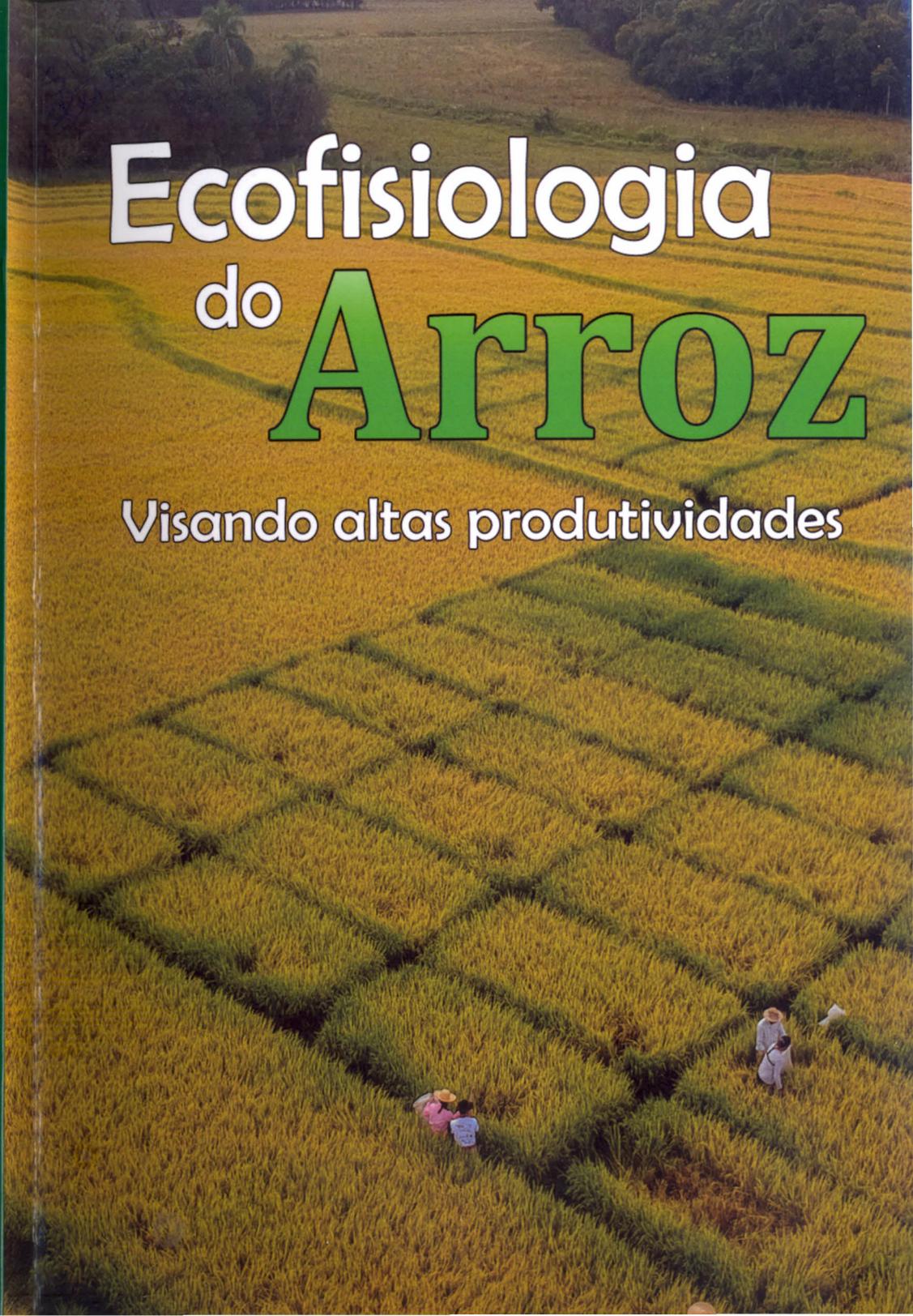


Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades

Ecofisiologia do **Arroz**

Visando altas produtividades



Lorenzo Dalcin Meus - Michel Rocha da Silva - Giovana
Ghisleni Ribas - Alencar Junior Zanon - Ioran Guedes Rossato
Vladison Fogliato Pereira - Isabela Bulegon Pilecco
Bruna San Martin Rolim Ribeiro - Pablo Mazzuco de Souza
Moises de Freitas do Nascimento - Anderson Haas Poersch
Ary José Duarte Junior - César Eugenio Quintero
Gonzalo Carracelas Garrido - Luciano de Campos Carmona
Nereu Augusto Streck

Ecofisiologia do Arroz

Visando Altas Produtividades

Santa Maria

2020

1ª edição

Diagramação: Grégory de Moraes Rossato - Editora GR

Arte Final Capa: Danclar Rossato

Revisão - Autor

Imagens - Tabelas - Gráficos: Autor

Impressão: Pallotti - SM

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

E19

Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades /
Lorenzo Dalcin Meus... [et al.]. – Santa Maria: [s.n.],
2020.

312 p. : il. color.

ISBN: 978-65-992356-0-3

1. Arroz 2. Cultura 3. Alimento I. Título

CDU 633.18

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Trilce Morales – CRB 10/2209

10. Ecofisiologia digital

Silvio Steinmetz¹; Cristóvão Basílio Pereira¹; Emerson Langie dos Santos¹; Santiago Vianna Cuadra²; Ivan Rodrigues de Almeida²; Nereu Augusto Streck³; Rômulo Pulcinelli Benedetti³; Ary José Duarte Júnior³; Alencar Júnior Zanon³; Giovana Ghisleni Ribas³; Michel Rocha da Silva³; Ricardo Machado Kroeff⁴; Solismar Damé Prestes⁵; Lorenzo Dalcin Meus³; Ioran Guedes Rossato³; Isabela Bulegon Pilecco³; Vladison Fogliato Pereira³; Anderson Haas Poersch³; Pablo Mazzuco de Souza³; César Eugenio Quintero⁶.

