



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E
CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE
ARROZ IRRIGADO AFETADAS POR LOCAL E
ÉPOCA DE SEMEADURA**

MARCOS PAULO DOS SANTOS

Orientador:

Dr. Alexandre Bryan Heinemann

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Nome completo do autor: Marcos Paulo dos Santos

Título do trabalho: Produtividade de grãos e características morfofisiológicas de arroz irrigado afetadas por local e época de semeadura

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 23 / 12 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

MARCOS PAULO DOS SANTOS

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS
DE ARROZ IRRIGADO AFETADAS POR LOCAL E ÉPOCA DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:

Dr. Alexandre Bryan Heinemann

Goiânia, GO – Brasil
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Santos, Marcos Paulo dos
Produtividade de grãos e características morfofisiológicas de arroz irrigado afetadas por local e época de semeadura [manuscrito] / Marcos Paulo dos Santos. - 2016.
LV, 55 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bryan Heinemann.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2016.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Ecofisiologia. 2. Época de semeadura. 3. *Oryza sativa* L.. 4. Radiação solar. I. Heinemann, Alexandre Bryan, orient. II. Título.

CDU 631/635



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e nove dias do mês de novembro do ano de dois mil e dezesseis (29.11.2016), às 08h30min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Dr. Alexandre Bryan Heinemann - Orientador/Presidente, Dr. Luis Fernando Stone e Dr. Alberto Baêta dos Santos, para, em sessão pública realizada na Embrapa Arroz e Feijão, procederem à avaliação da defesa de Dissertação intitulada: **"Produtividade de grãos e características morfofisiológicas de arroz irrigado afetadas por local e época de semeadura"**, de autoria de **Marcos Paulo dos Santos** discente do curso de **Mestrado**, na área de Concentração em **Produção Vegetal**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início às atividades relativas à defesa da Dissertação. Passou a palavra ao mestrando, que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a apresentação o candidato foi arguido sucessivamente pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com a Resolução nº 1051, de 09.09.2011 do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, a Banca Examinadora considerou **APROVADA** a Dissertação, desde que procedidas às correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE** em Agronomia, na área de concentração em **PRODUÇÃO VEGETAL**, pela Universidade Federal de Goiás. O mestrando deverá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar a versão definitiva da dissertação à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da Defesa. A conclusão do Curso e a emissão do Diploma dar-se-ão após o cumprimento do Artigo 69, § 1º e § 2º, da Resolução CEPEC nº 1051, de 09.09.2011. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de efetuadas as modificações sugeridas. No caso do discente titulado não providenciar a publicação de seu trabalho final em forma de artigo(s) científico(s) no prazo de seis meses, após a data da defesa, serão aplicados os dispositivos do Artigo 70, § 1º e § 2º, da mesma Resolução. Para finalizar, o Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com o mestrando e encerrou a sessão às 12h05min. E para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

Dr. Alexandre Bryan Heinemann
Presidente – Embrapa Arroz e Feijão

Dr. Luis Fernando Stone
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

Dr. Alberto Baêta dos Santos
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

*Ofereço este trabalho à razão humana da minha existência,
os quais não mediram esforços para que eu estudasse e
que nunca deixaram eu desistir de meus sonhos por dificuldades financeiras!*

***Mãe,** obrigado pela constante
motivação, por suas orações e por
acreditar em meus sonhos.*

***Pai,** minha eterna gratidão por seus
ensinamentos, sua luta e pelo
exemplo de homem íntegro.*

*A vocês, com todo amor e carinho eu
dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade e apoio institucional para realização desta formação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em especial ao Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), pelo apoio institucional, técnico e científico.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), por intermédio de Alencar Júnior Zanon e à EMBRAPA Clima temperado, nas pessoas de Sílvio Steinmetz e Santiago Vianna Cuadra, pela concessão de parte dos dados utilizados nesta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Dr. Alexandre Bryan Heinemann, pela oportunidade, convívio amigável, confiança, dedicação constante, e por guiar contudentemente o meu caminhar na execução desta obra.

Ao professor Dr. João Batista Duarte, pelos ensinamentos e exemplo de mestre.

A meus irmãos Brucio Pereira dos Santos, Ester Pereira dos Santos e Raquel Pereira dos Santos pelo apoio dado com suas existências e palavras motivadoras. Vocês constituíram um motivo a mais para eu seguir em frente. Creio que sem vocês minha vida não seria a mesma.

Aos amigos da pós-graduação, os quais permanecerão em minha memória para além deste rápido período: Daniel Cardoso Brandão, Débora Regina Marques Pereira, João Rodrigo de Castro, Renan da Silva Macedo, Renata de Castro Marques Carvalho, Sandro Alex Helrigel Abreu, Yuri de Oliveira Castro e Wilson de Souza Dourado, obrigado pelos momentos de descontração, amizade e experiências compartilhadas.

Aos amigos Carlos Eduardo Lui e Pedro Henrique pelo auxílio nos ensaios de campo e por tornarem o trajeto Goianira - Santo Antônio sempre divertido.

Um agradecimento especial eu reservo a minha noiva Nívea Patrícia Ribeiro Reges pelo companheirismo, amor, carinho e toda compreensão que teve nos momentos em que estive ausente por ocasião desta obra.

Enfim, a DEUS, por todas as bênçãos e misericórdias acrescentadas em cada dia da minha vida. Pelas dificuldades impostas em meu caminho, dificuldades estas que me tornaram mais forte, perseverante e incessante na busca por mais esta conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA E PANORAMA INTERNACIONAL DA CULTURA DO ARROZ.....	16
2.2 PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO NO BRASIL.....	17
2.3 ECOFISIOLOGIA DO ARROZ IRRIGADO.....	18
2.4 INFLUÊNCIA DE FATORES CLIMÁTICOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2 INSTALAÇÃO DOS ENSAIOS.....	24
3.2.1 Caracterização da fenologia.....	26
3.2.2 Dinâmica da biomassa seca acumulada.....	28
3.2.3 Taxas relativas de desenvolvimento fenológico e eficiência no uso da radiação.....	29
3.2.4 Produtividade e seus componentes.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Descrição de eventos e marcadores morfológicos referentes às fases e estádios de desenvolvimento da planta de arroz, de acordo com a classificação proposta por Counce et al. (2000).....	27
Tabela 2.	Duração de fases fenológicas (dia) e valores das taxas de desenvolvimento acompanhados do erro padrão da média das fases juvenil (DVRJ), fase sensitiva ao fotoperíodo (DVRI), fase de desenvolvimento da panícula (DV RP) e da fase reprodutiva (DVRR) para cultivares de arroz irrigado em ambiente tropical e subtropical.....	36
Tabela 3.	Produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$) para cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura (SDs): SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.....	44
Tabela 4.	Graus-dia acumulados ($^{\circ}C\ d$) durante a estação de crescimento de cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura: SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.....	44
Tabela 5.	Radiação solar acumulada ($MJ\ m^{-2}$) durante a estação de crescimento de cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura: SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.....	44
Tabela 6.	Temperatura diária média (T_{med} , $^{\circ}C$) e radiação solar média (R_{med} , $MJ\ m^{-2}$) \pm desvio padrão nos estádios vegetativo, reprodutivo, enchimento de grãos e em toda a estação de crescimento de cinco cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura (SDs): SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS, referente às safras 2014/2015 e 2015/2016.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização geográfica dos sítios experimentais utilizados neste estudo.....	23
Figura 2.	Dinâmica da temperatura (Tmax e Tmin), radiação solar global (Srad) e do acúmulo de calor efetivo diário (graus-dia, HU) em Goianira-GO (a), Cachoeirinha-RS (b) e Pelotas-RS (c). Números arábicos representam as épocas de semeadura dos ensaios nos quais foram obtidos dados de partição de biomassa da matéria seca e fenologia e números romanos somente fenologia.....	24
Figura 3.	Semeadura (A) e demarcação das unidades experimentais (B) após a emergência das plântulas.....	25
Figura 4.	Fases fenológicas observadas nas plantas de arroz nos diferentes sítios e datas de semeaduras.....	26
Figura 5.	Coleta de material vegetal (A) e fracionamento dos órgãos da planta de arroz (B) para determinação da biomassa da matéria seca acumulada....	29
Figura 6.	Área de colheita e amostragem dos componentes da produtividade.....	31
Figura 7.	Dinâmica do fotoperíodo em Cachoeirinha-RS e Goianira-GO ao longo do ano.....	33
Figura 8.	Regressão linear para a caracterização da sensibilidade fotoperiódica de cultivares de arroz irrigado.....	34
Figura 9.	Necessidade de graus-dia acumulados (GDA) e de dias após a emergência para mudança de fase de cinco cultivares de arroz irrigado cultivadas em Goianira-GO (a) e Cachoeirinha-RS (b) em diferentes épocas. E= emergência; V6= início da fase sensitiva ao fotoperíodo; IP= iniciação da panícula; F= florescimento e M= maturação fisiológica. Traço horizontal representa o erro padrão.....	35
Figura 10.	Eficiência no uso da radiação (EUR) pelas cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim em Goianira (GO), Cachoeirinha (CA) e Pelotas (PE) em diferentes épocas de semeadura. Barra vertical indica o erro padrão para a EUR.....	37
Figura 11.	Tendência do acúmulo de biomassa da matéria seca total ajustada das cultivares (a) BRS Catiana, (b) Irga 424, (c) BRS Jaçanã, (d) BRS Pampa e (e) BRS 7 Taim em razão dos graus-dia acumulados (GDA) para os locais e épocas de semeadura.....	38
Figura 12.	Boxplot do acúmulo de temperaturas máximas (Max. Acumuladas) (a,c,e) e mínimas (Min. Acumuladas) (b,d,f) nos estádios vegetativo, reprodutivo e de enchimento de grãos nas datas de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2), e dezembro (SD3). Barras acima e abaixo das	

	caixas indicam o percentil 75 e percentil 25 do conjunto de dados, respectivamente. Linhas horizontais em cada caixa indicam os valores das medianas dos dados relativos ao ciclo dos cinco cultivares (n = 5)...	39
Figura 13.	Boxplot do acúmulo de temperaturas máximas (Max. Acumuladas) (a) e mínimas (Min. Acumuladas) (b) no estádio reprodutivo para uma série climatológica de 32 anos (1980-2012) em diferentes datas de semeadura no período outubro-dezembro em Goianira-GO. Barras acima e abaixo das caixas indicam o percentil 75 e percentil 25 do conjunto de dados, respectivamente. Linhas horizontais em cada caixa indicam os valores das medianas dos dados.....	39
Figura 14.	Área específica foliar (AEF) em razão do tempo cronológico (DVS) de cinco cultivares de arroz irrigado em locais e épocas de semeadura. Linhas pretas, contínua e seccionada indicam o ajuste de regressão não-linear ajustadas pelos métodos de “Smooth” e “Kalman Filter”. Faixa cinza e linhas vermelhas tracejadas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade ajustados pelos métodos de “Smooth” e “Kalman Filter”, respectivamente.....	41
Figura 15.	Partição da biomassa de folhas (a), colmos (b) e panículas (c) das cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim em razão do tempo cronológico (DVS) ajustada pelo método de Kalman Filter. Linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.....	41
Figura 16.	Produtividade de grãos das cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim em razão do número de panículas por metro quadrado (a, b, c, d, e) em diferentes épocas de semeadura em Goianira-GO. Linha preta e faixa cinza indicam a regressão e o intervalo de confiança a 5% de significância.....	42
Figura 17.	Taxas de produtividade de grãos por graus-dia acumulados durante o ciclo (GDA, $g\ m^{-2}\ (^{\circ}C\ d^{-1})$) (a), e produtividade por radiação fotossinteticamente ativa acumulada no ciclo (PAR-Acumulada, $g\ m^{-2}\ (MJ\ d^{-1})$) (b) em diferentes meses de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2), e dezembro (SD3), respectivamente, em três locais de cultivo no Brasil. Barras verticais representam \pm erro padrão das médias de cinco cultivares (n = 5).....	45
Figura 18.	Correlações entre a produtividade relativa de grãos e graus-dia acumulados (GDA) e produtividade relativa de grãos e radiação solar global acumulada (RAD-AC) durante os períodos: vegetativo (a e d), reprodutivo (b e e), e de enchimento de grãos (c e f) de cinco cultivares em três épocas de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2) e dezembro (SD3) em três locais de cultivo (n = 29). * significativo a 5%; ** significativo a 1%.....	47
Figura 19.	Produtividade de grãos em razão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acumulada de -10 a +25 dias após o florescimento.....	48

RESUMO

SANTOS, M. P. dos. **Produtividade de grãos e características morfofisiológicas de arroz irrigado afetadas por local e época de semeadura**. 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal)–Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.¹

A fenologia e o desenvolvimento da planta de arroz são eventos controlados por condições ambientais e fatores genéticos, sendo o potencial produtivo da cultura definido pela sua interação. Objetivou-se neste estudo determinar os impactos ambientais de locais de cultivos e do período de semeadura nas características morfofisiológicas e na produtividade de grãos de genótipos contrastantes de arroz irrigado. Os experimentos foram realizados em dois ambientes, tropical, em Goianira-GO, e subtropical, Pelotas-RS e Cachoeirinha-RS durante os meses de outubro, novembro e dezembro. As cultivares avaliadas foram BRS Catiana, BRS Jaçanã, BRS Pampa, BRS 7 Taim e Irga 424. Os ensaios foram implantados em delineamento de blocos completos casualizados (DBC), com quatro repetições, tendo como fatores os genótipos, épocas e locais de semeadura. Avaliou-se o desenvolvimento fenológico, acúmulo de biomassa e partição de assimilados, eficiência no uso da radiação (EUR) e a produtividade de grãos. Em ambos os ambientes, as cultivares não foram sensíveis ao fotoperíodo. A demanda de graus-dia acumulados para o florescimento decresceu para as semeaduras tardias em Goianira-GO. Em Cachoeirinha-RS, essa dinâmica também foi observada, porém em menor escala. A EUR decresceu na semeadura em novembro em Goianira-GO, enquanto que em Cachoeirinha-RS não houve variação na EUR no período outubro-dezembro. A partição de assimilados não diferiu entre cultivares. Para o ambiente subtropical foram obtidas altas produtividades para as semeaduras de outubro a dezembro. Já, no ambiente tropical, ocorreu queda de produtividade na semeadura em novembro. Essa redução provavelmente está correlacionada aos menores acúmulos de temperatura mínima na fase reprodutiva. Maiores acúmulos de graus-dia e de radiação solar na fase reprodutiva e de enchimento de grãos contribuem para o alcance de altas produtividades de grãos nos ambientes de produção de arroz no Brasil. Assim, o zoneamento agroclimático deve buscar indicar períodos de semeadura que otimizem o acúmulo de graus-dia e radiação solar nessas fases.

Palavras-chave: Ecofisiologia, época de semeadura, *Oryza sativa* L, radiação solar.

¹Orientador: Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.

ABSTRACT

SANTOS, M. P dos. **Grain yield and morphophysiological characteristics of lowland rice affected by site and sowing season.** 2016. 55 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy: Plant Production)–Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.²

The rice phenology and development are events controlled by environmental and genetic factors, and the yield potential of the crop is defined for your interaction. This study aimed to determine the environmental impacts of sites and sowing period on the morphophysiological characteristics and grain yield of contrasting lowland rice genotypes. The experiments were done in two environments, tropical, in Goianira-GO, and subtropical, Pelotas-RS, and Cachoeirinha-RS during the months of october, november, and december. The cultivars evaluated were BRS Catiana, BRS Jaçanã, BRS Pampa, BRS 7 Taim and Irga 424. The experimental design was a randomized complete block design (RBD), with four repetitions, being as factor genotype, sowing dates and sites. It was evaluated phenological development, biomass accumulation and assimilated partition, radiation use efficiency (EUR) and grain yield. In both environments, cultivars did not showed sensibility to photoperiod. The demand of degrees-day accumulated for flowering decreased for late sowing in Goianira-GO. In Cachoeirinha-RS, this trend was observed, however in a lower scale. The EUR decreased for november sowing in Goianira-GO, while in Cachoeirinha-RS there was no variation in the EUR for sowing dates from october to november. The assimilated partition do not differed among cultivars. For the subtropical environment, highest yields were observed for the period of sowing october to december. Already, in the tropical environment, occurred yield decrease for sowing in november. It is probably correlated to lower values of minimum temperature accumulated during the reproductive phase. Higher accumulation of degrees-day and solar radiation in the reproductive stage and grain filling contribute to the achievement of high grain yields in the production environments in Brazil. Thus, the agroclimatic zoning has to indicate the sowing dates that optimize the accumulation degrees-day and solar radiation in these phases.

