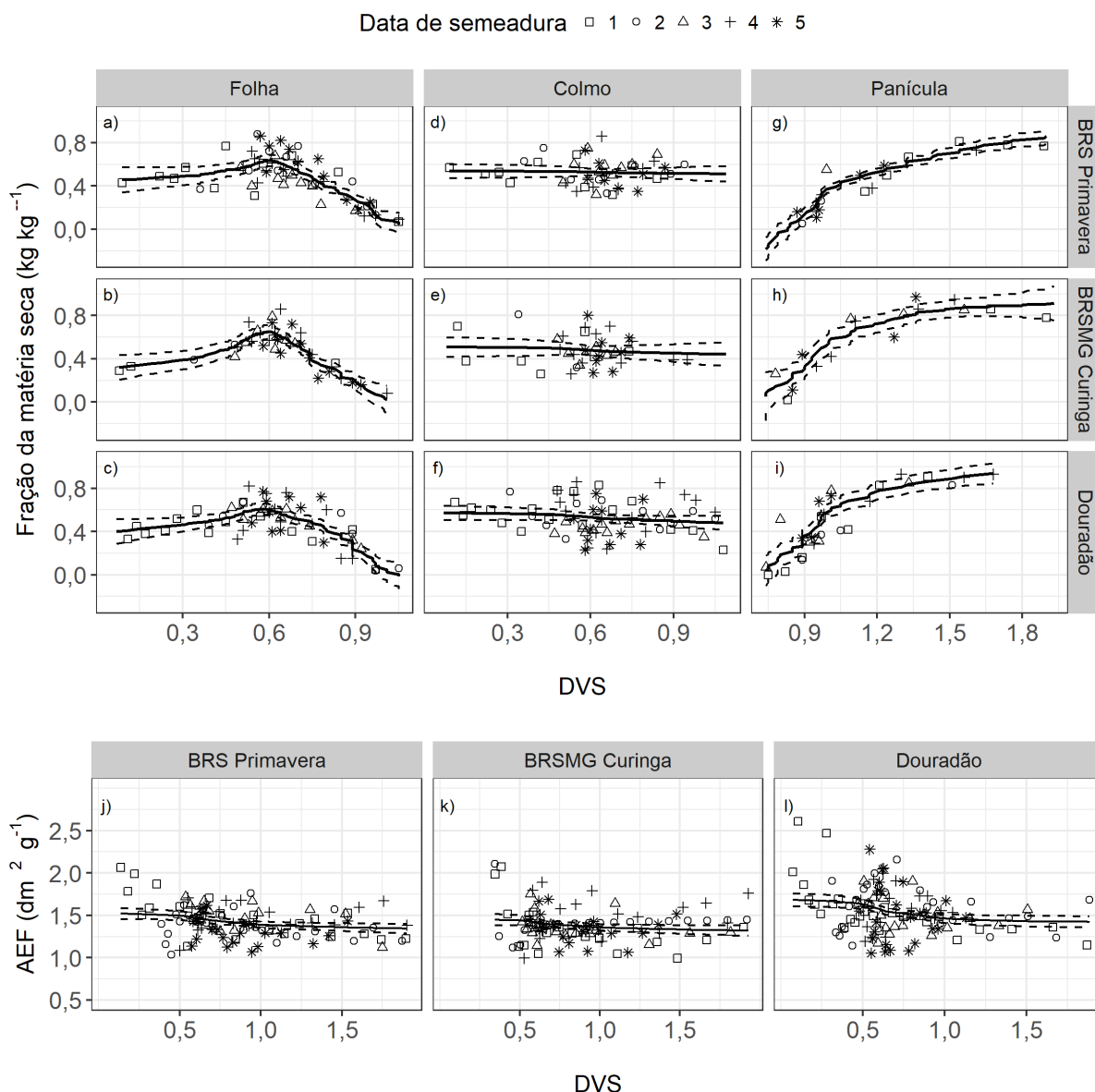


**Figura 4.** Matéria seca acumulada (MST) e eficiência do uso da radiação (EUR) para as datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13), e cultivares (a) e (d) BRS Primavera, (b) e (e) BRSMG Curinga e (c) e (f) Douradão. Faixa cinza nos gráficos (a), (b) e (c) indicam o intervalo de confiança a 5% de significância. Barra vertical nos gráficos (d), (e) e (f) indicam o erro padrão para a EUR. RFA é a radiação fotossinteticamente ativa.