Na Era Digital, a agricultura vive uma grande revolução tecnológica, a chamada Agricultura 4.0. Nesta “nova” agricultura, o uso das ferramentas digitais vem deixando de ser exclusivo da pesquisa científica e vem conquistando cada vez mais espaço como ferramenta de gestão e planejamento na agricultura, pois são ferramentas de baixo custo operacional, que auxiliam na tomada de decisão e manejo de ecossistemas. A seguir serão apresentadas duas ferramentas que se destacam dentro desse contexto: o modelo SimulArroz e o programa GD Arroz.

10.1. Modelo SimulArroz

A modelagem agrícola é uma importante ferramenta que agiliza e propicia redução nos custos de pesquisa (grande aliada da agricultura 4.0) e também pode ser utilizada para determinação do potencial produtivo de culturas agrícolas e predição de estágios de desenvolvimento, auxiliando o produtor em práticas de manejos.

¹ Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, São Paulo, Brasil.

³ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴ Instituto Rio Grandense do Arroz, Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁵ Instituto Nacional de Meteorologia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁶ Faculdade de Ciências Agropecuárias (FCA). Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). Entre Ríos, Argentina.

O SimulArroz é um modelo ecofisiológico dinâmico baseado em processos (*process-based model*), desenvolvido pela Equipe FieldCrops da Universidade Federal de Santa Maria, para simular a produtividade de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O SimulArroz é resultado de dois modelos anteriores de arroz, o ORYZA2000 (Bouman et al., 2001), que é o modelo de simulação da cultura do arroz do Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz (IRRI - *The International Rice Research Institute*), nas Filipinas, e o InfoCrop (Aggarwal et al., 2006), ambos modelos de arroz desenvolvidos e testados em ecossistemas de arroz na Ásia. O que diferencia o SimulArroz destes dois modelos é conter um sub modelo de aparecimento de folhas, e de número final de folhas no colmo principal e conter níveis tecnológicos da lavoura de arroz.

Parte do código fonte do ORYZA2000 e do InfoCrop foi utilizado no *software* SimulArroz, e o restante do código fonte foi desenvolvido para adaptar o modelo às cultivares de arroz do Rio Grande do Sul (Walter et al., 2012; Rosa et al., 2015), diferenciando o SimulArroz dos outros modelos. É, portanto, um produto para atender as demandas de simulação numérica para os ecossistemas de arroz irrigado.

Uma aplicação do modelo SimulArroz que merece destaque é a sua utilização no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul (Steinmetz et al., 2018). Através do modelo foram definidos os períodos de semeadura levando em consideração os níveis de produtividade e o risco climático. Progressos dessa natureza são possíveis devido a confiabilidade de um modelo que vem sendo testado quanto ao desempenho em capturar os impactos do ambiente sobre a cultura do arroz, como por exemplo os efeitos das mudanças climáticas (Walter et al., 2014).

No decorrer deste livro exploramos outras aplicações desta ferramenta. No Capítulo 5 é abordado o uso do modelo SimulArroz em estudos sobre o potencial de produtividade de arroz irrigado para ambiente subtropical; No Capítulo 2, temos a quantificação

do impacto do Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e das mudanças climáticas na produtividade da cultura, respectivamente. Através disso é possível termos uma noção da robustez e confiabilidade de uma ferramenta da Agricultura Digital 4.0 aplicada no contexto da ecofisiologia do arroz abordada no presente livro.

O SimulArroz calcula os principais processos ecofisiológicos de um ecossistema de arroz, como a acumulação de biomassa de raízes, folhas, caule e panículas, o desenvolvimento da cultura (fenologia pela escala de Counce et al., 2000) e a emissão de folhas (escala de Haun, 1973) no passo de tempo de um dia. Na versão 1.1, o SimulArroz simula a produtividade potencial da cultura, e a produtividade em três níveis tecnológicos da lavoura (alto, médio e baixo).

O *software* SimulArroz v.1.1 é dividido em duas partes: (a) o código em Fortran do modelo matemático que contém as equações e subrotinas que descrevem os processos de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz e (b) a interface gráfica em Java que permite ao usuário rodar o modelo de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz a partir de uma tela de fácil entendimento e interatividade.

Os detalhes de como baixar o *software* para uso em *desktops* e *laptops* em sistema operacional *Windows* e *IOS*, bem como as instruções e o manual de uso do *software* estão disponíveis no *site* www.ufsm.br/simularroz. No *site* também está disponível a versão 1.1 do modelo SimulArroz para *download* gratuito.

A parte inédita do modelo SimulArroz em relação aos modelos ORYZA, InfoCrop e outros modelos de simulação da cultura do arroz a nível mundial é o submodelo que calcula a emissão de folhas e o número final de folhas no colmo principal. Estas duas variáveis do desenvolvimento foliar são importantes do ponto de vista prático da lavoura de arroz pois práticas de manejo como a entrada de água e a primeira adubação nitrogenada em cobertura no sistema de arroz irrigado por inundação devem ser realizadas quando as plantas têm de 2 a 3 folhas e a segunda

adubação nitrogenada em cobertura em R0 ou R1, quando ainda restam 2 a 3 folhas até o aparecimento da folha bandeira. Em função deste submodelo ser um diferencial no SimulArroz, a seguir é descrito como o submodelo de emissão de folhas funciona no modelo SimulArroz e também é apresentado resultados de teste do modelo SimulArroz na predição da fenologia e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul com base em dados de lavoura.