Key words: Ecophysiology, sowing time, *Oryza sativa* L, solar radiation.

²Adviser: Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.

1 INTRODUÇÃO

A importância socioeconômica da cultura do arroz para o Brasil vai além da região Sul que é responsável por 69% do total produzido no país (Conab, 2015a). Na região tropical, a área cultivada com arroz irrigado é em torno de 13% e responde por 11% da produção brasileira nesse ecossistema. As características dos solos e condições de hidromorfismo tornam essas áreas aptas à orizicultura irrigada. Na região do Cerrado, há cerca de 12 milhões de hectares de várzeas, sendo que a maior parte encontra-se sob mata e/ou pastagem nativa (Santos & Rabelo, 2008), com potencial para exploração de arroz irrigado.

Fatores genéticos e condições ambientais definem o potencial produtivo da cultura (Teixeira et al., 2015), e a sua interação pode alterar a fenologia e o desenvolvimento da planta de arroz e, por sua vez, a produtividade (Walter et al., 2010). Atualmente, a produtividade média brasileira da cultura é de 5.281 kg ha⁻¹ (Conab, 2016), considerada baixa frente ao potencial produtivo das cultivares modernas.

A dinâmica do crescimento das plantas, bem como do seu desenvolvimento, pode ser potencializada por fatores climáticos, como comprimento do dia, radiação solar e temperatura do ar, quando os mesmos favorecem a fotossíntese (Acreche et al., 2009). Entretanto, esses fatores também podem determinar decréscimo na produtividade da cultura, se ocorrerem fora das faixas toleradas pela planta de arroz, principalmente em períodos críticos do desenvolvimento, como florescimento e enchimento de grãos. Os principais problemas ocasionados por esses fatores climáticos são: alterar o ciclo em cultivares sensíveis ao fotoperíodo, aumento da esterilidade de espiguetas em virtude de temperaturas extremas no período da floração (Yoshida, 1981; Pinheiro, 2006) e queda na produtividade por ocasião de baixo acúmulo de radiação solar na fase de enchimento de grãos (Dingkuhn et al., 2015).

A compreensão dos efeitos desses fatores sobre o arroz irrigado em razão da época de cultivo, principalmente nas regiões tropicais, ainda não está bem esclarecida. Estratégias de manejo, como ampliação da janela de semeadura vigente para o arroz

irrigado “outubro-dezembro”, e ainda, a definição de épocas específicas para microrregiões, constituem ferramentas potenciais para incrementos na produtividade da cultura. Além disso, há um incremento das incertezas devido às mudanças climáticas.

Com base no exposto, partiu-se do pressuposto de que cultivares desenvolvidas para ambientes com diferentes características edafoclimáticas podem ter suas características morfofisiológicas, e conseqüentemente, a produtividade reduzida em virtude do local e época de semeadura. Objetivou-se neste estudo determinar os impactos de ambientes de cultivo e do período de semeadura nas características morfofisiológicas e produtividade de grãos de cultivares contrastantes de arroz irrigado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA E PANORAMA INTERNACIONAL DA CULTURA DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma espécie hidrófila, cujo processo evolutivo tem levado a sua adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas. É também a cultura com maior potencial para aumento de produção e, possivelmente, de combate a fome no mundo. É ainda uma das poucas espécies que pode germinar e desenvolver em solos permanentemente encharcados (Perata & Alpi, 1993), devido à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilitam a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera.

Os grãos de arroz constituem excelente fonte de energia devido ao tipo de carboidrato presente (complexo) e à elevada concentração do amido. A ingestão diária de 150 g de arroz cru (cerca de 400 a 450 g de arroz cozido) contribui com aproximadamente 20% do aporte energético e 35% da ingestão de carboidratos em uma dieta de 2.500 kcal, o que corresponde a um valor médio aproximado das necessidades energéticas de indivíduos do sexo masculino, com mais de 18 anos, 70 kg e atividade física leve, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (Santos & Rabelo, 2008). Em países do continente asiático a produção de arroz desempenha papel vital na economia, sendo o meio mais potencial para melhorar a situação de segurança alimentar e de combate à desnutrição (Bishwajit et al., 2013).

O continente asiático é responsável pelo cultivo de aproximadamente 90% de todo o arroz produzido no mundo, basicamente no sistema irrigado (Silva, 2014). Em seguida figuram os continentes americano, africano, europeu e oceânico, com 5%, 4%, 0,5% e 0,5% da produção mundial de arroz, respectivamente.

Na Ásia, estão localizados os oito maiores produtores mundiais de arroz, China, em 1º lugar, seguida por Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar e Filipinas, que produzem 203, 159, 71, 52, 44, 39, 28 e 18 milhões de toneladas, respectivamente (Silva, 2014). Somente a China responde por 27% da produção mundial,

seguida pela Índia com 21%. Embora apresente expressiva participação na produção do cereal, a China não participa de forma ativa no comércio internacional, sendo a sua produção fortemente controlada pelo seu governo, visando equilibrar a oferta e a demanda interna (Conab, 2015a). O Brasil situa-se em 9º lugar, com uma produção correspondente a 1,6% da mundial.

No bloco econômico do Mercosul, o Brasil responde por 75,75% da produção de arroz. Na safra 2014/15 foram produzidas 12,499 milhões de toneladas em uma área de 2,29 milhões de hectares. A produtividade média foi de 5.281 kg ha⁻¹ e o consumo *per capita* de arroz polido foi estimado em 25 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (Conab, 2016).

Entre 1975 e 2005, o Brasil reduziu a área de plantio em torno de 26%, com um incremento na sua produção de arroz em 69%, devido a um aumento de 128% na produtividade média. O incremento na produtividade permitiu ao país tornar-se autossuficiente em arroz na safra 2003/2004. Em 2005, o Brasil chegou a exportar 272 mil toneladas de arroz, mas atualmente somente 9,63% da produção é destinada à exportação (Conab, 2015a).

2.2 PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO NO BRASIL

No Brasil, há aproximadamente 33 milhões de hectares de várzeas, com características topográficas e disponibilidade de água propícias a agricultura, entretanto, apenas 3,7% dessa área são utilizados para a orizicultura (Guimarães et al., 2006). A importância socioeconômica da cultura do arroz para o Brasil vai além da região Sul, que é responsável pela produção de 69% do total produzido no país (Conab, 2015a). Na região tropical, a área cultivada com arroz irrigado é de 13%, proporcionando cerca de 11% da produção total brasileira nesse ecossistema. As características dos solos e condições de hidromorfismo tornam essas áreas aptas à orizicultura irrigada. Nas regiões Norte e Centro-Oeste, há cerca de 12 milhões de hectares de várzeas, sendo que a maior parte ainda encontra-se sob mata e/ou pastagem nativa (Santos & Rabelo, 2008), com grande potencial para exploração na produção de arroz para comercialização.

Na região Sul do país, merece destaque o estado do Rio Grande do Sul, que é um impulsionador do cultivo do arroz no Brasil. Sua produtividade teve um incremento de 24,36% entre as safras 1990/91 e 2014/15 (Conab, 2015a). Destaque especial também deve ser dado ao vale do Araguaia, localizado na região tropical, por apresentar solo e clima

promissores para a expansão da orizicultura brasileira. Soma-se aos fatores citados anteriormente, sua localização na região central do país, o que possibilita atender demandas das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (Santos & Rabelo, 2008).

Tocantins é um caso a parte na região Norte. Nesse estado, as lavouras de sequeiro têm perdido área nos últimos anos, enquanto as lavouras irrigadas têm crescido. Isso explica o ganho expressivo de produtividade nas últimas 10 safras, sendo atualmente responsável por mais de 60% da produção da região Norte (Conab, 2015b).

Na região Sudeste, o cultivo do arroz em sistema de várzea exerce pouca expressão sobre a produção nacional. O arroz irrigado do Nordeste tem grande importância, uma vez que, na região, o cultivo é realizado predominantemente por pequenos agricultores, o que torna uma renda segura para o produtor (Rangel et al., 1999). Nesse sistema de cultivo, a cultura não depende das variações na precipitação pluvial, tão comuns na região. Embora apresente pouco impacto sobre a produção total do país, os estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe têm nível de produtividade superior à média nacional (Conab, 2015c).

A região Centro-Oeste, onde está localizado o estado de Goiás, é a penúltima colocada no ranking das regiões, com 6,5% do total produzido, volume superior apenas ao Sudeste do país. O principal estado produtor de arroz irrigado dessa região é o Mato Grosso do Sul. Já, no estado do Mato Grosso, a produção irrigada é de baixa expressão, em virtude das condições de topografia e drenagem do solo, que não são favoráveis. No estado de Goiás foram elaboradas iniciativas de ampliar a produtividade e fixar a cultura em alguns municípios com aptidão para o cultivo irrigado. Flores de Goiás, São João d'Aliança, Formosa e São Miguel do Araguaia são os principais municípios aonde há o cultivo irrigado, correspondendo a aproximadamente 15.100 hectares e produtividade média de 6.130 kg ha⁻¹ na safra 2013/2014 (Conab, 2015c).

2.3 ECOFISIOLOGIA DO ARROZ IRRIGADO

Os critérios morfológicos e/ou fisiológicos da planta de arroz não possibilitam a diferenciação do ecossistema ao qual o arroz está adaptado, várzea ou terras altas (Chang & Bardenas, 1965; Pinheiro, 2006). Entretanto, sabe-se que o arroz cultivado sob o sistema de sequeiro evoluiu do arroz irrigado, devido à pressão exercida pelo homem, com sua migração de áreas baixas para locais mais elevados. Com isso, alterações e adaptações se

deram principalmente na disposição do sistema radicular para o arroz de sequeiro, alterando a relação raiz-parte área para possibilitar adaptação às condições de menor disponibilidade hídrica desse ambiente. Embora os processos fisiológicos das plantas de arroz não se diferenciem entre ecossistemas de cultivo, eles podem ser otimizados por ocasião destes, influenciando na produtividade (Pinheiro, 2006).

As cultivares de arroz irrigado cultivados no Brasil são pertencentes à subespécie *Indica*, sendo que as seleções locais de materiais se deu a partir de coleções de linhagens semianãs do grupo *Indica* introduzidas dos programas de melhoramento do International Rice Research Institute (IRRI), localizado nas Filipinas e do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia, e de resultado do cruzamento entre os referidos materiais (Pinheiro, 2006; Conab, 2015c). Os materiais oriundos da subespécie *Indica* possuem colmos espessos, baixa estatura, alta capacidade de perfilhamento, folhas curtas e eretas com baixo ângulo de inserção e ciclo tardio. Em relação aos grãos, eles são longos, estreitos e levemente planos (Evans et al., 1984).

O ciclo da planta de arroz pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e fase de maturação (enchimento de grãos). Na busca por caracterizar os eventos fenológicos que ocorrem durante o ciclo da cultura diversas escalas foram confeccionadas (Vergara, 1970; Yoshida, 1981; Counce et al., 2000). Dentre essas, a escala proposta por Counce et al. (2000) é uma das mais utilizadas no Brasil. Nessa proposta, a fase de plântula é separada da fase vegetativa e a fase de enchimento de grãos é considerada como parte da fase reprodutiva. A avaliação da ontogenia da planta utilizada pela escala subdivide o crescimento e desenvolvimento da planta em três subperíodos: desenvolvimento da plântula, vegetativo e reprodutivo, sendo as suas subdivisões representadas pelas letras S, V e R. A fase de plântula é composta de quatro estádios de crescimento. Já a fase vegetativa é variável, i.e, 1 a n , cujo número precedido da letra V, indica o número de folhas completamente expandidas presentes no colmo principal. A fase reprodutiva é composta de dez estádios, variando de 0 a 9, cujo número precedido da letra R, representa o estádio de desenvolvimento dos grãos (Sosbai, 2010).

O desenvolvimento da planta de arroz é geralmente expresso pela idade cronológica, ou seja, em número de dias após emergência, e não pela idade fisiológica. Os intervalos de tempo específicos entre os estádios e os números totais de folhas desenvolvidas podem variar entre cultivares, estações de crescimento, épocas de semeadura e regiões de cultivo (Freitas et al., 2006). Esses dois últimos têm sido alvo de

pesquisas em várias partes do mundo, na tentativa de otimizar o desenvolvimento da planta em um período que propicie elevadas produtividades.

A atividade fotossintética, área foliar das plantas e a partição de compostos orgânicos produzidos pela fotossíntese para os grãos são os principais processos fisiológicos que interferem nos padrões de crescimento, desenvolvimento e rendimento econômico da cultura (Pinheiro, 2006; Pinzón-Torres & Schiavinato, 2008; Heinemann et al., 2009). A eficiência da fotossíntese é a chave para a determinação do potencial produtivo, sendo dependente de fatores climáticos, tipo de planta, superfície foliar ativa e ainda de agentes bióticos, como insetos-praga e patógenos durante o estabelecimento da cultura. Estratégias de manejo como época, densidade de semeadura, espaçamento entre linhas de plantio e aplicação de fertilizantes interferem diretamente no índice de área foliar (IAF), que por sua vez determina a interceptação de luz pelo dossel das plantas. Nesse sentido, estratégias visando inter-relacionar esses fatores, de forma a atingir um IAF adequado para obtenção de máximas produtividades, têm sido buscadas para o arroz irrigado em todos os locais de produção no país.

Os padrões de alocação de fitomassa para os grãos também exercem grande influência na produtividade. As condições culturais e ambientais desempenham um papel importante nessa partição. Altas doses de nitrogênio tendem a reduzi-la (Yoshida & Ahn, 1968), bem como limitações hídricas e de radiação solar na fase de enchimento de grãos (Dingkuhn et al., 2015).

Ainda no tocante ao tipo de planta de arroz ideal para o cultivo irrigado, Dingkuhn et al. (1991, 2015) propuseram que deveriam ser buscadas alterações fisiológicas, como o prolongamento do período de maturação, aumento do gradiente vertical do dossel, redução do crescimento das folhas no final da fase vegetativa e reprodutiva e expansão da capacidade de armazenamento de compostos orgânicos no caule. O aumento do índice de colheita e da massa dos grãos e a redução da esterilidade das espiguetas devido às suas altas correlações com a produtividade são considerados prioritários em programas de melhoramento de arroz que visem obter cultivares mais produtivas (Guimarães et al., 2008).

Recentemente, o uso de ferramentas moleculares tem sido enfoque nas diversas instituições de pesquisa no mundo. Nessas pesquisas tem se buscado a identificação, bem como o isolamento de genes responsáveis por conferir modificações morfofisiológicas na planta que possam influenciar positivamente a produtividade, como por exemplo, bainhas

das folhas de coloração verde, folhas eretas (Sakamoto et al., 2006), senescência vagarosa (Hörtensteiner, 2009), panículas longas (Lestari et al., 2016), maior capacidade de rebrota da soca, entre outras características desejáveis, que possam ser empregadas em programas de melhoramento genético do arroz (Sutario, 2014).

2.4 INFLUÊNCIA DE FATORES CLIMÁTICOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO

Dentre os fatores climáticos, o fotoperíodo, temperatura e radiação solar são os que mais afetam o crescimento, desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade da cultura do arroz cultivado sob a condição irrigada. Os principais problemas ocasionados por esses fatores são: encurtamento de ciclo em planta sensíveis ao fotoperíodo (Steinmetz et al., 2006), aumento da esterilidade de espiguetas em virtude de temperaturas extremas (inferiores a 15 °C ou superiores a 35 °C) no período da floração (Yoshida, 1981; Pinheiro, 2006) e queda na produtividade de grãos por ocasião de baixo acúmulo de radiação no período de enchimento de grãos (Tao et al., 2013; Dingkuhn et al., 2015).

Embora a produção de arroz irrigado se concentre na região Sul, outras regiões do Brasil também o produzem, em latitudes distintas, com diferenças acentuadas na duração máxima do dia, que varia de 12 horas, próximo ao Equador, até mais de 14 horas, no extremo sul do País. De um modo geral, pode-se dizer que o fotoperíodo, nas condições brasileiras, não chega a ser um fator limitante ao cultivo do arroz irrigado (Steinmetz et al., 2006), pois, no período tradicional de cultivo no país, ele não atinge valores inferiores a 10 horas dia, considerado como fotoperíodo crítico para ocorrência de florescimento em cultivares sensíveis (Yoshida, 1981).