**Figure 4.** Accumulated dry matter (MST) and efficiency of the use of radiation (EUR) for sowing dates 1 (09/11/12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (27/2/13), and cultivars (a) and (d) BRS Primavera, (b) and (e) BRSMG Curinga and (c) and (f) Douradão. Gray range in graphs (a), (b) and (c) indicate the confidence interval at 5% significance. Vertical bar in the graphs (d), (e) and (f) indicate the standard error for the EUR. RFA is photosynthetically active radiation.

determinante da biomassa produzida (Swarna et al., 2017). Nas demais datas de semeadura, a EUR das cultivares Douradão e BRSMG Curinga variou pouco, sendo seu valor médio maior ( $0,87 \text{ g MJ}^{-1}$ ) para Douradão contra  $0,48 \text{ g MJ}^{-1}$  para BRSMG Curinga. A cultivar BRS Primavera apresentou maior variação nos valores da EUR, com valor médio de  $0,72 \text{ g MJ}^{-1}$  entre as datas de semeadura 2 a 5 e máximo de  $0,96 \text{ g MJ}^{-1}$  na data de semeadura 2. Baseado nos resultados, a cultivar tradicional Douradão mostrou ser adaptada a um

período maior de semeadura (datas 2 a 5) que as modernas. Isso pode ser um legado do programa de melhoramento, que desde os anos 1980 tem como estratégia a seleção direta pelo rendimento (produção potencial) para condições climáticas mais favoráveis (Pinheiro et al., 2006), possibilitando o risco de desenvolver genótipos específicos para essas condições, mas ineficientes quando as condições climáticas não são favoráveis (Tardieu & Hammer, 2012).



**Figura 5.** Partição da biomassa de folhas, colmos e panículas para as cultivares BRS Primavera (a), (d) e (g); BRSMG Curinga (b), (e) e (h) e Douradão (c), (f) e (i), e dinâmica da área específica foliar (AEF) das cultivares BRS Primavera (j); BRSMG Curinga (k) e Douradão (l) em razão do tempo cronológico DVS (0 – emergência; 0,65 – início da panícula; 1 – florescimento e 2 – maturação fisiológica) para as datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13). A linha cheia indica a tendência obtida pelo algoritmo de suavização de Kalman em função do tempo cronológico e a linha pontilhada o erro.

**Figure 5.** Partitioning of the biomass leaves, stems and panicles for the cultivar BRS Primavera (a), (d) and (g); BRSMG Curinga (b), (e) and (h) and Douradão (c), (f) and (i) and dynamic leaf specific area (FSA) of BRS Primavera (j); BRSMG Curinga (k) and Douradão (l) due to the chronological time DVS (0 - Emergency, 0.65 - early panicle; 1 - 2 and flowering - physiological maturity) to sowing dates 1 (11/9/12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (02/27/13). The solid line indicates the trend obtained by Kalman smoothing algorithm based on the chronological time and the dotted line the error.

**Tabela 2.** Partição da biomassa de folhas, colmos e panículas para as cultivares BRS Primavera (PRM); BRSMG Curinga (CRG) e Douradão (DRD) em razão do tempo cronológico DVS.

**Table 2.** Leaves biomass partition, stems and panicles for cultivars BRS Primavera (PRM); BRSMG Curinga (CRG) and Douradão (DRD) due to the chronological time DVS.

Estádio	Cultivar	DVS	Valor	Erro	Cultivar	DVS	Valor	Erro	Cultivar	DVS	Valor	Erro
Folha												
V	PRM	0,15	0,46	0,11	CRG	0,15	0,34	0,10	DRD	0,15	0,42	0,09
V	PRM	0,30	0,49	0,09	CRG	0,30	0,39	0,08	DRD	0,30	0,46	0,07
V	PRM	0,45	0,54	0,06	CRG	0,45	0,49	0,08	DRD	0,45	0,53	0,05
R	PRM	0,65	0,60	0,05	CRG	0,65	0,59	0,05	DRD	0,65	0,55	0,05
R	PRM	0,85	0,34	0,05	CRG	0,85	0,27	0,06	DRD	0,85	0,33	0,05
R	PRM	1,00	0,09	0,08	CRG	1,00	0,05	0,05	DRD	1,00	0,05	0,05
Colmo												
V	PRM	0,15	0,54	0,06	CRG	0,15	0,51	0,09	DRD	0,15	0,57	0,06
V	PRM	0,30	0,54	0,06	CRG	0,30	0,50	0,08	DRD	0,30	0,57	0,06
V	PRM	0,45	0,53	0,05	CRG	0,45	0,50	0,07	DRD	0,45	0,56	0,05
R	PRM	0,65	0,52	0,03	CRG	0,65	0,47	0,05	DRD	0,65	0,52	0,03
R	PRM	0,85	0,52	0,05	CRG	0,85	0,46	0,07	DRD	0,85	0,50	0,04
R	PRM	1,00	0,51	0,07	CRG	1,00	0,45	0,10	DRD	1,00	0,49	0,06
Panícula												
R	PRM	1,00	0,41	0,04	CRG	1,00	0,63	0,09	DRD	1,00	0,67	0,07
EG	PRM	1,20	0,56	0,03	CRG	1,20	0,80	0,08	DRD	1,20	0,86	0,08
EG	PRM	1,40	0,72	0,04	CRG	1,40	0,92	0,08	DRD	1,40	0,95	0,08
EG	PRM	1,60	0,81	0,05	CRG	1,60	0,96	0,08	DRD	1,60	1,00	0,10
EG	PRM	1,80	0,88	0,06	CRG	1,80	0,99	0,11				
EG	PRM	1,90	0,93	0,07	CRG	1,90	1,00	0,13				