10.1.1. Emissão de folhas no modelo SimulArroz

A emissão de folhas no colmo principal do arroz é calculada por:

$$TAF = TAF_{m\acute{a}x_{1,2}} \cdot f(T) \cdot f(C)$$

em que TAF é a taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{máx_{1,2}} é a taxa diária máxima de aparecimento da primeira e segunda folhas (folhas dia⁻¹), f(T) é a função de resposta da TAF à temperatura do ar e f(C) é a função de cronologia. A f(T) é calculada pela equação:

$$f(T) = [2(T - T_b)^a (T_{ot} - T_b)^a - (T - T_b)^{2a}] (T_{ot} - T_b)^{2a}$$

em que $T_b \leq T \leq T_{m\acute{a}x}$ $f(T) = 0$ para $T < T_b$ ou $T > T_{m\acute{a}x}$ $a = \ln 2 \ln[(T_{m\acute{a}x} - T_b) (T_{ot} - T_b)]$, em que T_b , T_{ot} , e $T_{m\acute{a}x}$ são as temperaturas cardinais (base, ótima e máxima, respectivamente) para TAF, e T é a temperatura média diária do ar (°C). Já a f(C) é a função de cronologia que faz decrescer a TAF a partir da terceira folha, pois as reservas da semente só contribuem para a emissão da primeira e da segunda folhas e a medida que novas folhas aparecem no cartucho a distância que cada nova folha precisa superar para aparecer no cartucho aumenta até a folha bandeira. Assim, após V2, há uma redução da TAF de acordo com as seguintes equações:

$$f(T) = 1 \text{ se } HS < 2$$

$$f(C) = HS / 2^b \text{ se } HS \geq 2$$

em que b é o coeficiente de sensibilidade com valor de -0,3 (Streck et al., 2003) e HS é o número de folhas acumuladas no colmo principal e representado pelo Estágio de Haun (Haun, 1973) e calculado por:

$$HS = \sum TAF$$

As temperaturas cardinais de emissão de folhas usadas no cálculo da f(T) são 11 °C (Ellis et al., 1993; Infeld et al., 1998), 26 °C (Ellis et al., 1993) e 40 °C (Gao et al., 1992), respectivamente. A f(T) é igual a zero quando a temperatura do ar está abaixo da temperatura mínima ou acima da temperatura máxima de emissão de folhas e quando a temperatura do ar é ótima para a emissão de folhas, a f(T) é igual a um e a emissão de folhas ocorre na taxa máxima.

O número final de folhas no colmo principal (NFF), ou seja, o HS da folha bandeira, é calculado de forma dinâmica no modelo SimulArroz da seguinte forma: no dia em que o modelo calcula a diferenciação da panícula (R1), são somadas três folhas ao HS e este valor é o número da folha bandeira (Streck et al., 2009). Desta maneira, o NFF é resolvido de forma implícita no modelo, variando em função do ciclo da cultivar ou grupo de maturação e da época de semeadura.

10.1.2. Validação do modelo SimulArroz

A Equipe FieldCrops conduziu durante cinco anos experimentos em lavouras (On Farm) em todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul e Argentina para validação do modelo SimulArroz. O desempenho do modelo em simular a produtividade de arroz em experimentos conduzidos em diferentes regiões

orizícolas do Rio Grande do Sul está na Figura 96. O modelo apresentou bom desempenho em simular a produtividade média para cada região orizícola, além de capturar os diferentes potenciais produtivos de cada uma das seis regiões orizícolas, tendo a Fronteira Oeste o maior potencial produtivo. Na Argentina, com base em experimentos conduzidos em três anos agrícolas, o modelo teve desempenho satisfatório simulando a produtividade de grãos nas duas principais províncias produtoras de arroz do país (Figura 97).

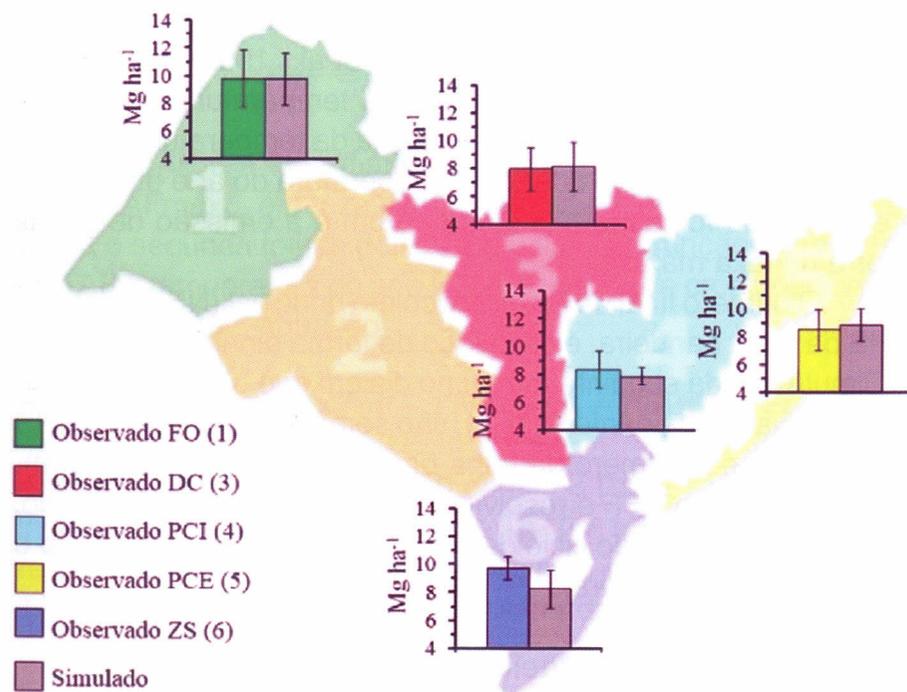


Figura 96. Produtividade de grãos (Mg ha⁻¹) da cultura de arroz observada e simulada pelo modelo SimulArroz v.1.1 nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul durante vários anos agrícolas (anos agrícolas de 1984/85 a 2009/10). Fonte: Adaptado de Rosa et al., 2015 - Equipe FieldCrops.