Os impactos da temperatura podem ser observados em todas as fases da planta de arroz. Baixas temperaturas no estágio vegetativo limitam a expansão da área foliar, o número de folhas é reduzido e, conseqüentemente, a quantidade de N foliar passível de ser utilizado na fase de maturação também decresce (Shimono et al., 2012). Além disso, aumenta a susceptibilidade da planta de arroz no desenvolvimento da panícula, elevando o percentual de esterilidade de espiguetas, diminui acentuadamente a biomassa acumulada e a produtividade (Huang et al., 2013; Deng et al., 2015).

Assim como as baixas temperaturas, altas temperaturas durante e após a floração são bastante prejudiciais para o arroz. Em Goiânia, Fageria (1984) verificou que a

ocorrência de temperaturas acima de 40 °C durante o cultivo do arroz irrigado reduziu o número de perfilhos, altura das plantas, comprimento das raízes e a biomassa da parte aérea. Em adição, altas temperaturas na fase de enchimento aceleram a taxa de enchimento dos grãos, levando a enchimento insuficiente das espiguetas e diminuição da massa do grão, resultando na queda da produtividade e da qualidade do arroz (Shi et al., 2013; Liu et al., 2013; Deng et al., 2015).

Os efeitos da radiação solar sobre a produtividade do arroz têm se mostrado, principalmente, durante a fase reprodutiva e no período de enchimento de grãos (Steinmetz et al., 2006; Dingkuhn et al., 2015). Sombreamento na fase vegetativa tem pouca influência sobre a produtividade, pois a planta de arroz apresenta mecanismo de fixação de carbono C-3, conseqüentemente quando sombreadas apresentam menor fotorrespiração e respiração, possibilitando atender às demandas de fotoassimilados dessa fase, mesmo com menores taxas fotossintéticas (Taiz & Zeiguer, 2012). Por outro lado, a ocorrência de sombreamento na fase reprodutiva e de enchimento de grãos impacta negativamente a produtividade. Nessas fases, a demanda por fotoassimilados é elevada em virtude da maior quantidade de órgãos drenos (panículas) em comparação a fase vegetativa (folhas), o que torna o saldo energético da fotossíntese negativo, comprometendo a produtividade.

Devido a essa característica da planta de arroz, têm sido buscados períodos de semeaduras que permitam à fase reprodutiva e de enchimento de grãos coincidirem com períodos de maior disponibilidade diária de radiação solar. Entretanto, devido a grande variabilidade na disponibilidade de radiação solar entre as localidades e, mesmo com o arranjo da janela de semeadura, maiores produtividades deverão ser esperadas na região Sul do país em contraste com a região tropical devido aos maiores níveis de radiação observados durante a época de cultivo do arroz irrigado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados experimentais utilizados neste estudo são provenientes de três localidades, Goianira-GO (latitude -16,41, longitude -49,38), Pelotas-RS (latitude -32,08, longitude -52,88) e Cachoeirinha-RS (latitude -29,95, longitude -51,08) (Figura 1). Esses ensaios foram denominados neste estudo como GO_14/15(1), GO_15/16(2), GO_15/16(3), provenientes de Goianira, safras 2014/2015, 2015/2016, respectivamente, PE_14/15, proveniente de Pelotas, safra 2014/2015 e CA_15/16, proveniente de Cachoeirinha, safra 2015/2016.

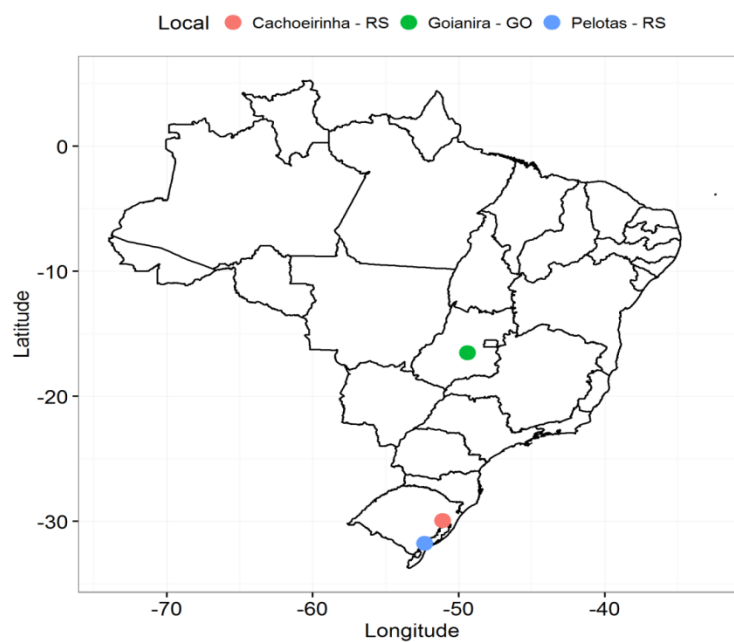


Figura 1. Localização geográfica dos sítios experimentais utilizados neste estudo.

Goianira, localizada no Estado de Goiás, apresenta clima tropical de savana (Aw), megatérmico, com temperatura média anual do ar de 22,6°C, com médias mínimas e máximas de 14,1°C e 31,3°C, respectivamente. Em Pelotas e Cachoeirinha, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, o clima é classificado como Cfa, subtropical úmido ou

temperado, com verões tépidos e precipitações regulares, com temperatura média anual do ar de 17,5 °C e médias mínimas e máximas de 13°C e 21°C, de acordo com a classificação proposta por Köppen (Alvares et al., 2014). Para os três locais, as variáveis climáticas temperatura máxima, mínima, radiação solar global e calor efetivo diário (graus-dia, HU), durante o período dos experimentos, estão ilustrados na Figura 2.

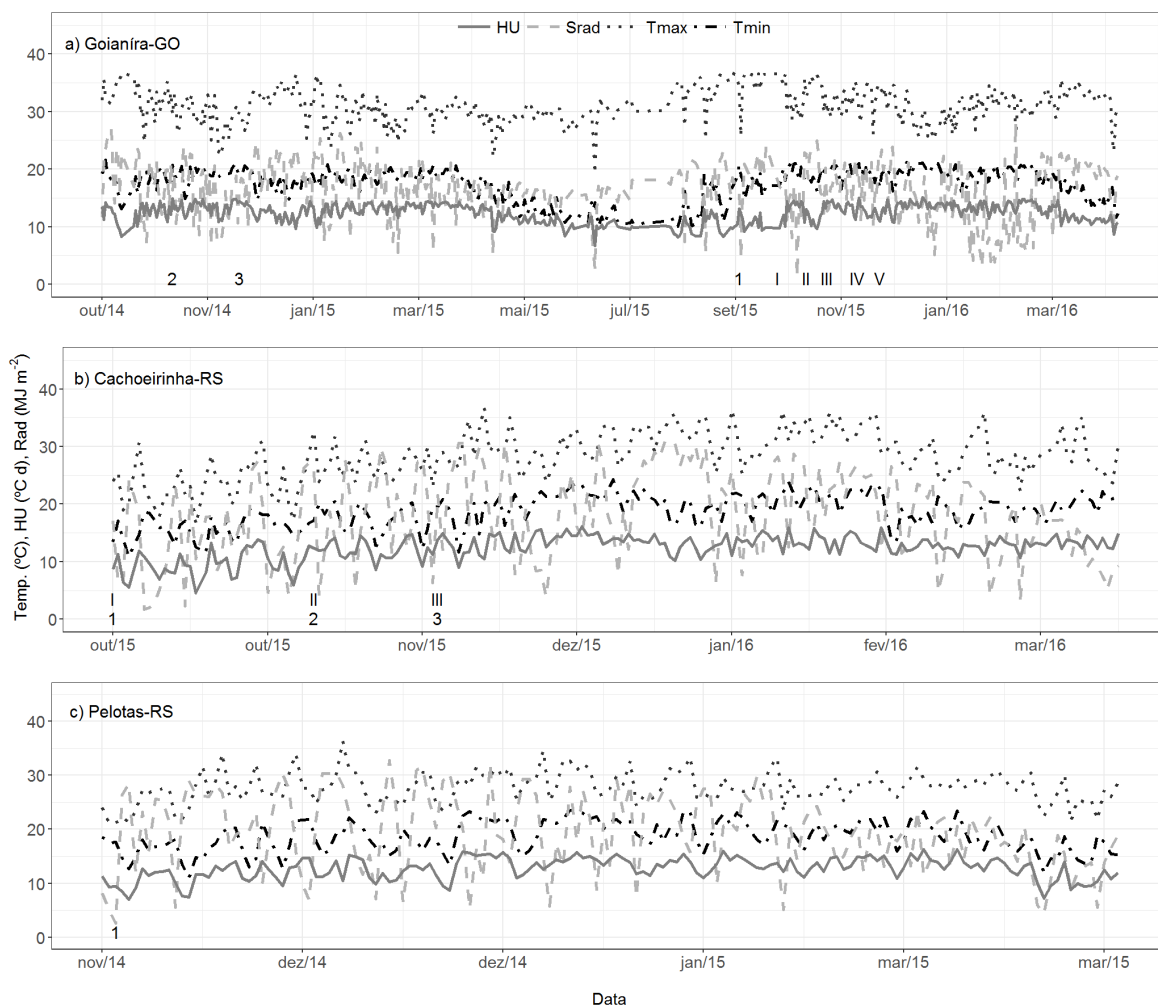


Figura 2. Dinâmica da temperatura (Tmax e Tmin), radiação solar global (Srad) e do acúmulo de calor efetivo diário (graus-dia, HU) em Goianira-GO (a), Cachoeirinha-RS (b) e Pelotas-RS (c). Números arábicos representam as épocas de semeadura dos ensaios nos quais foram obtidos dados de partição de biomassa da matéria seca e fenologia e números romanos somente fenologia.

Na área experimental de Goianira, GO, o solo é classificado como Gleissolo Háplico distrófico de várzea. Enquanto que Pelotas e Cachoeirinha, RS, são classificados como Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico distrófico típico, respectivamente.

3.2 INSTALAÇÃO DOS ENSAIOS

Em todos os ensaios utilizou-se a semeadura direta, exceto em GO_14/15(1), que foi por transplante. As cultivares avaliadas foram BRS Pampa, BRS 7 Taim, Irga 424, consideradas cultivares subtropicais, e BRS Jaçanã e BRS Catiana, cultivares tropicais. Os ensaios foram implantados em delineamento de blocos completos casualizados (DBC), com quatro repetições, tendo como fatores genótipos, datas de semeadura e sítios. As parcelas experimentais foram constituídas de seis linhas de 15 m, espaçadas de 17 cm (Figura 3).



Figura 3. Semeadura (A) e demarcação das unidades experimentais (B) após a emergência das plântulas.

Em cada parcela foram desprezados 0,5 m no comprimento e as duas linhas laterais, como bordadura, totalizando 9,64 m² de área útil por parcela. Para a adubação nitrogenada seguiu-se as recomendações locais para os ensaios por semeadura direta e por transplante. Em GO_14/15(1) utilizou-se 10 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) no transplante e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Nos ensaios GO_15/16(2), GO_15/16(3) aplicou-se 12 kg ha⁻¹ de N na base e 100 kg ha⁻¹ em cobertura. Em PE_14/15 e CA_15/16 foram aplicados 16 kg ha⁻¹ de N na base e 150 kg ha⁻¹ em cobertura. Em todos os ensaios, as adubações nitrogenadas de cobertura foram divididas em três aplicações, sendo 60% no início do perfilhamento (V₃), 20% no estágio V₆ (seis folhas verdadeiras) e 20% na iniciação da panícula (R₁). O controle de insetos-praga, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as necessidades da cultura em cada local e ensaio.

3.2.1 Caracterização da fenologia

Para a análise da fenologia, utilizou-se somente os ensaios GO_15/16(3) e CA_15/16. O ensaio GO_15/16(3) foi composto por cinco experimentos com datas de semeadura em 20/10/15, 05/11/15, 17/11/15, 4/12/15 e 17/12/15 para as cinco cultivares. O ensaio CA_15/16 para as cultivares BRS Pampa, BRS 7 Taim, Irga 424 e BRS Catiana foi composto por três experimentos com datas de semeadura em 1/10/2015, 9/11/2015 e 3/10/2015, e para a cultivar BRS Jaçanã dois experimentos com datas de semeadura em 1/10/2015 e 9/11/2015. Nesses experimentos foram monitoradas dez plantas de cada cultivar em cada unidade experimental, sendo observadas as datas de emergência e as fases fenológicas: V6 (emissão da 6ª folha no colmo principal), R1 (iniciação da panícula), R4 (florescimento) e R9 (maturação fisiológica), ilustradas na Figura 4, definidas de acordo com a classificação proposta por Counce et al. (2000) (Tabela 1).

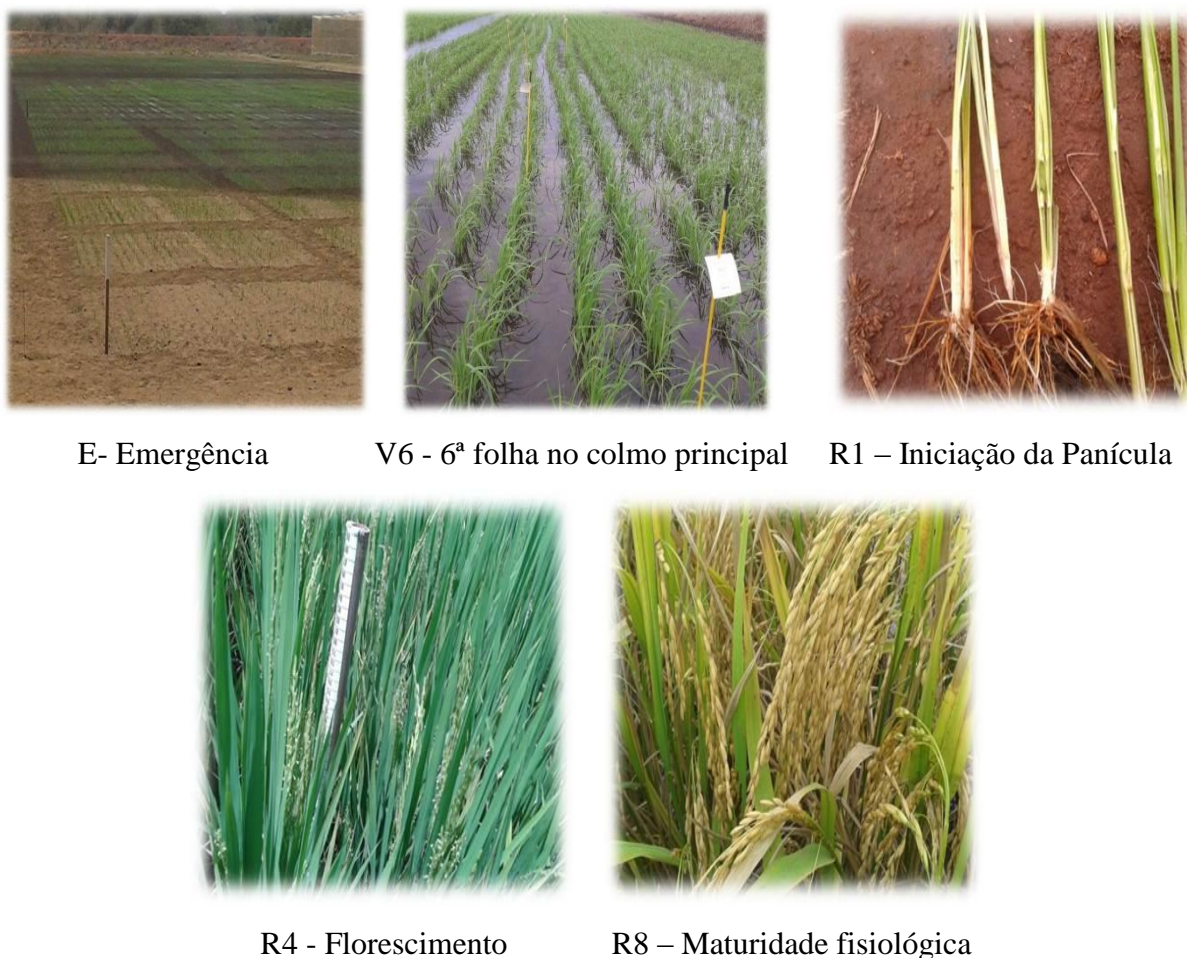


Figura 4. Fases fenológicas observadas nas plantas de arroz nos diferentes sítios e datas de semeaduras.

Tabela 1. Descrição de eventos e marcadores morfológicos referentes às fases e estádios de desenvolvimento da planta de arroz, de acordo com a classificação proposta por Counce et al. (2000).