V – vegetativo; R – reprodutivo e EG – enchimento de grãos.

A partição de assimilados é ilustrada na Figura 5 e Tabela 2. Basicamente, não há diferença entre as cultivares com relação à fração de matéria seca das folhas (Figura 5a, 5b, 5c).

A partição de assimilados para o colmo também é semelhante entre as três cultivares, apresentando decréscimo da matéria seca do período vegetativo para o reprodutivo (Figura 5d, e, f e Tabela 2). Para a panícula, a partição de assimilados apresentou maior similaridade entre as cultivares BRSMG Curinga e Douradão, em que se observa taxa de assimilação/translocação de carboidratos superior à da cultivar BRS Primavera, principalmente na fase inicial do desenvolvimento da cultura (Figura 5g, 5h, 5i e Tabela 2). A área específica foliar é uma medida indireta da espessura da folha, cujo valor é alterado em função dos estádios de desenvolvimento e geralmente é utilizada para converter massa da folha em área foliar quando o dossel está fechado. Observa-se, nesse estudo, que não há diferença de AEF entre as cultivares (Figuras 5j, 5k, 5l). Para todas as cultivares, a AEF no florescimento (DSV = 1) foi igual a 1,45 dm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>.

As cultivares BRSMG Curinga e Douradão apresentaram maior produtividade em função do número de grãos por m<sup>2</sup>, e a BRS Primavera a menor (Figura 6a, 6b, 6c). A resposta da produtividade à porcentagem de grãos cheios foi semelhante entre as cultivares (Figura 6d e 6f), quando se considerou todas as datas de semeadura; entretanto, na data de semeadura 5 a BRS Primavera apresentou maior esterilidade de grãos em razão das baixas temperaturas mínimas e umidades relativas (maior valor de DSP, Tabela 1). As maiores produtividades foram obtidas nas datas de semeadura 2 a 4 (Figura 6g, 6h, 6i),

que abrangem o período tradicional de semeadura do arroz de terras altas, outubro a dezembro. A cultivar Douradão não apresentou diferença estatística para a produtividade entre as datas de semeadura 2 a 5 e também apresentou a maior produtividade na data de semeadura mais tardia (27/2/13). Resultados semelhantes foram obtidos por Heinemann et al. (2016).

## 4 Conclusões

Todas as cultivares requerem menos graus-dia acumulados para atingir a fase reprodutiva quanto mais tardia for a data de semeadura.