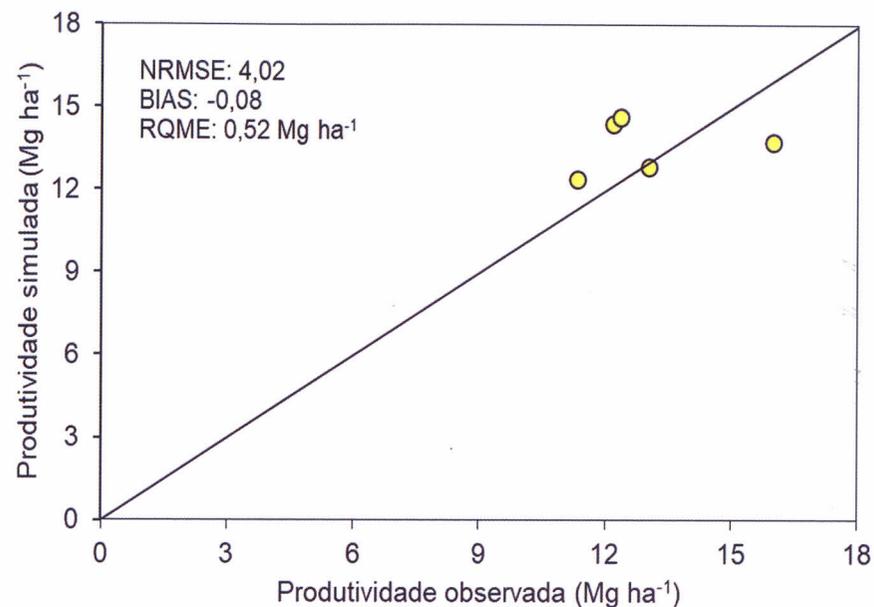


Figura 97. Desempenho do modelo SimulArroz em estimar a produtividade potencial de grãos de arroz da cultivar IRGA 424 RI nas províncias de Corrientes e Entre Ríos, Argentina nos anos agrícolas 2016/17, 2018/19 e 2019/20. Fonte: Equipe FieldCrops, INTA e UNER-FCA.

O desempenho do modelo SimulArroz na simulação da emissão de folhas em três cultivares de arroz (IRGA 424 RI, GURI INTA CL e PUITÁ INTA CL) é apresentado na (Figura 98A). O erro do modelo foi de 1 a 2 folhas e as outras estatísticas indicam um bom desempenho do modelo para esta variável. Para a fenologia, o erro na estimativa dos estágios R1, R4 e R9 foi de 3 a 8 dias (Figura 98B).

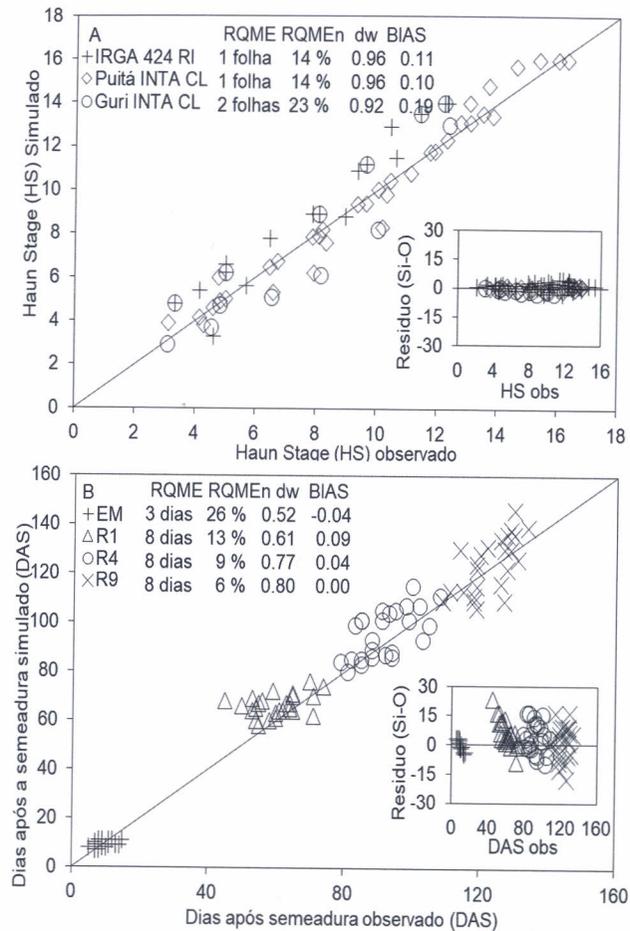


Figura 98. Avaliação do modelo SimulArroz na simulação de Haun Stage (HS) (A) e Dias após a semeadura (B): fase de semeadura-emergência (EM), diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9). O modelo foi executado no modo de nível potencial, para três cultivares de arroz irrigado e dois anos agrícolas no Rio Grande do Sul. n é o número de observações, RQME (folhas; dias - unidades), RQMEn (%), BIAS, dw. Fonte: Ribas et al., 2020 - Equipe FieldCrops.

Quanto às simulações de produtividade, o modelo apresenta erro de 0,8 a 1,3 Mg ha⁻¹ (Figura 99). A faixa de produtividades observadas considerando o conjunto das cultivares e locais é de 4 a 14 Mg ha⁻¹ e o modelo capturou eficazmente esta variação.