Fase	Estádio	Marcador morfológico/Evento no colmo principal	Eventos concomitantes no mesmo colmo
Plântula	S0	Semente seca	
	S1	Emergência do coleótilo	
	S2	Emergência da radícula	
	S3	Emergência do perfilo do coleótilo	
Vegetativo	V1	Formação do colar da primeira folha no colmo principal	
	V2	Formação do colar da segunda folha no colmo principal	Formação das raízes nodais (V2 a R0)
	V3	Formação do colar da terceira folha no colmo principal	Processo de perfilhamento (V3 a Vn), podendo ir até R9;
	V4	Formação do colar da quarta folha no colmo principal	
	Vn	Formação do colar da n folha (folha-bandeira) no colmo principal	
Reprodutivo	R0	Início do desenvolvimento da panícula	Geralmente ocorre entre V9 a V10
	R1	Diferenciação da panícula	Diferenciação da lema e da pálea, V11 a V12;
	R2	Formação do colar na folha bandeira	Microsporogênese e emborrachamento, V13;
	R3	Emissão da panícula na bainha (exserção da panícula)	Alongamento do pedúnculo, R2;
	R4	Antese (uma ou mais espiguetas em antese)	Polinização, R3;
	R5	Expansão do grão em comprimento e largura	Crescimento da cariopse, R4;
	R6	Expansão do grão em espessura	Enchimento dos grãos, estágio leitoso, R5;
	R7	Grãos com casca amarela (ao menos um grão da panícula)	Enchimento dos grãos, estágio ceroso, R6;
	R8	Maturação do grão (ao menos um grão com casca marrom)	Grãos secos, maturidade fisiológica, R7;
	R9	Maturação de toda panícula (todos os grãos com casca marrom)	Mudanças pós-colheita; R8

Adaptada de Counce et al. (2000).

As diferenças fenológicas entre as cultivares foram obtidas em razão da necessidade de graus-dia acumulados (GDA) e do número de dias decorridos após a emergência para cada fenofase. Essas diferenças fenológicas entre cultivares para os diferentes sítios foram comparadas por meio de intervalos de confiança a 5% de probabilidade de erro.

3.2.2 Dinâmica da biomassa seca acumulada

Para determinação da dinâmica da biomassa da matéria seca total (BST), eficiência do uso da radiação (EUR), área específica foliar (AEF), partição de fotoassimilados e produtividade foram utilizados os ensaios GO_14/15(1), GO_15/16(2), PE_14/15 e CA_15/16. O ensaio GO_14/15 teve dois experimentos com datas de transplante, em 10/11/2014 (SD2) e 18/12/2014 (SD3), sendo monitoradas nesse ensaio as cultivares BRS Catiana, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim. O ensaio GO_15/16(2) foi composto apenas de um experimento, com data de semeadura em 28/09/2015 (SD1), para as cultivares BRS Catiana, BRS Jaçanã, BRS Pampa, BRS 7 Taim e IRGA 424. No ensaio PE_14/15, teve somente um experimento semeado em 03/11/2014 (SD2). Nesse experimento avaliou-se as cultivares BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim. O ensaio CA_15/16 constou de três experimentos com datas de semeadura em 01/10/2015 (SD1), 09/11/2015 (SD2) e 03/12/2015 (SD3), nas quais todas as cultivares citadas acima estiveram presentes, com exceção da BRS Jaçanã, que estava apenas em SD1. Todos os experimentos possuíram o mesmo delineamento estatístico já descrito.

Durante o período experimental foram coletadas amostras semanais de plantas em 1 metro de linha de semeadura nas unidades experimentais (Figura 5). Essas amostras foram separadas em colmos, folhas e panículas, sendo em seguida submetidas à secagem em estufa a 75 °C por 48 h para obtenção da BST e de seus componentes (folhas, colmos e panículas). A área foliar (AF, cm² m⁻²) foi determinada por medidor fotoelétrico, modelo LI-3100 (LI-COR) e a área específica foliar (AEF) calculada conforme a equação 1.

$$AEF = AF / \text{Massa seca das folhas} \quad \text{eq. 1}$$

A dinâmica da BST das cultivares nos diferentes ensaios foi estimada por meio do modelo logístico descrito na equação 2:

$$BST = a / (1 + (b * \exp^{(c * GDA)})) \quad \text{eq.2}$$

em que: a, b e c são os valores dos parâmetros relativos à assíntota, inflexão e escala, respectivamente, e GDA os graus-dia acumulado no tempo após a emergência.

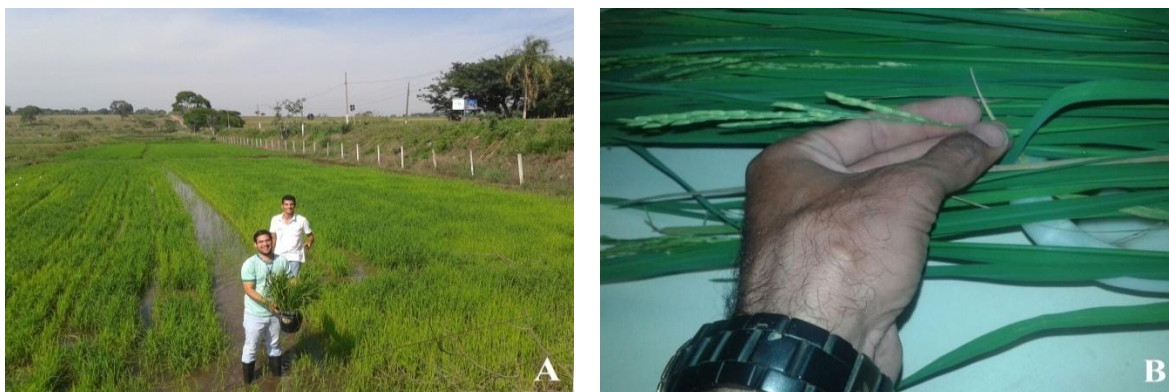


Figura 5. Coleta de material vegetal (A) e fracionamento dos órgãos da planta de arroz (B) para determinação da biomassa da matéria seca acumulada.

Para determinar as tendências na partição da biomassa seca total e na AEF utilizou-se o algoritmo de suavização de Kalman Filter (Petris, 2010) para obter os valores médios e suas respectivas variâncias. Para a AEF além do “Kalman Filter”, empregou-se também o ajuste pela função “Smooth”. O ajuste da BST pela função logística e o ajuste da AEF pelo algoritmo de suavização de “Kalman” foram realizados utilizando-se o programa R, v.3.3 (R Core Team 2016), pacotes nlme e dlm.

3.2.3 Taxas relativas de desenvolvimento fenológico e eficiência no uso da radiação

Dados meteorológicos de radiação solar, temperatura, precipitação e umidade relativa do ar foram coletados de estações agrometeorológicas instaladas próximas às áreas experimentais. A determinação da sensibilidade fotoperiódica das cultivares utilizadas foi realizada por meio da análise de regressão entre o número de dias decorridos entre a emergência e/ou transplante e o florescimento e a data de emergência, utilizando-se como critério os valores dos coeficientes angulares da regressão, seguindo metodologia descrita em Fukai (1999) e também utilizada no Brasil por Lorençoni et al. (2010).

A quantificação do desenvolvimento fenológico para os diferentes experimentos foi realizada por meio dos GDA ($^{\circ}\text{C d}$) e pela taxa de desenvolvimento fenológico (DVR, $^{\circ}\text{C d}^{-1}$) para os diferentes experimentos utilizados neste estudo, seguindo a metodologia proposta por Bouman et al. (2001), descritas nas equações (3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 e 10):

$$Td = \frac{Tm+TM}{2} + \frac{TM+Tm}{2} * \cos[0.2618(h - 14)] \quad (3)$$

Sendo que h representa o número de horas de um dia, variando de 1 a 24; Tm representa a temperatura mínima e TM a temperatura máxima:

$$HUH = 0 \text{ se } (Td \leq Tb \text{ ou } Td \geq TH) \quad (4)$$

$$HUH = \frac{Td-Tb}{24} \text{ se } (Tb < Td < To) \quad (5)$$

$$HUH = \frac{1}{24} * \left[To - (Td - To) * \frac{To-Tb}{TH-To} \right] \text{ se } (To < Td < TH) \quad (6)$$

Td é a temperatura horária, em °C e HUH é a unidade de calor efetivo horária, em °C d h⁻¹. As temperaturas cardinais: temperatura base (Tb, °C), abaixo da qual não há mais desenvolvimento da cultura; temperatura ótima (To, °C) para o desenvolvimento da cultura e temperatura máxima (TH, °C), acima da qual não há mais desenvolvimento da cultura foram determinadas por meio de uma função de minimização do erro do quadrado médio entre o número de dias observado (experimentos de campo) e número de dias simulados, utilizando a DVR para os períodos vegetativo, reprodutivo e enchimento de grãos. Para o cálculo do DVR para as fases vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos foram utilizadas as equações 8; 9 e 10. Assim, os valores de Tb, To e TH que apresentaram os melhores ajustes foram 10, 29 e 37 °C, respectivamente. Nessa função de minimização foram considerados somente os experimentos realizados em Goianira, GO. Assumiu-se que os cultivares utilizados nesse estudo apresentam os mesmos valores de Tb, To e TH. Para os sítios experimentais de Pelotas e Cachoeira, RS, utilizou-se os mesmos valores de Tb, To e TH otimizados para Goianira, GO, para viabilizar a comparação e permitir a análise da performance desses cultivares.

As unidades de calor efetivo diário (HU) foram determinadas agregando os HUH para cada fase do desenvolvimento fenológico da cultivares, enquanto que os GDA foram obtidos pelo somatório de HUH.

$$GDA = \sum_{h=1}^{24} HUH \quad (7)$$

$$DVR_V = \frac{(0.65-0)}{GDA_V} \quad (8)$$

$$DVR_R = \frac{(1-0.65)}{GDA} \quad (9)$$

$$DVR_E = \frac{(2-1)}{GDA_E} \quad (10)$$

sendo _v – vegetativo , _R – reprodutivo e _E – enchimento de grãos e GDA graus-dia acumulados (°C d).

A EUR, expressa em g MJ^{-1} , foi calculada por meio do coeficiente angular da regressão linear entre BST, em kg ha^{-1} , e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA), em MJ m^{-2} , assumindo-se que a RFA corresponde a 50% da radiação solar global diária incidente média, no período compreendido entre os estádios de desenvolvimento. Também, determinou-se o impacto da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acumulada no período de -10 a +25 dias após o florescimento (Dingkuhn et al., 2015) sobre a produtividade para as três localidades.

3.2.4 Produtividade e seus componentes

Quando as plantas de cada parcela atingiram estágio R8 foi amostrada uma área de 6 m^2 para determinação da produtividade de grãos (t ha^{-1}). Após a colheita determinou-se o número de grãos por m^2 , percentual de espiguetas férteis e o número de panículas por m^2 (Figura 6). Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância conjunta, utilizando-se a abordagem para a análise de experimentos em grupos com mais de um tratamento comum, seguida de teste comparativo de médias LSD a 5% de probabilidade (para cultivares, locais e datas de semeadura). Para componentes de produtividade foram efetuados ajustes de regressão. Os componentes da produtividade foram determinados somente para os ensaios realizados em Goianira, GO.

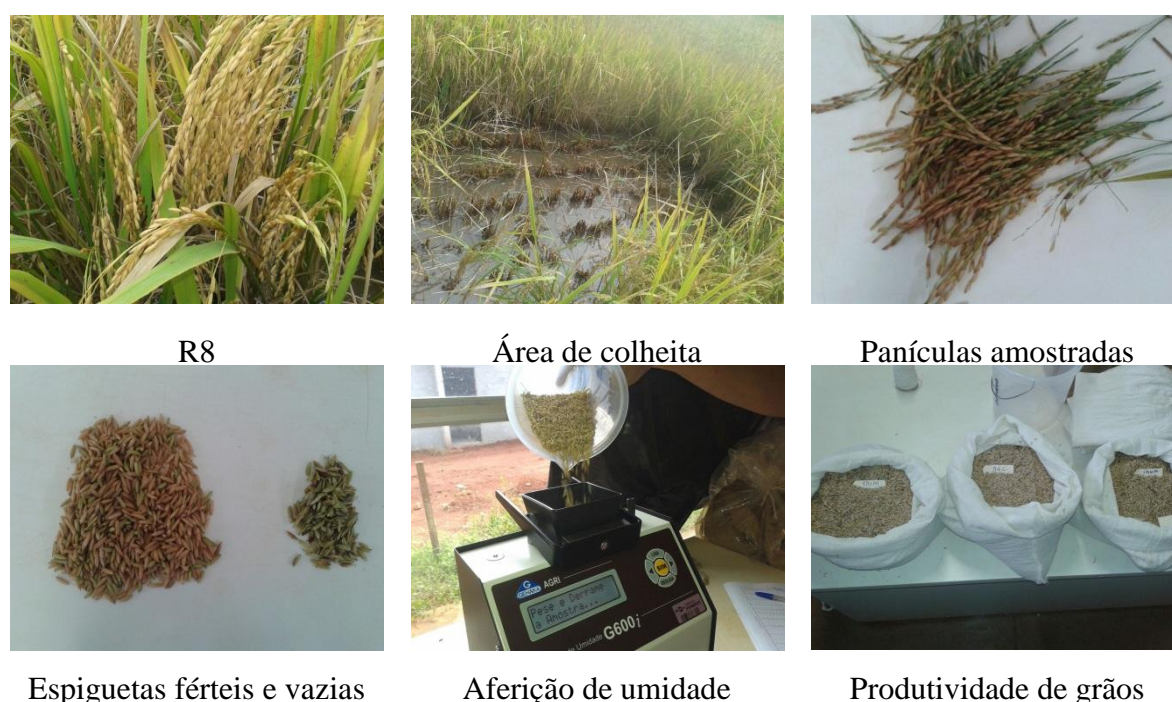


Figura 6. Área de colheita e amostragem dos componentes da produtividade.

Com o intuito de identificar a resposta da produtividade de grãos de arroz frente ao acúmulo de graus-dia e de radiação global em cada fase de desenvolvimento da planta, as diferenças nas produtividades das cultivares foram minimizadas pela utilização da média padronizada, seguindo a metodologia proposta por Fan e Liu (2010). Os dados normalizados foram definidos como "dados relativos" e calculados como se segue:

$$PGR = \frac{\textit{Produtividade de determinada cultivar na época X no local Y}}{\textit{Produtividade média desta cultivar em todos locais e épocas de cultivo}}$$

em que: PGR = Produtividade de grãos relativa; X = SD1, SD2, SD3 e Y = Cachoeirinha e Pelotas, RS e Goianira, GO. Todos os procedimentos estatísticos, bem como a confecção dos gráficos foram realizados com o auxílio do software R, v.3.3 (R Core Team 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento do dia, na época de produção (outubro a março), varia conforme o sítio (Figura 7). O valor máximo e mínimo do comprimento do dia é de 14 e 13 horas e 11 e 12 horas para os sítios Cachoeirinha, RS, e Goianira, GO, respectivamente. Em ambos os sítios, não há ocorrência de fotoperíodo crítico para antecipação da floração durante as épocas de cultivo (comprimento do dia menor que 10 h).

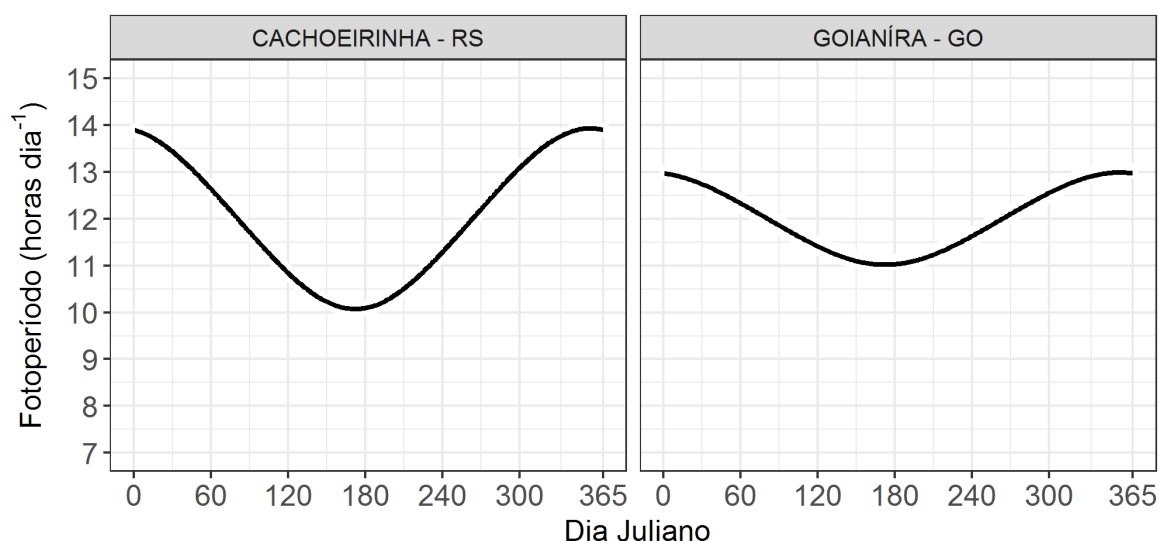


Figura 7. Dinâmica do fotoperíodo em Cachoeirinha-RS e Goianira-GO, ao longo do ano.