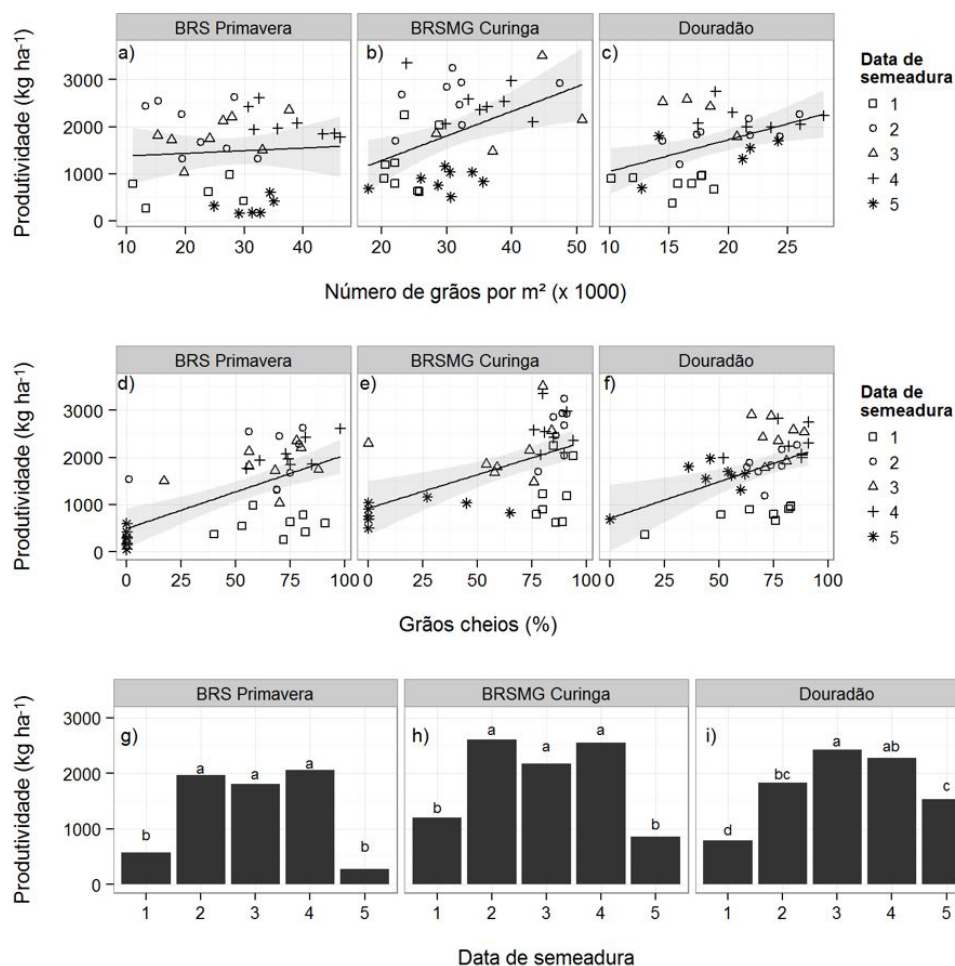
Os menores acúmulo de biomassa e índice de área foliar das três cultivares ocorrem na data de semeadura mais precoce, o que indica menor eficiência do uso da radiação. A cultivar tradicional, Douradão, apresenta menor variabilidade na eficiência do uso da radiação para as diferentes datas de semeadura comparada às cultivares modernas.

A partição de assimilados para as folhas e colmos é semelhante entre as cultivares; contudo, a taxa de assimilação/translocação de carboidratos para as panículas é maior nas cultivares modernas, BRS Primavera e BRSMG Curinga.

As cultivares diferem quanto ao número de grãos por área, tendo a cultivar tradicional Douradão o maior valor e a cultivar moderna BRS Primavera o menor.

As maiores produtividades são obtidas nas datas de semeadura que abrangem o período tradicional de semeadura do arroz de terras altas outubro a dezembro.





**Figura 6.** Produtividade das cultivares BRS Primavera, BRSMG Curinga e Douradão em função do número de grãos por m<sup>2</sup> (a, b, c), da porcentagem de grãos cheios (d, e, f) e das datas de semeadura 1 (11/09/12), 2 (22/10/12), 3 (28/11/12), 4 (21/12/12) e 5 (27/2/13) (g, h, i). Linha preta e faixa cinza nos gráficos (a), (b), (c), (d) e (f) indicam a regressão e o intervalo de confiança a 5% de significância, respectivamente. Nas figuras g, h e i, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% para as cultivares.

**Figure 6.** Yield of BRS Primavera, BRSMG Curinga and Douradão as a function on the number of grains per m<sup>2</sup> (a, b, c), the percentage of filled grains (d, e, f) and sowing dates 1 (11/09/12), 2 (10/22/12), 3 (11/28/12), 4 (12/21/12) and 5 (02/27/13) (g, h, i). Black and gray strip line in graphs (a), (b), (c), (d) and (f) indicate regression and the confidence interval at 5% significance level, respectively. In g figures, here, means followed by the same letter do not differ by Tukey test at the 5% significance level for the cultivars.

## Referências

- ACRECHE, M. M.; FÉLIX, G. B.; SÁNCHEZ, J. A. M.; SLAFER, G. A. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Research*, v. 110, n. 2, p. 91-97, 2009.
- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 397-406, 2012.
- ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, v. 41, n. 1, p. 1-12, 1995.
- ANTONIAZZI, N.; DESCHAMPS, C. Análise de crescimento de duas cultivares de cevada após tratamentos com elicitores e fungicidas. *Ciência Rural*, v. 36, n. 4, p. 1065-1071, 2006.
- BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; TEN BERGE, H. F. M.; VAN LAAR, J. J. *ORYZA 2000: modelling lowland rice*. Manila: IRRI, 2001. 235p.
- BOUMAN, B. A. M.; PENG, S.; CASTAÑEDA, A. R.; VISPERAS, R. M. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, v. 74, n. 2, p. 87-105, 2005.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; PINHEIRO, P. V.; SILVA, A. C. S.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, É. P.; CASTRO, A. P.; PEREIRA, J. A.; LOPES, A. M.; UTUMID, M. M.; OLIVEIRA, J. P. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. *Crop Science*, v. 51, p. 914-923, 2011.