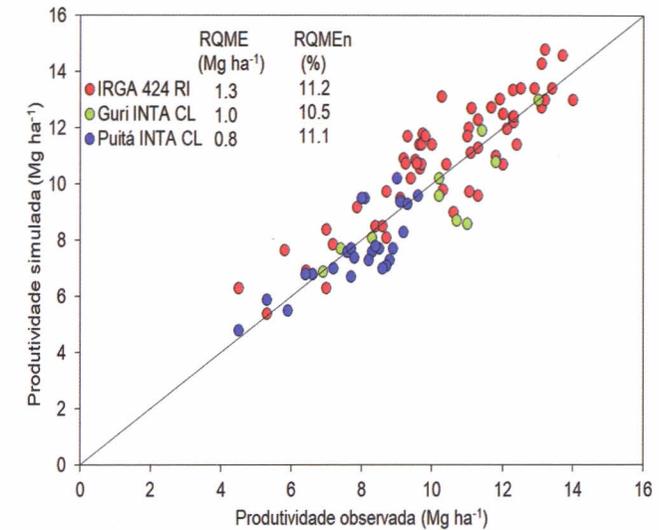


Figura 99. Avaliação do modelo SimulArroz para a produtividade observada a 13% de umidade nos experimentos com diferentes épocas de semeadura. O modelo foi executado no modo de alto nível para três cultivares, em cinco regiões orizícolas do Rio Grande do Sul nos anos agrícolas 2013/14, 2014/15, 2016/17 e 2017/18. Fonte: Ribas et al. (2020) - Equipe FieldCrops.

O modelo SimulArroz também foi calibrado e avaliado para três híbridos de arroz (QM 1010 CL, INOV CL e PRIME CL). O erro na simulação do número de folhas variou de 0,6 a 1,4 folhas (Figura 100a) e o erro na simulação dos estágios R1, R4 e R9 variou de 4,1 a 5,7 dias (Figura 100b). Já a produtividade foi simulada com erro que variou de 2,0 a 2,6 Mg ha⁻¹ (Figura 101). Na calibração destes três híbridos de arroz a partição da matéria seca entre os compartimentos da parte aérea (folhas, colmo e panículas) foi diferente em relação às cultivares convencionais de arroz, com os híbridos alocando mais matéria seca para colmos de modo a sustentar maiores panículas (Item 1.4).

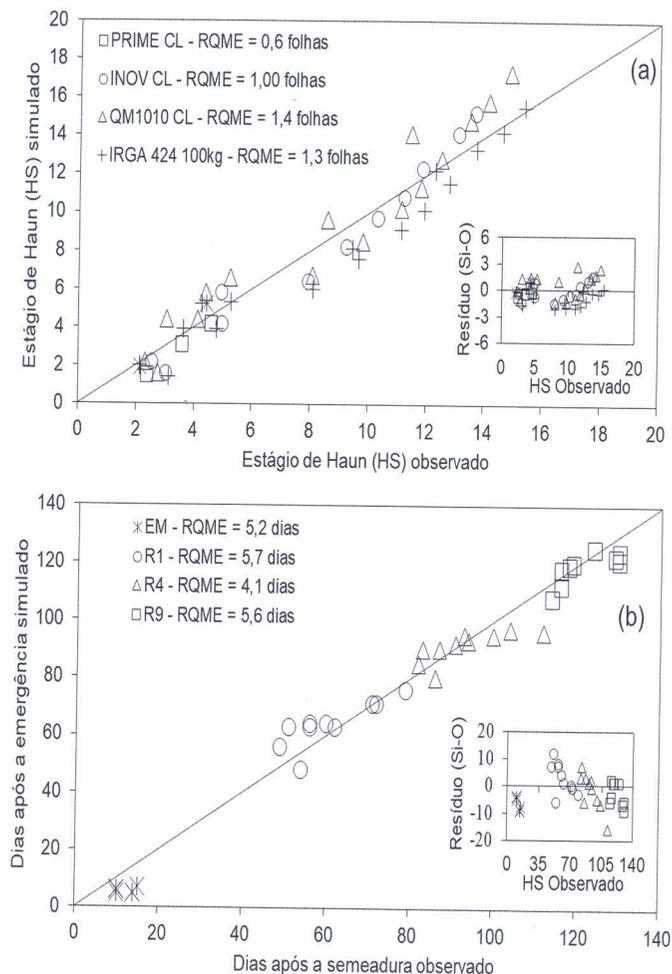


Figura 100. (a) Número de folhas no colmo principal (HS) e (b) dias após a sementeira dos estágios emergência (EM), diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) observado e simulado com o modelo SimulArroz para três híbridos de arroz (PRIME CL, INOV CL e QM 1010 CL) e uma cultivar convencional de arroz (IRGA 424) no ano agrícola 2014/2015 em quatro regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, Brasil. Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados. Fonte: Ribas et al. (2017) - Equipe FieldCrops.

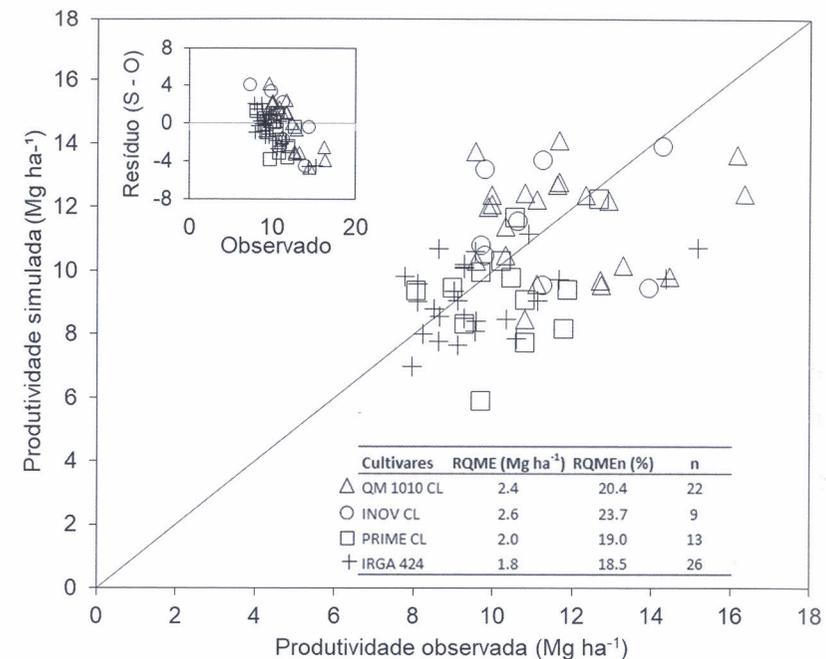


Figura 101. Produtividade simulada de três híbridos de arroz (QM 1010 CL, INOV CL e PRIME CL) e uma cultivar convencional (IRGA 424), observado e simulado pelo modelo SimulArroz em Santa Vitória do Palmar, Uruguaiana, Cachoeirinha, Cachoeira do Sul, Camaquã, Bagé e Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. Os dados simulados são no nível tecnológico alto do SimulArroz. Fonte: Ribas et al. (2016) - Equipe FieldCrops.