A sensibilidade fotoperiódica das cultivares nos sítios de cultivo é ilustrada na Figura 8. De acordo com Fukai (1999), as cultivares utilizadas neste estudo (BRS Catiana, BRS Jaçanã, BRS Pampa, BRS 7 Taim e Irga 424) apresentaram leve sensibilidade ao fotoperíodo (coeficiente angular (b) menor que 0,7, Figura 8). Baseado nesse resultado considerou-se que o desenvolvimento fenológico na fase vegetativa é regido basicamente pela temperatura. Uma das principais implicações agrônômicas do fotoperíodo para cultivares insensíveis, ou ainda, levemente sensíveis, é que as mesmas podem florescer e amadurecer durante o ano todo, o que permite ampliar a janela de semeadura, desde que o período de floração não ocorra quando a temperatura do ar for menor que 22 e maior que 35 °C (Yoshida, 1981) devido à esterilidade de espiguetas e consequente redução produtiva da cultura.

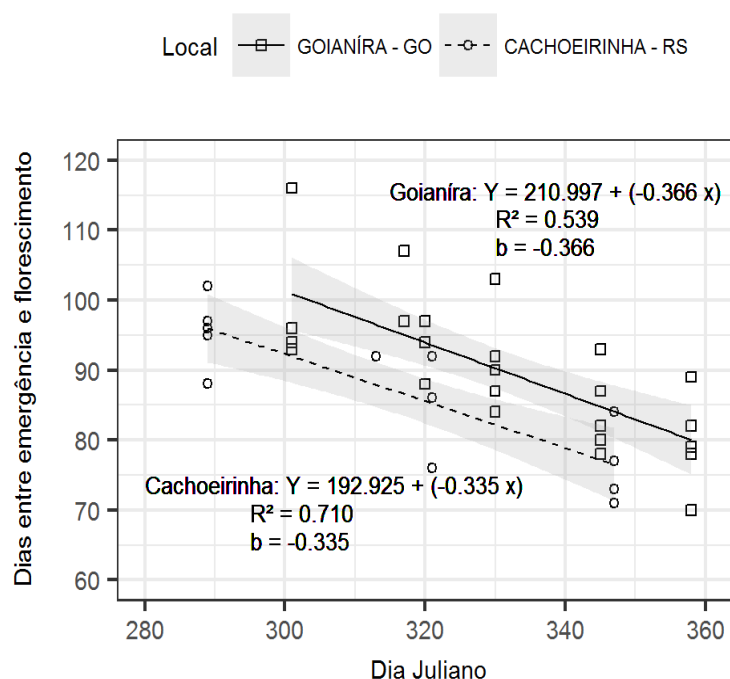


Figura 8. Regressão linear para a caracterização da sensibilidade fotoperiódica de cultivares de arroz irrigado.

Em Goianira, GO (Figura 9a), a antecipação da semeadura aumentou a demanda de GDA para atingir o V6, tendência não encontrada em Cachoeirinha, RS (Figura 9b). O retardo da semeadura reduziu a necessidade de GDA para o florescimento principalmente para Goianira, GO (Figura 9a). Já para Cachoeirinha, RS, isso é verificado (Figura 9b), porém em menor grau. Isso ocorre devido ao fato que em Goianira, GO, há um maior acúmulo de GDA em menor tempo, em razão da maior amplitude térmica no verão. A amplitude térmica média no período de cultivo é de 13,4 e 9,8 °C (Figura 2a e b) para Goianira, GO e Cachoeirinha, RS, respectivamente. A maior variação da necessidade de GDA para o florescimento, com o retardo na semeadura, foi observada para a cultivar BRS Catiana (326,97 °C) em Goianira, GO e a menor para a cultivar BRS Jaçanã (84,80 °C) em Cachoeirinha, RS.

À medida que a latitude diminui, a temperatura média do ar aumenta (Lorençoni et al., 2010) e com isso o ciclo da cultura é alterado, uma vez que o desenvolvimento fenológico de cultivares pouco sensíveis ao fotoperíodo é basicamente regido pela temperatura. A variação da necessidade de GDA para a ocorrência do florescimento das cultivares com o retardo na semeadura refletiu essa tendência (Figura 2), visto que a latitude de Goianira, GO é menor que a de Cachoeirinha, RS.

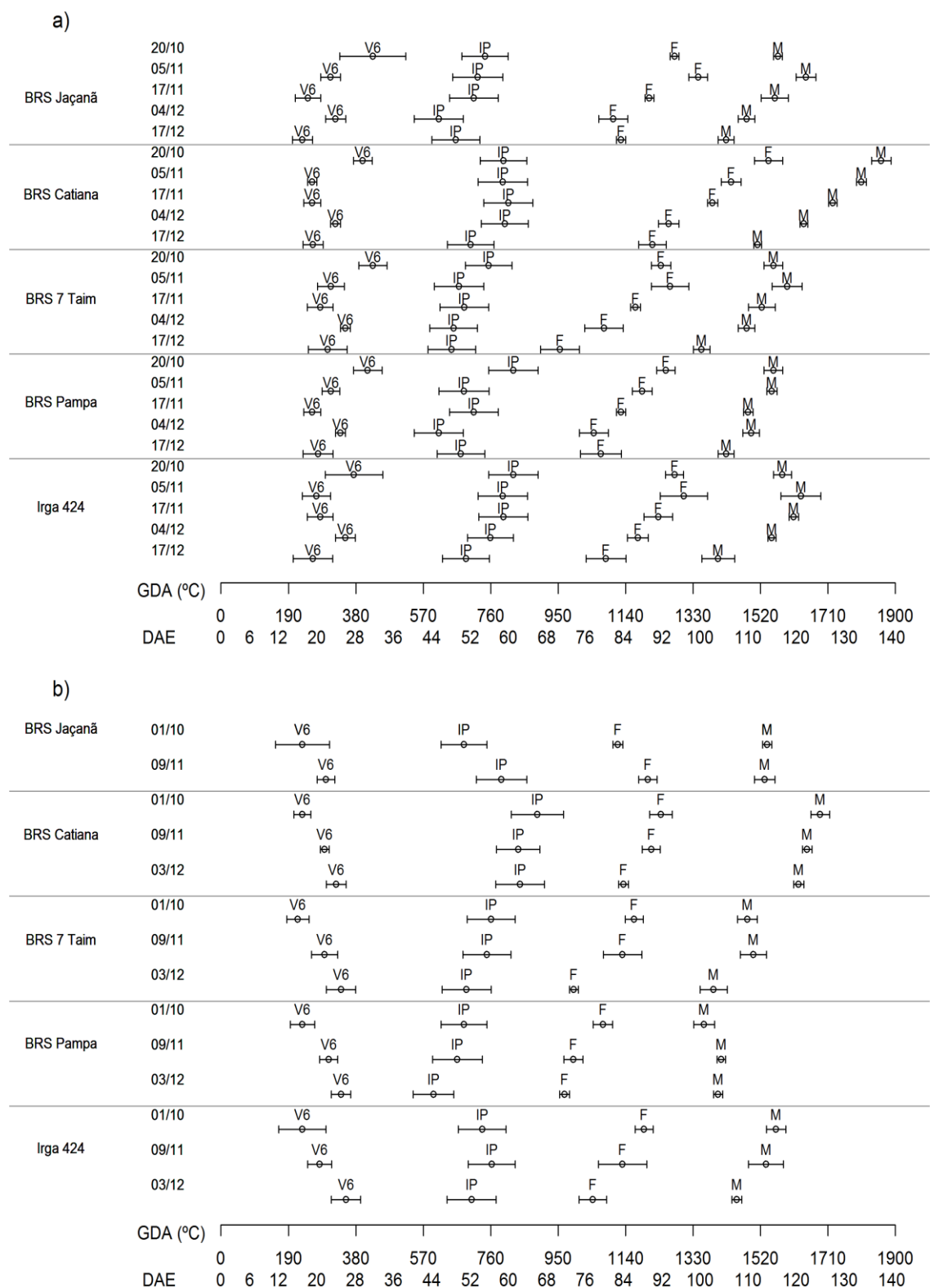


Figura 9. Necessidade de graus-dia acumulados (GDA) e de dias após a emergência para mudança de fase de cinco cultivares de arroz irrigado cultivadas em Goianira-GO (a) e Cachoeirinha-RS (b) em diferentes épocas. E= emergência; V6= início da fase sensível ao fotoperíodo; IP= iniciação da panícula; F= florescimento e M= maturação fisiológica. Traço horizontal representa o erro padrão.

De maneira geral, a fase de enchimento de grãos, período entre a floração à maturação fisiológica, é basicamente constante para ambos os sítios, independentemente da época de semeadura. Nesse período a taxa de desenvolvimento relativo na fase reprodutiva (DVRR) variou pouco entre as cultivares com o retardo da semeadura, principalmente em Goianira-GO (Tabela 2). Isso ilustra que o desenvolvimento nesse período é menos sensível à temperatura, podendo considerar número de dias fixos nesse período para simular a produtividade. Isso também foi observado por Van Oort et al. (2011).

Tabela 2. Duração de fases fenológicas (dia) e valores das taxas de desenvolvimento acompanhados do erro padrão da média das fases juvenil (DVRJ), fase sensitiva ao fotoperíodo (DVRI), fase de desenvolvimento da panícula (DVPR) e da fase reprodutiva (DVRR) para cultivares de arroz irrigado em ambiente tropical e subtropical.

Local	Fase		Cultivar					
			BRS Catiana	BRS Jaçanã	BRS Pampa	BRS Taim	IRGA 424	
GOIANIRA - GO	V6	Dias	22,8±2,33	22,8±2,87	24,2±2,24	25,4±2,11	23,4±1,96	
		DVRJ ^a	13,8±1,12	14,1±1,45	12,9±1,03	12,3±0,86	13,3±0,96	
	R0	Dias	36,2±2,05	29±2,58	29±2,40	26,4±1,32	34,8±1,93	
		DVRI ^a	6,08±0,37	7,78±0,74	7,74±0,70	8,34±0,39	6,30±0,31	
	R4	Dias	43,6±3,69	38,6±2,01	32,2±1,35	34±3,39	33±1,37	
		DVPR ^a	6,13±0,50	6,78±0,32	8,09±0,31	8,02±0,93	7,92±0,30	
	R9	Dias	26,4±1,32	24,4±1,16	27,4±1,63	27±1,48	25,8±1,15	
		DVRR ^a	29,6±1,37	31,2±1,56	27,8±1,66	27,8±1,44	29,5±1,36	
	CACHOEIRINHA - RS	V6	Dias	23,6±0,33	24,5±0,5	24,3±0,33	23,6±0,33	24±0,57
			DVRJ ^a	14,4±1,44	15,2±1,95	14,1±1,59	14,5±1,87	14,3±1,67
R0		Dias	44±4	37,5±0,5	28±4,72	35±4,72	34,6±3,75	
		DVRI ^a	5,43±0,35	6,47±0,35	9,03±1,37	7,05±0,80	7,05±0,72	
R4		Dias	26±2,08	33±3	27±0,57	27±2,51	29±2,30	
		DVPR ^a	10,3±0,86	8,01±0,90	9,62±0,43	9,74±0,92	9,06±0,74	
R9		Dias	35±1,52	26±2	29,3±3,28	28±1,73	30,6±0,88	
		DVRR ^a	21,8±0,76	29,3±2,31	27±3,45	27,7±1,49	25,2±0,51	

^a Taxa de desenvolvimento relativo ($\times 10^{-4}$). Número de repetições = 5 e 3 pra Goianira, GO e Cachoeirinha, RS, respectivamente.

A eficiência do uso da radiação (EUR) é ilustrada na Figura 10. Em Cachoeirinha, a época de semeadura não impactou significativamente a EUR das cultivares (Figura 10b e d). Isso é interessante e desejável, pois, permite ampliar a janela de

semeadura (outubro-dezembro), sem que ocorram prejuízos no acúmulo de biomassa. Já em Goianira, GO, as cultivares BRS Jaçanã e BRS Pampa apresentaram maior EUR na semeadura em dezembro (SD3), enquanto que para as cultivares BRS Catiana e BRS Taim não houve diferença na EUR para a semeadura em outubro (SD1) e dezembro (SD3).

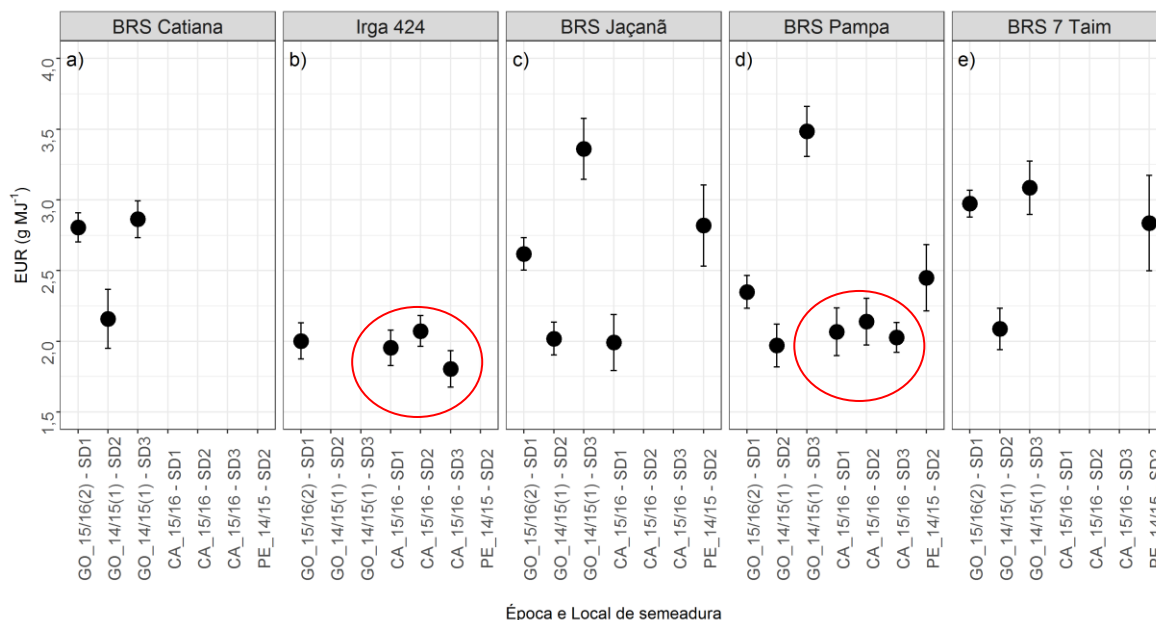


Figura 10. Eficiência no uso da radiação (EUR) pelas cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim em Goianira (GO), Cachoeirinha (CA) e Pelotas (PE) em diferentes épocas de semeadura. Barra vertical indica o erro padrão para a EUR.

A semeadura em novembro (SD2) resultou em queda na EUR para todas as cultivares em Goianira, GO. A razão disso é o menor acúmulo de biomassa observado para todas as cultivares nesse local (Figura 11). Por sua vez, a dinâmica do acúmulo de biomassa está também relacionada com o acúmulo de temperaturas mínimas na fase reprodutiva, que foi menor para a SD2 (Figura 12d). Khan et al. (1986) e Gunawardena et al. (2003) relataram que a ocorrência de baixas temperaturas na fase reprodutiva reduz a fotossíntese e também pode aumentar a esterilidade de espiguetas, comprometendo o acúmulo de biomassa total. O contraste nos valores da EUR apresentado pelas cultivares em razão das épocas de semeadura nos ambientes de cultivo demonstra a importância da investigação e determinação de épocas adequadas para a semeadura nos locais de produção de arroz irrigado no Brasil.