- CLELAND, E.; CHUINE, I.; MENZEL, A.; MOONEY, H. A.; SCHWARTZ, M. D. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 22, n. 7, p. 357-365, 2007.
- CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MAUAD, M.; SILVA, A. C. L. Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. *Semina. Ciências Agrárias*, v. 34, n. 5, p. 2061-2076, 2013b.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ARF, O. Root distribution, nutrient uptake, and yield of two upland rice cultivars under two water regimes. *Agronomy Journal*, v. 105, n. 1, p. 237-247, 2013a.
- FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES, A. M. JUNIOR; OLIVEIRA, A. C.; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. *Bragantia*, v. 68, n. 3, p. 453-461, 2009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS—FAO. *Production: crops*. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ, J. V.; NASCENTE, A. S.; ZEVIANI, W.; STONE, L. F.; SENTELHAS, P. C. Upland rice cultivar responses to row spacing and water stress across multiple environments. *Experimental Agriculture*, v. 10, p. 1-18, 2016.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, n. 2, p. 134-139, 2009.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; CASTRO, L. M. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 21, n. 2, p. 113-122, 2009.
- LEITE, J. G. D. B.; FEDERIZZI, L. C.; BERGAMASCHI, H. Mudanças climáticas e seus possíveis impactos aos sistemas agrícolas no Sul do Brasil. *Agrária*, v. 7, n. 2, p. 337-343, 2012.
- NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; SOUZA, A. C. A.; LOBO, V. L. S.; SILVA, G. B. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 24, p. 2956-2965, 2017.
- NASCENTE, A. S.; HEINEMANN, A. B.; ALVES, L. C.; ROSA, P. H.; NAVES, L. F. V.; GARCIA, A. C. F. Development of super early genotypes for the dry bean (*Phaseolus vulgaris*) as affected by nitrogen management. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, p. 1118-1126, 2016.
- PETRIS, G. An R package for dynamic linear models. *Journal of Statistical Software*, v. 36, n. 12, p. 1-16, 2010.
- PINHEIRO, B. S.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, C. M. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. *Field Crops Research*, v. 97, n. 1, p. 34-42, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 25 jan. 2015.
- SANDAÑA, P.; RAMÍRES, M.; PINOCHET, D. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. *Field Crops Research*, v. 127, p. 44-50, 2012.
- SANTANA, A. V.; HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; NASCENTE, A. S. Índice de refletância na estimativa da área foliar e biomassa das folhas em feijão-comum. *Colloquium Agrariae*, v. 12, p. 7-19, 2016.
- SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; SANTOS, T. P. B. Índices fisiológicos do arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. *Revista Ceres*, v. 64, p. 98-107, 2017.
- SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. *A cultura do arroz no Brasil*. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.
- SWARNA, R.; LEELA, R. P.; SREENIVAS, G.; RAJI, R. D.; MADHAVI, A. Growth performance and radiation use efficiency of transplanted rice under varied plant densities and nitrogen levels. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, p. 1429-1437, 2017.
- TARDIEU, F.; HAMMER, G. Designing crops for new challenges. *European Journal of Agronomy*, v. 42, p. 1-2, 2012.
- TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.
- TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; SANTOS, A. B.; HEINEMANN, A. B. Early sowing can improve irrigation water use efficiency and yield of common bean. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 47, p. 118-126, 2017.
- TESFAYE, K.; WALKER, S.; TSUBO, M. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, v. 25, p. 60-70, 2006.
- VAN OORT, P. A. J.; ZHANG, T.; VRIES, M. E.; HEINEMANN, A. B.; MEINKE, H. Correlation between temperature and phenology prediction error in rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 12, p. 1545-1555, 2011.

**Contribuição dos autores:** José Antônio de Paula Oliveira: realizou o experimento, coleta de dados e contribuiu na análise estatística e escrita; Adriano Stephan Nascente: contribuiu com a escrita; Luis Fernando Stone: contribuiu com a escrita; Anna Cristina Lanna: contribuiu com a coleta de dados; Alexandre Bryan Heinemann: contribuiu com a análise estatística e escrita.

**Fonte de financiamento:** CAPES, bolsa de mestrado para José Antônio de Paula Oliveira.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.