10.2. Programa GD Arroz

O programa GD Arroz também pode ser considerado como uma ferramenta digital da chamada agricultura 4.0. A sua finalidade é auxiliar os produtores a realizar as práticas de manejo da lavoura de arroz irrigado de acordo com os estágios de desenvolvimento da planta (EDP), como recomendado pela Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado (Sosbai, 2007, 2014). O problema é que os EDP e, especialmente o de diferenciação da panícula (DP ou R1), é muito variável por ser dependente da temperatura. Por isso, é preferível expressar-se o estágio R1 e os demais EDP

em dias, porém estimados por meio de graus-dia (GD), ou soma térmica, ao invés do número de dias do calendário (Streck et al., 2006b; Steinmetz et al., 2010).

Baseando-se nesse princípio foi desenvolvido o programa GD Arroz, que é fruto da parceria entre a Embrapa Clima Temperado (CPACT), Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e a hoje extinta Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). A versão *Web* foi lançada em agosto de 2015 e o aplicativo, para a plataforma *Android*, em agosto de 2016. Nesse período, a versão *Web* teve o número médio anual em torno de 8.500 visitas, considerando o período de setembro de um ano até agosto do ano seguinte.

A média de visitas nos meses de novembro a janeiro foi 196% maior do que no restante do período. Isso indica que o programa está sendo mais usado para a aplicação da uréia em cobertura, que normalmente é realizada nessa época e que nas grandes lavouras é aplicada por avião. A análise desses acessos sugere que o programa poderia ser melhor utilizado como ferramenta para programar as práticas de manejo associadas aos outros estágios de desenvolvimento da planta, como recomendado pela Sosbai (2007, 2014).

10.2.1. Princípios básicos do programa

A equação utilizada para o cálculo de graus-dia foi:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

em que: GD (°C dia) representa o somatório da diferença entre a temperatura média diária (T_m) e a temperatura base (T_b) de 11 °C (Infeld et al., 1998), da emergência ($i=1$) a cada um dos seis estágios (n). A temperatura média diária do ar foi obtida pela média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima. Antes de calcular-se a temperatura média diária foram aplicados os li-

mites de 34 °C e de 21 °C, respectivamente, para as temperaturas máxima e mínima, ou seja, valores superiores a estes foram desconsiderados.

Essa equação é também utilizada para o cálculo de graus-dia pelo programa “DD50”, sendo considerada uma modificação do conceito original de graus-dia visando estimar o desenvolvimento da planta (GDD), pelo fato de estabelecer limites para os valores diários de T_x e T_n . Isso indica que valores superiores a esses limites não farão com que as plantas se desenvolvam mais rapidamente (Slaton et al., 1996; Wilson Jr. et al., 2015). Os valores de soma térmica necessários para atingir cada um dos seis EDP, para os sete subgrupos, são aqueles indicados em Steinmetz et al. (2015a).

O programa utiliza as mesmas séries de dados de temperatura do ar e os mesmos parâmetros, critérios e subgrupos de cultivares utilizados por Steinmetz et al. (2013), mas incorporando o subgrupo 7, envolvendo as cultivares de ciclo tardio. Entretanto, ao invés do VBA (*Visual Basic for Applications*), usado dentro da planilha *Excel*, as equações foram escritas em um programa numérico, na linguagem *Fortran*, possibilitando a computação automática do número de dias transcorridos entre a emergência e cada um dos seis estágios, assim como a provável data de ocorrência do referido estágio.

O programa considera como informações de entrada a série histórica (30 anos) das temperaturas máximas e mínimas diárias do ar, assim como as temperaturas da safra do ano corrente. Aos dados obtidos, relativos à duração das fases desde a emergência até cada um dos seis estágios, aplicaram-se equações de regressão geradas no processo de validação do método de graus-dia (Steinmetz et al., 2015b), exceto para o estágio R1, em que foram usadas as equações descritas em Steinmetz et al. (2014).

Os dados relativos ao ano da safra são calculados, para cada um dos sete subgrupos de cultivares, usando-se as exigências térmicas médias dos subgrupos indicadas em Steinmetz et

al. (2015a). Entretanto, neste caso, utilizam-se os dados diários de Tm repassados, diariamente, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os valores do número de dias da emergência até cada um dos seis estágios e a respectiva data de ocorrência desses estágios, no ano da safra, assim como do desvio (dias) entre os períodos calculados com a Tm diária do ano da safra e a Tm diária da média dos anos (30 anos), são atualizados diariamente através da computação automática pelo programa, em função dos dados recebidos do Inmet. O programa recalcula diariamente os referidos valores, em função dos dados diários recebidos que substituem os dados históricos conforme a data corrente. Finalmente, o programa atualiza automaticamente os valores armazenados no banco de dados que alimenta a página *Web*.

10.2.2. Utilização do GD Arroz

Para utilizar o programa, na versão *Web*, deve-se acessar a página do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado, no seguinte endereço: “<http://agromet.cpact.embrapa.br>” e selecionar “Graus-dia (Arroz)”. O aplicativo, para *Android*, pode ser baixado pelo “*Google Play*”.