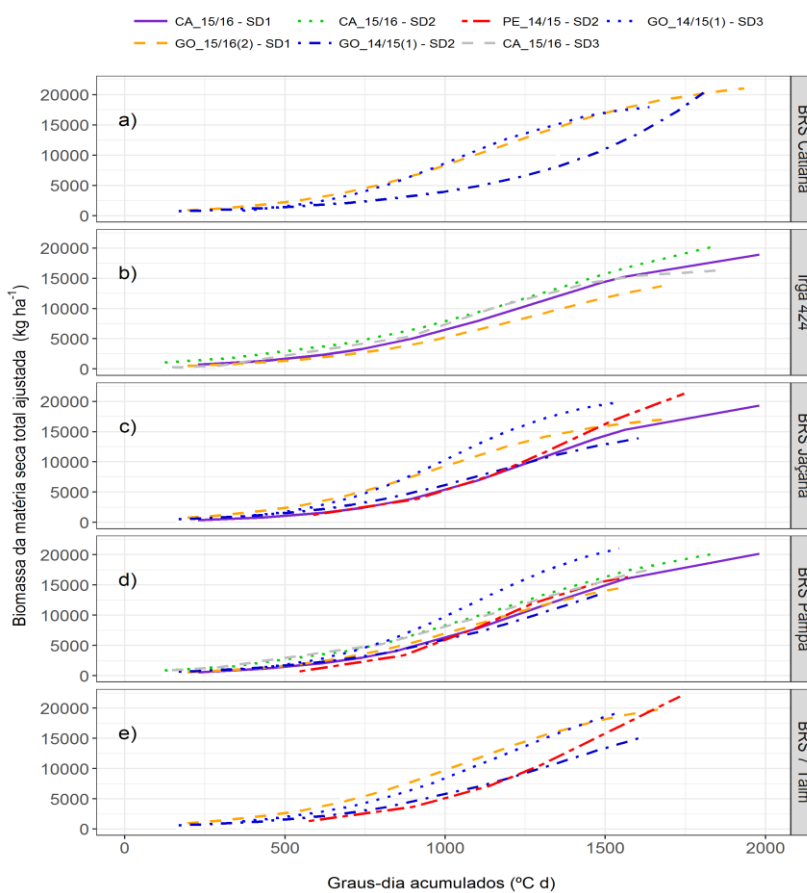


Figura 11. Tendência do acúmulo de biomassa da matéria seca total ajustada das cultivares (a) BRS Catiana, (b) Irga 424, (c) BRS Jaçanã, (d) BRS Pampa e (e) BRS 7 Taim em razão dos graus-dia acumulados (GDA) para os locais e épocas de semeadura.

Para verificar se há tendência na redução do acúmulo de temperatura mínima no período reprodutivo em Goianira, GO, utilizou-se o modelo *ORYZA-2000* calibrado e validado para a taxa relativa média de desenvolvimento fenológico (DVR) das cultivares utilizadas nesse estudo. Para isso utilizou-se uma série climática de 32 anos (1980-2012) referentes ao município de Goianira, GO. Baseado no resultado (Figura 13a e b) observou-se que semeaduras a partir de novembro apresentaram uma tendência em diminuir a quantidade acumulada de temperatura mínima (T_{min}) e aumentar a quantidade acumulada da temperatura máxima (T_{max}), ou seja, há um aumento da amplitude térmica em Goianira, GO.

Essa informação ilustra que provavelmente em alguns anos, como no ano safra 2014/2015, a semeadura em novembro (SD2) pode proporcionar menores acúmulos de T_{min} na fase reprodutiva, como ilustrado na Figura 12d, refletindo em menor acúmulo de biomassa total (Figura 11) e menores valores de EUR (Figura 10).

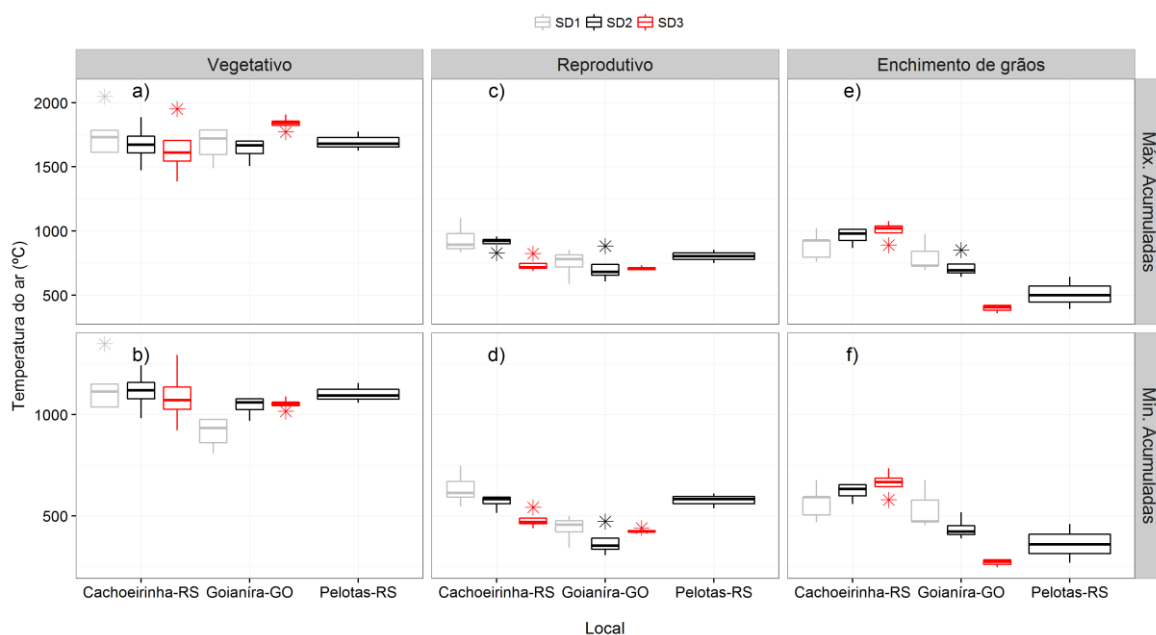


Figura 12. Boxplot do acúmulo de temperaturas máximas (Max. Acumuladas) (a,c,e) e mínimas (Min. Acumuladas) (b,d,f) nos estádios vegetativo, reprodutivo e de enchimento de grãos nas datas de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2), e dezembro (SD3). Barras acima e abaixo das caixas indicam o percentil 75 e percentil 25 do conjunto de dados, respectivamente. Linhas horizontais em cada caixa indicam os valores das medianas dos dados relativos ao ciclo das cinco cultivares ($n = 5$).

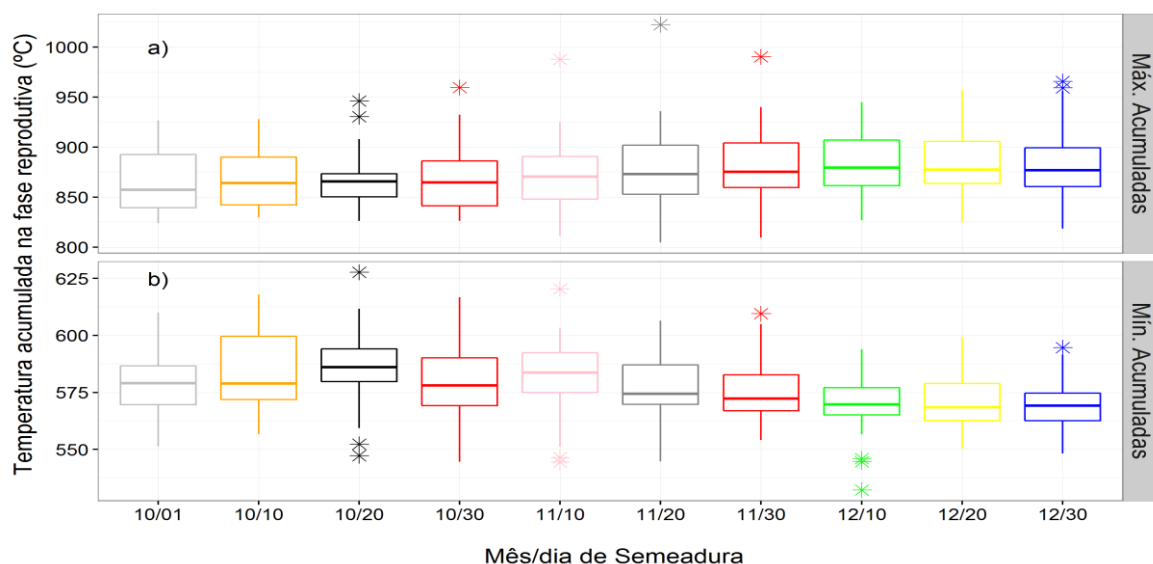


Figura 13. Boxplot do acúmulo de temperaturas máximas (Max. Acumuladas) (a) e mínimas (Min. Acumuladas) (b) no estágio reprodutivo para uma série climatológica de 32 anos (1980-2012) em diferentes datas de semeadura no período outubro-dezembro em Goianira-GO. Barras acima e abaixo das caixas indicam o percentil 75 e percentil 25 do conjunto de dados, respectivamente. Linhas horizontais em cada caixa indicam os valores das medianas dos dados.

A área específica foliar (AEF) não diferiu entre cultivares, locais de cultivos e épocas de semeadura. Chen et al. (2008) e Tang et al. (2009) também não verificaram diferença significativa entre cultivares, locais e anos para a AEF na China. Isso indica que a AEF é uma característica com dinâmica estável. Os maiores valores de AEF foram reportados no início do desenvolvimento da cultura, devido ao acúmulo de reservas nas folhas, decrescendo com o desenvolvimento do ciclo (Figura 14). Esse decréscimo é natural e deve-se à translocação de reservas das folhas para outras partes da planta, tais como colmos e panículas (Falqueto et al., 2009; Alvarez et al., 2016). Em ambos os modelos de ajuste utilizados, a estabilização da AEF ocorreu no florescimento ($DVS = 1$), com valor médio de $165 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$.

Em geral, os valores de AEF variam entre 150 a $400 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, e dependem do tipo de cultura. Fisiologicamente, valores elevados de AEF reduzem a quantidade de assimilados necessários para produzir uma dada área foliar, isso resulta em uma cobertura do solo mais cedo e, conseqüentemente, maior interceptação de luz e maiores taxas de assimilação de biomassa. Em modelos de simulação de cultura, a AEF é um dos parâmetros mais importantes, pois determina a quantidade de índice de área verde produzida diariamente (Boschetti et al., 2006). Ela pode ainda ser considerada como a explicação das variações nas taxas de crescimento entre indivíduos de diferentes espécies vegetais (Pinzón-Torres & Schiavinato 2008).

Por outro lado, quando os esforços estão voltados para solucionar problemas gerias, como é o caso da produção do arroz irrigado em macrorregiões, como o Sul do Brasil, a similaridade da AEF entre distintos cultivares é um aspecto interessante. Ela possibilita que a simulação do crescimento e desenvolvimento de diferentes genótipos possa ser feita pelo uso de modelos de simulação de cultura que utilizam um conjunto reduzido de parâmetros de cultura, com valores fixos de AEF para toda a estação de crescimento, como é o caso do CropSystem (Singh et al., 2008). Isso, além de facilitar a calibração desses modelos, permite que tomadas de decisões aconteçam mais rapidamente, em comparação com modelos que não consideram taxas fixas ao longo do ciclo, como por exemplo, o modelo Ceres, que é muito detalhado na descrição da fisiologia das plantas, requerendo maior número de parâmetros de cultura. Além disso, o uso de parâmetros fixos nos modelos é útil para simulações em grande escala (Confalonieri & Bechini, 2004).

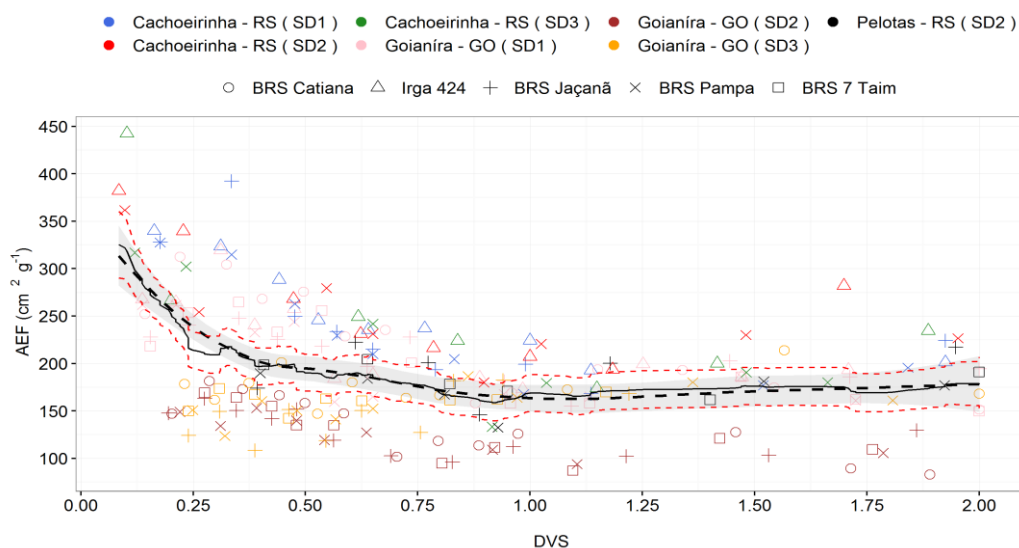


Figura 14. Área específica foliar (AEF) em razão do tempo cronológico (DVS) de cinco cultivares de arroz irrigado em locais e épocas de semeadura. Linhas pretas, contínua e seccionada indicam o ajuste de regressão não-linear ajustadas pelos métodos de “Smooth” e “Kalman Filter”. Faixa cinza e linhas vermelhas tracejadas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade ajustados pelos métodos de “Smooth” e “Kalman Filter”, respectivamente.

A partição de assimilados para as frações de biomassa seca (folha, colmo e panícula) não diferiu entre as cultivares (Figura 15). Diferenças na dinâmica da distribuição de assimilados entre órgãos durante o crescimento e o desenvolvimento das plantas têm sido utilizadas para justificar a produtividade contrastante de genótipos de arroz (Falqueto et al., 2009). Entretanto, vale ressaltar que os impactos da partição sobre a produtividade apenas justificam-se quando a biomassa total das cultivares assumem valores muito próximos, condição essa, não observada neste estudo.

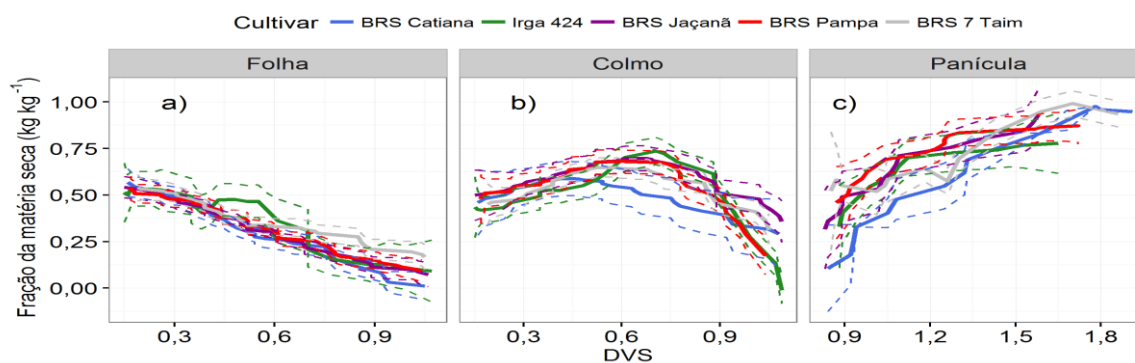


Figura 15. Partição da biomassa de folhas (a), colmos (b) e panículas (c) das cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim em razão do tempo cronológico (DVS) ajustada pelo método de Kalman Filter. Linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

A fertilidade de espiguetas e o número de grãos por metro quadrado não influenciaram a produtividade. O aumento do número de panículas por metro quadrado esteve correlacionado com o aumento da produtividade apenas para as cultivares BRS Pampa e BRS Taim (Figura 16d e e). Para ambas as cultivares essa correlação foi positiva ($r = 0,61$ e $r = 0,57$), ($*p < 0,05$). A razão de não ter ocorrido correlação entre a produtividade e o número de panículas por m^{-2} para as demais cultivares deve-se a plasticidade que alguns genótipos apresentam na fase de perfilhamento ativo, o que faz com que haja ajustamento dos componentes da produtividade, em condições desfavoráveis ao perfilhamento (Lima et al., 2010).

O número de panículas por planta é definido no período de desenvolvimento da cultura até o R1 (dez dias depois que o primórdio da panícula é visível), e depende prioritariamente, do número de colmos por planta (perfilhamento), sendo esse definido por fatores genéticos (cultivar) e ambientais (Dalchiavon et al., 2012). Do ponto de vista agrônomo deseja-se que ocorra um acréscimo linear no número de panículas por metro quadrado, o que na maioria das vezes reflete em maiores produtividades, como observado para as cultivares BRS Pampa e BRS Taim. Entretanto, essa resposta é dependente de vários fatores, como o período da antese, da polinização, da fertilização, estando ainda, intrinsecamente ligada à capacidade do genótipo translocar carboidratos para as panículas.

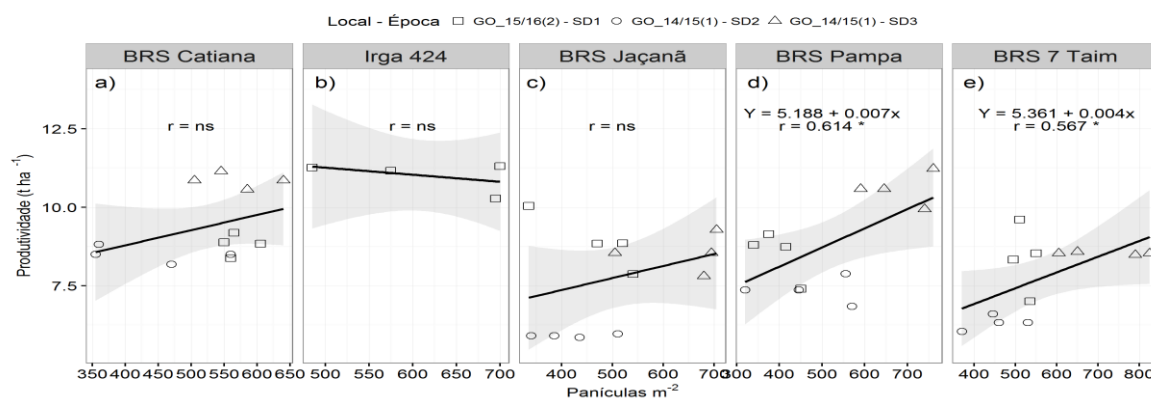


Figura 16. Produtividade de grãos das cultivares BRS Catiana, Irga 424, BRS Jaçanã, BRS Pampa e BRS 7 Taim, em razão do número de panículas por metro quadrado (a, b, c, d, e) em diferentes épocas de semeadura em Goianira-GO. Linha preta e faixa cinza indicam a regressão e o intervalo de confiança a 5% de significância.

Fatores externos, como baixa temperatura no período do florescimento, especialmente ao redor dos 10 dias que o antecedem (Martins et al., 2007), assim como doses excessivas de fertilizantes nitrogenados também podem alterar esse componente da

produtividade. Krishnan et al. (2007) destacam que limitações na produção de arroz imposta por temperaturas extremas podem ser mitigadas, pelo menos em parte, alterando a época de semeadura e selecionando genótipos que produzam mais panículas por m^{-2} e possuam maior fertilidade de espiguetas. Outra vantagem do uso de cultivares responsivas ao incremento no número de panícula por metro quadrado, como BRS Pampa e BRS Taim, é a possibilidade de reduzir a população de plantas “stand”, pois o perfilhamento é compensado pela menor competitividade entre plantas, o que permite reduzir custos com a aquisição de sementes.

Para a produtividade de grãos houve interação entre cultivares, épocas de semeadura e locais de cultivo (Tabela 3). Em Goianira-GO, a semeadura em novembro (SD2) resultou em menores produtividades para todas as cultivares. Já em Cachoeirinha-RS, observou-se o contrário, sendo as maiores produtividades obtidas com a semeadura nesse mês. A cultivar Irga 424, com exceção ao cultivo em Pelotas-RS, no qual a cultivar não foi analisada, apresentou os maiores valores de produtividade. Em Pelotas-RS, a maior produtividade foi observada para a cultivar BRS Taim. Todas as cultivares tiveram alteração na produtividade de grãos em razão da data de semeadura. As menores oscilações nesse parâmetro foram observadas para as cultivares BRS Pampa e BRS 7 Taim em Cachoeirinha-RS. Isso demonstra que essas cultivares, nesse local, podem ser semeadas em período mais amplo (outubro-dezembro), com menor prejuízo à produtividade, enquanto que as demais cultivares apresentam-se mais aptas para semeaduras em períodos específicos para alcançar altas produtividades de grãos.

Em relação aos locais de cultivo, a produtividade média observada em Cachoeirinha, RS, foi superior à média das cultivares em Goianira-GO e Pelotas-RS, sendo 11,01, 8,59 e 7,88 $t\ ha^{-1}$, respectivamente. A interação Cultivar x Local revelou queda de produtividade para todas as cultivares nas condições de Goianira-GO. A produtividade das cultivares de arroz irrigado nesse estudo estão relacionadas com a disponibilidade de radiação e temperatura ao longo do período de crescimento das cultivares (Tabelas 4 e 5). De maneira geral, as maiores produtividades foram obtidas na região Sul em virtude dos maiores valores de GDA e de radiação global acumulada. Dentro de um mesmo local de cultivo, os GDA no período de crescimento foram basicamente similares entre as épocas de semeadura para a maioria das cultivares. O acúmulo de radiação teve maior variação entre épocas de semeadura para o cultivo em Cachoeirinha-RS, com menores acúmulos observados quando a semeadura é realizada em dezembro (SD3).

Tabela 3. Produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$) para cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura (SDs): SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.

Local	Época de semeadura	BRS Catiana	BRS Jaçanã	BRS Pampa	BRS 7 Taim	Irga 424	Média
t h ⁻¹							
Goianira, GO	SD1	8,82 Bd*	8,90 Bb	8,52 Bc	8,36 Bd	11,00 Ac	9,12a
	SD2	8,50 Ad	5,91 Cc	7,36 Bd	6,33 Ce	-	7,02b
	SD3	10,85 Ab	8,54 Bb	10,58 Ab	8,53 Bcd	-	9,63a
Cachoeirinha, RS	SD1	10,61 Bb	11,63 Aa	10,07 Bb	9,45 Cbc	12,18 Ab	10,80b
	SD2	11,49 Ba	-	13,17 Aa	10,19 Cab	13,23 Aa	12,02a
	SD3	9,71 Ac	-	10,68 Ab	10,59 Aa	9,86 Ad	10,21b
Pelotas, RS	SD2	-	8,57 Ab	5,99 Be	9,04 Acd	-	7,88

* Letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem significativamente de acordo com o teste LSD (0,05). A média foi comparada dentro de cada local em função da época de semeadura.

Tabela 4. Graus-dia acumulados ($^{\circ}C\ d$) durante a estação de crescimento de cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura: SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.

Local	Época de semeadura	BRS Catiana	BRS Jaçanã	BRS Pampa	BRS 7 Taim	Irga 424	Média
Goianira, GO	SD1	1335,38	1116,18	1116,18	1116,18	1239,28	1184,64
	SD2	1412,26	1254,81	1177,50	1282,15	-	1281,68
	SD3	1239,87	1225,69	1198,71	1211,41	-	1218,92
Cachoeirinha, RS	SD1	1674,64	1552,62	1376,83	1483,08	1552,62	1527,96
	SD2	1651,38	-	1421,61	1499,8	1535,20	1527,00
	SD3	1627,62	-	1400,50	1387,8	1468,02	1471,00
Pelotas, RS	SD2	-	1447,54	1297,79	1422,35	-	1389,23

Tabela 5. Radiação solar acumulada ($MJ\ m^{-2}$) durante a estação de crescimento de cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura: SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS nas safras 2014/2015 e 2015/2016.

Local	Época de semeadura	BRS Catiana	BRS Jaçanã	BRS Pampa	BRS 7 Taim	Irga 424	Média
Goianira, GO	SD1	1902	1618,4	1682,3	1682,3	1781,3	1733,26
	SD2	1936,9	1716,7	1589,2	1751,3	-	1748,52
	SD3	1753,5	1739,8	1706,5	1722,6	-	1730,6
Cachoeirinha, RS	SD1	2676,3	2467,1	2168,2	2361,5	2467,1	2428,04
	SD2	2578,5	-	2271	2375,6	2430,6	2413,92
	SD3	2317,3	-	2097,3	2084,5	2182,6	2170,42
Pelotas, RS	SD2	-	2347,75	2137,35	2303,31	-	2262,80

Embora em Goianira, GO, tenha ocorrido pouca variação no acúmulo de radiação e nos valores de GDA ao longo do ciclo de crescimento, observaram-se menores taxas de produtividade/GDA e produtividade/PAR-Acumulada em novembro (SD2) (Figura 17a, 17b). A causa disso decorre da baixa EUR evidenciada para todas as cultivares nessa época (Figura 10), bem como da ocorrência de menores acúmulos de temperaturas mínimas na fase reprodutiva (Figura 12d). Em Cachoeirinha, RS, a maior taxa de produtividade/GDA ocorreu em SD2, sendo 6,4% e 15,9% maior que em SD1 e SD3, respectivamente (Figura 17a e b). Da mesma forma a taxa de produtividade /PAR-Acumulada em SD2 foi 7,1% e 8,3% maior do que SD1 e SD3, respectivamente.

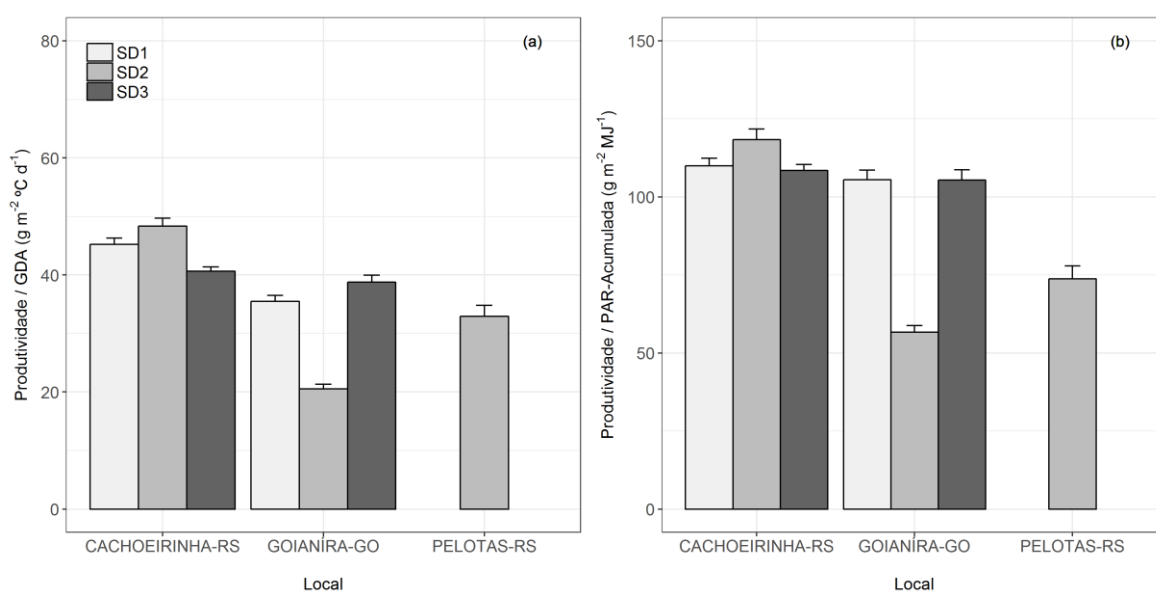


Figura 17. Taxas de produtividade de grãos por graus-dia acumulados durante o ciclo (GDA, g m⁻² °C d⁻¹) (a), e produtividade por radiação fotossinteticamente ativa acumulada no ciclo (PAR-Acumulada, g m⁻² MJ d⁻¹) (b) em diferentes meses de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2), e dezembro (SD3), respectivamente, em três locais de cultivo no Brasil. Barras verticais representam \pm erro padrão das médias de cinco cultivares (n = 5).

Como essas taxas representam a capacidade de produção de grãos por °C d e MJ, os resultados revelam que em Goianira, GO, a semeadura em novembro (SD2) apresentou menor potencial de produtividade do que SD1 e SD3. Enquanto que para Cachoeirinha, RS, maior potencial de produtividade pode ser obtido em SD2 em comparação a SD1 e SD3, respectivamente. Em Pelotas, RS, a taxa de produtividade foi 26,3% menor que Cachoeirinha e 4,36% maior do que em Goianira. A maior produtividade apresentada nos locais da região Sul em comparação à Goianira, GO (região Central) corroboram os achados da literatura nacional, os quais apontam que para cultivares de

arroz irrigado com o mesmo potencial produtivo, maiores produtividades são esperadas para a região Sul do país (Steinmetz et al., 2006).

As médias de temperatura (T_{med}) e radiação solar (R_{med}) durante o ciclo de crescimento do arroz foram de $24,9 \pm 1,9$ °C e $17,5 \pm 0,8$ MJ m⁻² d⁻¹ em Goianira, GO; $25,0 \pm 2,12$ °C e $20,3 \pm 1,5$ MJ m⁻² d⁻¹ em Cachoeirinha, RS; $23,9 \pm 1,7$ °C e $21,0 \pm 0,6$ MJ m⁻² d⁻¹ em Pelotas, RS. Não houve diferença para T_{med} e R_{med} em todo o ciclo de crescimento ao longo das três datas de semeadura (SD1, SD2 e SD3). Já as T_{med} e R_{med} por fase fenológica apresentaram variações entre as datas de semeadura (SD1, SD2 e SD3) (Tabela 6).

Tabela 6. Temperatura diária média (T_{med} , °C) e radiação solar média (R_{med} , MJ m⁻²) \pm desvio padrão nos estádios vegetativo, reprodutivo, enchimento de grãos e em toda a estação de crescimento de cinco cultivares de arroz irrigado em três épocas de semeadura (SDs): SD1 (outubro), SD2 (novembro) e SD3 (dezembro) em Goianira-GO, Cachoeirinha-RS e Pelotas-RS, referente às safras 2014/2015 e 2015/2016.

Estádio	Época	T_{med}	R_{med}	T_{med}	R_{med}	T_{med}	R_{med}
		Goianira, GO		Cachoeirinha, RS		Pelotas, RS	
Vegetativo	SD1	26,07±0,05	18,26±0,02	21,91±0,26	18,19±0,23	-	-
	SD2	24,33±0,05	16,05±0,17	24,27±0,16	19,46±0,51	23,17±0,07	21,19±0,06
	SD3	24,94±0,03	18,99±0,15	25,62±0,10	20,36±0,17	-	-
Reprodutivo	SD1	25,87±0,08	18,01±0,22	25,81±0,24	20,40±2,10	-	-
	SD2	25,27±0,17	20,34±0,26	25,93±0,15	23,04±0,86	24,63±0,20	22,61±0,44
	SD3	24,42±0,12	18,66±0,57	26,48±0,65	22,08±0,80	-	-
Enchimento de grãos	SD1	24,78±0,34	15,59±0,98	26,12±0,34	21,97±0,73	-	-
	SD2	24,67±0,18	18,21±0,27	25,30±0,62	20,40±0,92	23,82±0,18	19,17±1,46
	SD3	23,40±0,12	13,66±0,26	23,79±0,20	16,60±1,49	-	-
Ciclo todo	SD1	25,58±0,62	17,29±1,36	24,61±1,99	20,19±1,99	-	-
	SD2	24,75±0,42	18,20±1,84	25,17±0,80	20,97±1,74	23,87±0,65	20,99±1,68
	SD3	24,25±0,67	17,11±2,57	25,29±1,23	19,68±2,55	-	-

Na fase vegetativa a maior variação na T_{med} ocorreu em Cachoeirinha, RS, sendo a T_{med} na data de semeadura SD3 maior 3,7°C e 1,35 °C que nas datas de semeaduras SD1 e SD2, respectivamente. Enquanto que a R_{med} foi maior para SD3 nos dois locais de cultivo. Na fase reprodutiva, a variação de T_{med} entre as épocas de semeadura ficou abaixo de 1,5 °C, sendo observada maior R_{med} para SD2 em ambos os locais de cultivo. Para a fase de enchimento de grãos ocorreu um decréscimo na T_{med} e R_{med} para a SD3 em Goianira, GO e Cachoeirinha, RS. As tendências das médias da temperatura do ar e da radiação solar durante as fases fenológicas durante as épocas de cultivo estiveram

dentro das faixas ideais nas respectivas fases de crescimento da planta de arroz (Yoshida, 1981), portanto, o contraste na produtividade das cultivares entre as estações de cultivo num mesmo local, pode ser explicado pela diferença no acúmulo de temperaturas mínimas (Figura 12) e de radiação solar global (Tabela 5), principalmente para as fases reprodutivas e de enchimento de grãos.