Para obter a informação desejada, o usuário necessita fornecer algumas informações da lavoura de arroz, como descrito a seguir:

Informações de entrada no programa

Localidade

Selecione uma das seguintes 17 localidades: Alegrete; Bagé; Cachoeirinha; Capão do Leão (Pelotas); Eldorado do Sul (Guaíba); Encruzilhada do Sul; Maquiné (Osório); Quaraí; Rio Grande; Santa Maria; Santana do Livramento; Santa Vitória do Palmar; São Borja; São Gabriel; Taquari; Torres ou Uruguaiana.

Caso a localidade desejada não seja uma das 17, selecione a que for mais próxima. As 17 localidades são as que dispõem de séries longas de dados diários de temperatura média do ar (Tm) sendo que, para a maioria delas, foram usadas séries de 30 anos (1976-2005).

Subgrupo

Selecione um dos sete subgrupos de duração do ciclo biológico, no qual se enquadra a cultivar a ser utilizada. Os subgrupos e o ciclo das cultivares (da emergência à maturação) em cada subgrupo são os seguintes:

- 1 - Muito Precoce 1 (MP1) (<100 dias)
- 2 - Muito Precoce 2 (MP) (100-105 dias)
- 3 - Precoce 1 (P1) (106-110 dias)
- 4 - Precoce 2 (P2) (111-120 dias)
- 5 - Médio 1 (M1) (121-130 dias)
- 6 - Médio 2 (M2) (131-135 dias)
- 7 - Tardio (T) (136-150 dias)

Esses subgrupos foram estabelecidos à partir dos quatro grupos (muito precoce, precoce, médio e tardio) indicados pela Sosbai (2007, 2014).

Cultivar

Selecione a cultivar a ser utilizada. Deve-se ressaltar que a data de um determinado estágio, de uma cultivar qualquer, é estimada para o subgrupo a que a cultivar pertence e não para a cultivar propriamente dita. Entretanto, pelo fato de as cultivares terem sido enquadradas em sete subgrupos, a data de um estágio qualquer, de um determinado subgrupo, é muito próxima da que seria esperada para qualquer uma das cultivares pertencentes ao subgrupo, como indicam os resultados de Steinmetz et al. (2019).

Estágio

Selecione um dos seis estágios de desenvolvimento da planta, segundo a escala de Counce et al. (2000), indicados a seguir:

- V4 – Planta com 4 folhas
- R1 – Diferenciação da panícula
- R2 – Emborrachamento
- R4 – Início da floração
- R8 – Início da maturação
- R9 – Maturação completa

Data de emergência

Selecione a data da emergência, disponível para o período de 1º de setembro a 31 de dezembro. Considere a data de 50% de emergência, ou seja, quando cerca de 50% das plântulas da lavoura tenham emergido (plântulas até 2 cm de altura). O programa foi desenvolvido considerando, fundamentalmente, o sistema de semeadura em solo seco (convencional, cultivo mínimo e plantio direto).

Informações geradas pelo programa

Após o preenchimento das informações de entrada o programa oferece as opções de “Consulta por localidades” ou “Consulta por mapas”.

Para exemplificar o funcionamento do programa selecione as seguintes variáveis: Localidade: Santa Maria; Subgrupo: 6 - Médio 2 (131-135 dias); Cultivar: IRGA 424 RI; Estágio: R1 – Diferenciação da panícula; Data de emergência: 15/10. Após preencher os campos indicados, selecione “Consulta por localidades”.

Consulta por localidades

Para esse tipo de consulta o programa gera três tipos de informações, como indica a Figura 102, a saber: a) uma tabela com dados relativos à “Média (30 anos)”, à “Safrá” e ao “Desvio

da média (dias)”; b) um diagrama esquemático dos principais EDP de arroz (escala de Counce et al., 2000) ressaltando, na forma de hachurado, o estágio que está sendo consultado, que é o R1, nesse exemplo; c) logo abaixo da ilustração sobre os EDP estão indicadas as principais práticas de manejo recomendadas pela Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (Sosbai, 2007, 2014) associadas a cada um dos seis EDP (Figura 102).



Figura 102. Informações de saída do programa GD Arroz (Consulta por localidades – versão Web), envolvendo o número médio de dias da emergência até a diferenciação da panícula (E-R1), a data média de R1, na média de 30 anos e na safrá, desvio da média (dias), e diagrama esquemático dos principais estágios de desenvolvimento da planta de arroz, com destaque para o estágio de diferenciação da panícula (R1) da escala de Counce et al. (2000). Fonte: Embrapa.

Em “Média (30 anos)”, o campo “Nº dias (E-R1)” indica que essa cultivar, da mesma forma que as demais cultivares do subgrupo médio 2, na média de trinta anos de dados diários de Tm, necessitou de 64 dias após a emergência para atingir o estágio de diferenciação da panícula. O campo “Data (R1)” indica que 64 dias após a emergência (15/10) corresponde ao dia 18/12. Isso indica a data média em que o estágio R1 ocorreu nesses trinta anos.

Em “Safrá”, utilizando os dados e Tm da safrá 2019/2020, o campo “Nº dias (E-R1)” indica que essa cultivar, necessitou 62 dias após a emergência para atingir a diferenciação da panícula.

Conseqüentemente, o campo “Data (R1)” indica que 62 dias após a emergência (15/10) corresponde ao dia 16/12, mostrando, portanto, que houve uma antecipação em 2 dias da data média de 30 anos, como indicado no campo “Desvio da média (dias)” (Figura 102). Isso significa que, no período compreendido entre 15/10 (emergência) até que se atinja a soma térmica necessária para a ocorrência do estágio R1, da safra em questão, a temperatura média do ar (Tm) foi mais alta do que a Tm da média histórica (30 anos).