Para ilustrar o efeito da temperatura e da radiação solar na produtividade de grãos é essencial investigar a quantidade de GDA e de radiação solar global acumulada (RAD-AC) em cada fase fenológica. Para as fases da cultura, reprodutiva e enchimento de grãos, houve correlação significativa positiva entre produtividade e GDA e RAD-AC (Figura 18b, 18e, 18c e 18f).

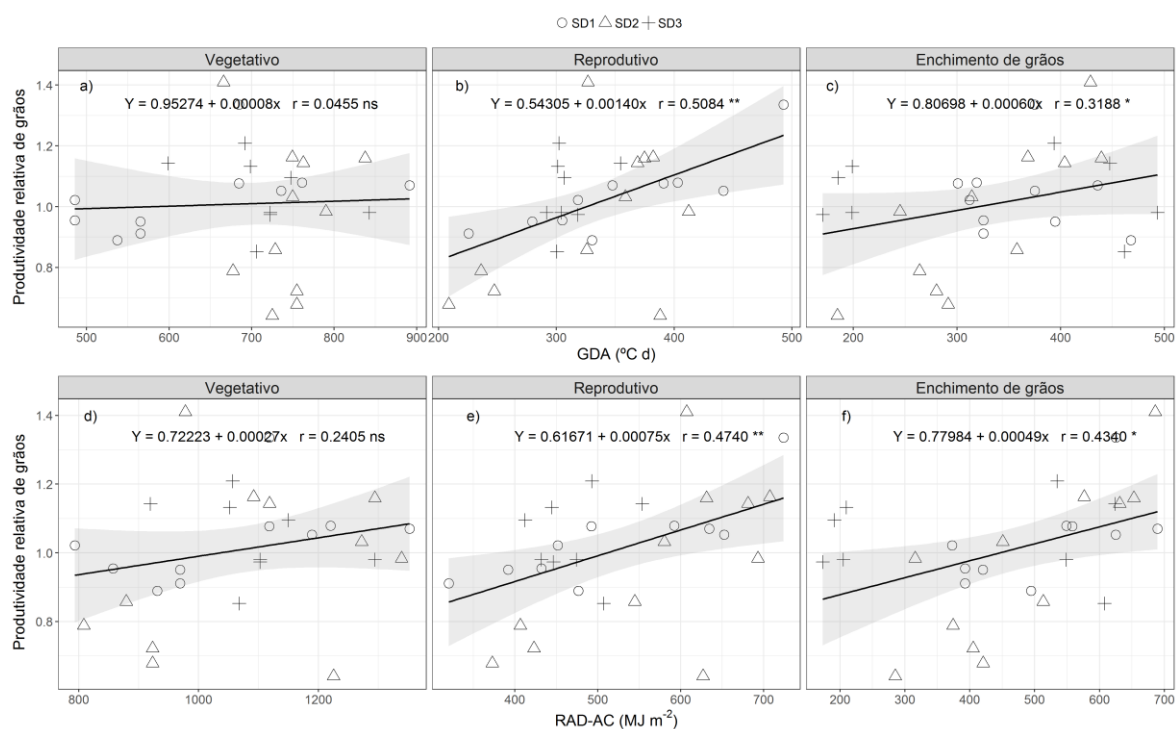


Figura 18. Correlações entre a produtividade relativa de grãos e graus-dia acumulados (GDA) e produtividade relativa de grãos e radiação solar global acumulada (RAD-AC) durante os períodos: vegetativo (a e d), reprodutivo (b e e), e de enchimento de grãos (c e f) de cinco cultivares em três épocas de semeadura: outubro (SD1), novembro (SD2) e dezembro (SD3) em dois locais de cultivo (n = 29). * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

A correlação positiva verificada entre a produtividade de grãos relativa e os GDA nas fases reprodutiva e de enchimento de grãos evidencia que a o acúmulo de graus-dia é determinante para a produtividade da cultura do arroz. Isso ajuda a explicar as baixas produtividades observadas em Goianira, GO, quando a ocorrência de menores acúmulos de

temperaturas mínimas se deu na fase reprodutiva (Figura 12d e Tabela 4). Assim, deve-se buscar pelo zoneamento da semeadura da cultura em períodos com baixa probabilidade de ocorrência de dias consecutivos com temperaturas extremas (Mínima = 15 °C e Máxima = 35°C) nessas fases.

A correlação entre a produtividade de grãos e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA) quando considerado o período de 10 dias antes e 25 dias após o florescimento também foi positiva, com valor de r absoluto = 0,4241 ($p < 0,05$) (Figura 19). Resultados semelhantes foram observados por Tao et al. (2013) e Dingkuhn et al. (2015).

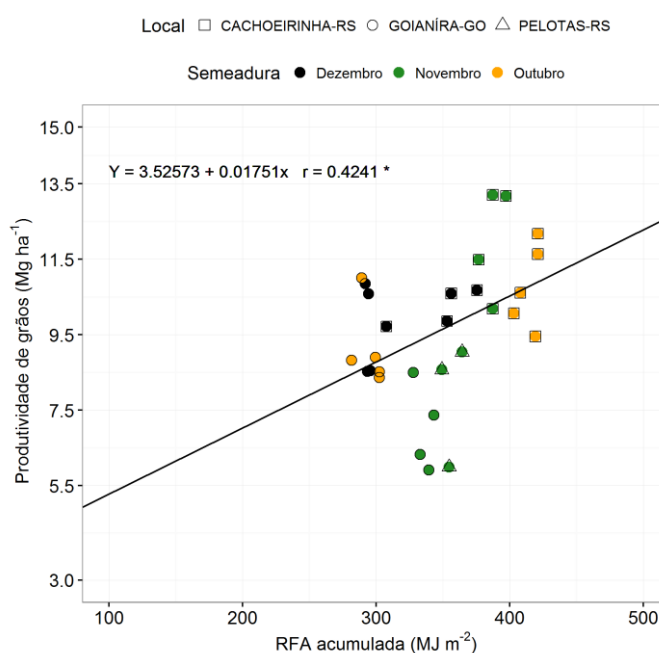


Figura 19. Produtividade de grãos em razão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acumulada de -10 a +25 dias após o florescimento.

A razão disso é que a ocorrência de sombreamento nesse período reduz drasticamente o número de espiguetas e a porcentagem de grãos granados, influenciando na produtividade. Isso indica que estratégias específicas de manejo como o uso de cultivares modernas e semeadura em períodos de menor risco de dias nublados devem ser adotadas, visando maximizar o aproveitamento da radiação solar que chega à planta de arroz, pois, essa varia amplamente em cada ambiente de produção no Brasil (Heinemann et al., 2015).

5. CONCLUSÕES

- i) O atraso da semeadura reduz a necessidade de graus-dia acumulados para o florescimento, independentemente do ambiente de cultivo. A semeadura em dezembro promove maiores acúmulos de biomassa e de eficiência do uso da radiação em Goianira-GO, enquanto que, para Cachoeirinha-RS, a janela de semeadura pode ser estendida (outubro-dezembro).
- ii) Maior potencial de produtividade de grãos de arroz irrigado pode ser esperado para o cultivo no ambiente subtropical do Brasil.
- iii) A partição de assimilados não difere entre frações de biomassa da matéria seca para as cultivares neste estudo.
- iv) Menores acúmulos de temperaturas mínimas na fase reprodutiva impactam negativamente a produtividade de grãos.
- v) Maiores acúmulos de graus-dia e de radiação solar na fase reprodutiva e de enchimento de grãos contribuem para o alcance de altas produtividades nos ambientes de produção de arroz no Brasil. Assim, o zoneamento agroclimático deve buscar indicar períodos de semeadura que propiciem maiores acúmulos de graus-dia e radiação nessas fases.

6. REFERÊNCIAS

- ACRECHE, M. M.; BRICEÑO-FÉLIX, G.; MARTÍN SÁNCHEZ, J. A.; SLAFER, G. A. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 110, n. 2, p. 91–97, 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; RODRIGUES, J. D.; HABERMANN, G.; PAIVA NETO, V. B. Trinexapac - ethyl affects growth and gas exchange of upland. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 320–326, 2016.
- BISHWAJIT, G.; SARKER, S.; KPOGHOMOU, M. A.; GAO, H.; JUN, L.; YIN, D.; GHOSH, S. Self-sufficiency in rice and food security: a South Asian perspective. **Agriculture & Food Security**, London, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2013.
- BOSCHETTI, M.; BOCCHI, S.; STROPPIANA, D.; BRIVIO, P. A. Estimation of parameters describing morpho - physiological features of mediterranean rice varieties for modelling purposes. **Italian Journal of Agrometeorology**, Granarolo dell'Emilia, v. 49, n. 3, p. 40–49, 2006.
- BOUMAN, B. A. M. et al. **ORYZA 2000**: modelling lowland rice. Manila: IRRI, 2001. 235p.
- CHANG, T.; BARDENAS, E. A. **The morphology and varietal characteristics of the rice plant**. Los Baños: IRRI, 1965.
- CHEN, S.; ZENG, F.; PAO, Z.; ZHANG, G. Characterization of high-yield performance as affected by genotype and environment in rice. **Journal of Zhejiang University. Science. B**, Hangzhou, v. 9, n. 5, p. 363–70, 2008.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2015/16. Décimo segundo levantamento, Brasília, v. 3, p. 1-184, set. 2016.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. A cultura do Arroz. Org: Aroldo Antônio de Oliveira-Neto. Brasília, v. 1, p. 1-182, set. 2015c.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTOS. Arroz – Brasil. Série histórica de produção. Safras 1976/77 a 2014/15. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2015b. Disponível em: Acesso em 03 set. 2016.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para a agropecuária - Safra 2015/16. Brasília, v. 3, p. 1-130, set. 2015a.

CONFALONIERI, R.; BECHINI, L. A preliminary evaluation of the simulation model CropSyst for alfalfa. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 223–237, 2004.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objectives, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436–443, 2000.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. de P. E; COLETTI, A. J.; CAIONE, G.; SILVA, A. F. da; ANDREOTTI, M. Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1629–1642, 2012.

DENG, N. et al. Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 37–46, 2015.

DINGKUHN, M. et al. Improving yield potential of tropical rice: Achieved levels and perspectives through improved ideotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 182, n. 1, p. 43–59, 2015.

DINGKUHN, M.; PENNING DE VRIES, F. W.; DE DATTA, S. K.; VAN LAAR, H. H. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In: IRRI. **Direct seeded flooded rice in the tropics**. Los Baños, 1991. p. 17-38.

EVANS, L. T.; VISPERAS, R. M.; VERGARA, B. S. Morphological and physiological changes among rice varieties used in the Philippines over the last seventy years. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 105–124, 1984.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 341 p.

FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de.; OLIVEIRA, A. C. De.; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 563–571, 2009.

FAN, H & LIU, X. Comparison and optimization of various non-dimensionalized methods based on comprehensive evaluation method –a case study of land development in Yongdeng county of Lanzhou city. **Hunan Agricultural Sciences**, Changsha, v. 17, n. 1, p. 163–166, 2010.

FREITAS, T. F. S. de; SILVA, P. R. F. da; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. da. Validação de escala de desenvolvimento para cultivares brasileiras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 404–410, 2006.

FUKAI, S. Phenology in rainfed lowland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 51–60, 1999.

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2^a. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53–96.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; NEVES, P. D. C. F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica Production efficiency of rice cultivars with phenotypic diversity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 465–470, 2008.

GUNAWARDENA, T. A.; FUKAI, S.; BLAMEY, F. P. C. Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilisation and sensitive reproductive period. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 54, n. 10, p. 937–946, 2003.

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**, Oxford, v. 66, n. 12, p. 3625–3638, 2015.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; CASTRO, L. M. de. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 2, p. 113–122, 2009.

HÖRTENSTEINER, S. Stay-green regulates chlorophyll and chlorophyll-binding protein degradation during senescence. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 14, n. 3, p. 155–162, 2009.

HUANG, M.; JIANG, L.; ZOU, Y.; ZHANG, W. On-farm assessment of effect of low temperature at seedling stage on early-season rice quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 141, p. 63–68, 2013.

KHAN, D. R.; MACKILL, D. J.; VERGARA, B. S. Selection for Tolerance to low temperature-induced spikelet sterility at anthesis in rice. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 2, p. 694–698, 1986.

KRISHNAN, P.; SWAIN, D. K.; CHANDRA BHASKAR, B.; NAYAK, S. K.; DASH, R. N. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 2, p. 233–242, 2007.

LESTARI, P.; UTAMI, D. W.; ROSDIANTI, I.; SABRAN, M. Morphological variability of Indonesian rice germplasm and the associated SNP markers. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, United Arab Emirates, v. 28, n. 9, p. 660–670, 2016.

LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P. Participação do colmo principal e

dos filhos na produtividade do arroz irrigado, em função da densidade de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 387–393, 2010.

LIU, Q. H.; WU, X.; LI, T.; MA, J. Q.; ZHOU, And X. B. Effects of elevated air temperature on physiological characteristics of flag leaves and grain yield in rice. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 73, n. 2, p. 85–90, 2013.

LORENÇONI, R.; DOURADO NETO, D.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 605–613, 2010.

MARTINS, A. F. et al. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio nos períodos vegetativo e reprodutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 227–233, 2007.

PERATA, P.; ALPI, A. Plant responses to anaerobiosis. **Plant Science**, Irlanda, v. 93, n. 1-2, p. 1–17, 1993.

PETRIS, G. An R Package for Dynamic Linear Models. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 36, n. 12, p. 1–16, 2010.

PINHEIRO, B. S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2^a ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 209–256.

PINZÓN-TORRES, J. A.; SCHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 395–404, 2008.

R Core Team (2016). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 25 out. 2016.

RANGEL, P. H. N.; GUIMARÃES, E. P.; RABELO, R. R. Melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. 1. ed. Petrolina-PE/Brasília-DF: Embrapa Semi-Árido/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. p. 1–14.

SAKAMOTO, T. et al. Erect leaves caused by brassinosteroid deficiency increase biomass production and grain yield in rice. **Nature Biotechnology**, New York, v. 24, n. 1, p. 105–109, 2006.

SANTOS, A. B.; RABELO, R. R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Documentos: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136p

SHI, W.; MUTHURAJAN, R.; RAHMAN, H.; SELVAM, J.; PENG, S.; ZOU, Y.; JAGADISH, K. S. V. Source-sink dynamics and proteomic reprogramming under elevated night temperature and their impact on rice yield and grain quality. **New Phytologist**,

London, v. 197, n. 3, p. 825–837, 2013.

SHIMONO, H.; FUJIMURA, S.; NISHIMURA, T.; HASEGAWA, T. Nitrogen Uptake by Rice (*Oryza sativa* L.) Exposed to Low Water Temperatures at Different Growth Stages. **Journal of Agronomy and Crop Science**, New York, v. 198, n. 2, p. 145–151, 2012.

SILVA, O. F. **Árvore do conhecimento arroz**: estatísticas da produção. Agência Embrapa de informação tecnológica. 2014. Disponível em: <
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xezy8czjj.html>>. Acesso: 22 nov. 2015.

SINGH, A. K.; TRIPATHY, R.; CHOPRA, U. K. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 7, p. 776–786, 2008.

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ. **ARROZ IRRIGADO**: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS. - Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188p.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C.; SANTANA, N. M. P. Clima. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2^a. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 117–160.

SUTARIO, B. Performance of Agro-Morphology and Genetic Parameter of 12 Rice Genotypes at Lowland Rice Irrigation. **Ilmu Pertanian**, Barhasa, v. 17, n. 1, p. 13–24, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 954 p.

TANG, L.; ZHU, Y.; HANNAWAY, D.; MENG, Y.; LIU, L.; CHEN, L.; CAO, W. RiceGrow: A rice growth and productivity model. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 83–92, 2009.

TAO, F. et al. Single rice growth period was prolonged by cultivars shifts, but yield was damaged by climate change during 1981-2009 in China, and late rice was just opposite. **Global Change Biology**, Oxford, v. 19, n. 10, p. 3200–3209, 2013.

TEIXEIRA, G. C. da S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 9–17, 2015.

VAN OORT, P. A. J.; ZHANG, T.; DE VRIES, M. E.; HEINEMANN, A. B.; MEINKE, H. Correlation between temperature and phenology prediction error in rice (*Oryza sativa* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 12, p. 1545–1555, 2011.

VERGARA, B. S. Plant growth and development. In: UNIVERSITY OF THE PHILIPPINES: Rice production manual. Laguna, 1970. p. 17-37.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.; KRÜGER, C. A. M. B. Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz Climate change and its effects on rice. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2411–2418, 2010.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

YOSHIDA, S.; AHN, S. B. The accumulation process of carbohydrate in rice varieties in relation to their response to nitrogen in the tropics. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 14, n. 4, p. 153–161, 1968.