Ao clicar-se sobre a imagem hachurada que ilustra o estágio R1 (ou DP) tem-se um detalhamento desse estágio na planta, indicando o modo de abertura do colmo principal, a panícula no “ponto de algodão” e uma ampliação da mesma (Figura 103).

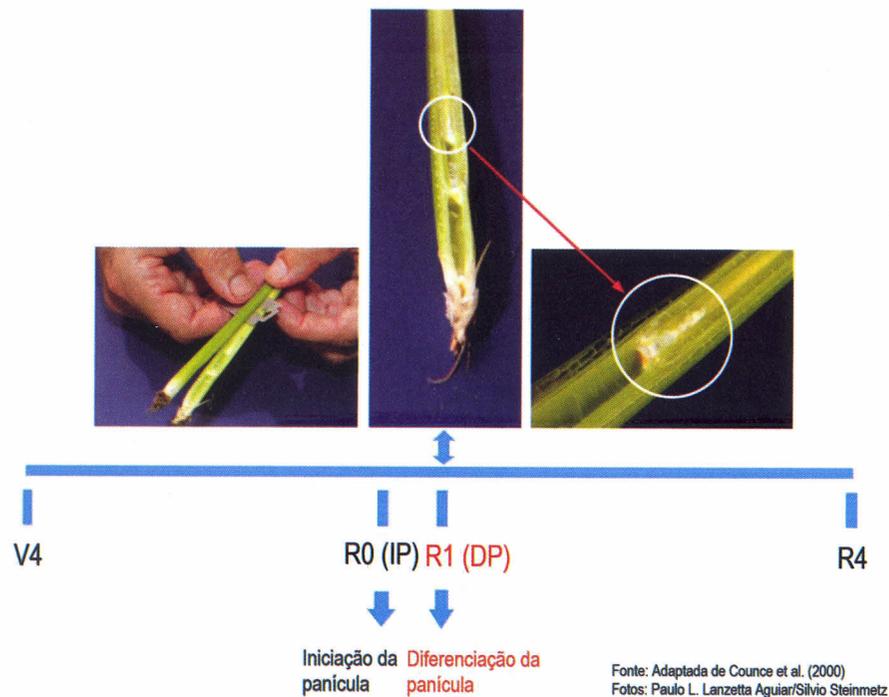


Figura 103. Detalhes do estágio de diferenciação da panícula (R1) indicando o modo de abertura do colmo principal (à esquerda), a panícula no “ponto de algodão” (no centro) e uma ampliação da mesma (à direita). Fonte: Embrapa.

Logo abaixo do diagrama esquemático com os EDP encontra-se a recomendação da Sosbai (2007, 2014) sobre a prática de manejo a utilizar nesse estágio, que é a seguinte: “A Sosbai recomenda aplicar a 2ª Adubação Nitrogenada em Cobertura (ANC) de modo que o Nitrogênio esteja disponível na Iniciação da Panícula (IP ou R0). A IP ocorre, em média, 4 dias antes da DP ou R1”. As recomendações da Sosbai (2007, 2014) também estão disponíveis para os outros cinco EDP.

Consulta por mapas

Outra possibilidade oferecida pelo programa é visualizar, na forma de mapas, a espacialização da informação gerada. Os mapas disponíveis foram derivados da interpolação de um modelo do relevo do Estado do Rio Grande do Sul e do número de dias entre a emergência e cada um dos seis estágios, nas dezessete localidades em que esses parâmetros foram estimados pelo método de graus-dia. Essa interpolação foi obtida por meio do resultado de técnicas estatísticas de regressão múltipla, que geraram equações para cada decêndio de data de emergência, desde o 1º decêndio de setembro até o 2º decêndio de dezembro, aplicadas então ao modelo espacial. Ao todo foram gerados 462 mapas representativos dos sete subgrupos de maturação, dos seis estágios e das onze datas de emergência.

A informação disponibilizada nos mapas refere-se a classes de “Nº dias (E-estágio)” para períodos de emergência de 10 dias, na média de 30 anos, considerando-se o valor intermediário do decêndio. Assim, o mapa do 1º decêndio de outubro refere-se à emergência do dia 5 de outubro, o mapa do 2º decêndio de outubro refere-se à emergência do dia 15 de outubro, e assim por diante.

Essa consulta por mapas tem a finalidade de indicar ao usuário as informações geradas pelo programa, não apenas para a localidade selecionada, mas também para as localidades/municípios no seu entorno e, principalmente, para as que não dispõem de séries de dados meteorológicos como os das 17 localidades usadas neste programa.

A Figura 104 caracteriza a espacialização de classes de “Nº dias (E-R1)” para as mesmas informações de entrada por “localidades” indicadas anteriormente, ou seja: Santa Maria, subgrupo Médio 2, cultivar IRGA 424 RI (válido também para as demais cultivares que pertencem a esse subgrupo), com data de emergência em 15 de outubro (representada pelo mapa do segundo decêndio de outubro). A Figura 104 indica que a duração da fase EM-R1 é semelhante em todo o município de Santa Maria e também nos municípios que pertencem à mesma classe (de 62 a 66 dias), representada pelo segundo tom mais escuro da cor azul. Portanto, em todos esses municípios, a aplicação de qualquer prática de manejo associada a esse estágio poderia ser em data semelhante à de Santa Maria. O princípio de funcionamento do programa é o mesmo para cada um dos outros cinco estágios de desenvolvimento da planta de arroz.

Em algumas situações, a dificuldade em definir-se a data de 50% de emergência da lavoura em função da desuniformidade de emergência das plântulas, causada pela escassez e/ou irregularidade na distribuição da chuva, pode influenciar na acurácia da data de ocorrência de cada um dos seis estágios, estimados pelo método de graus-dia. Caso ocorram duas datas diferentes de emergência, de lavouras semeadas na mesma data, recomenda-se considerar-se como se fossem duas lavouras em vez de fazer-se a média das duas datas de emergência.

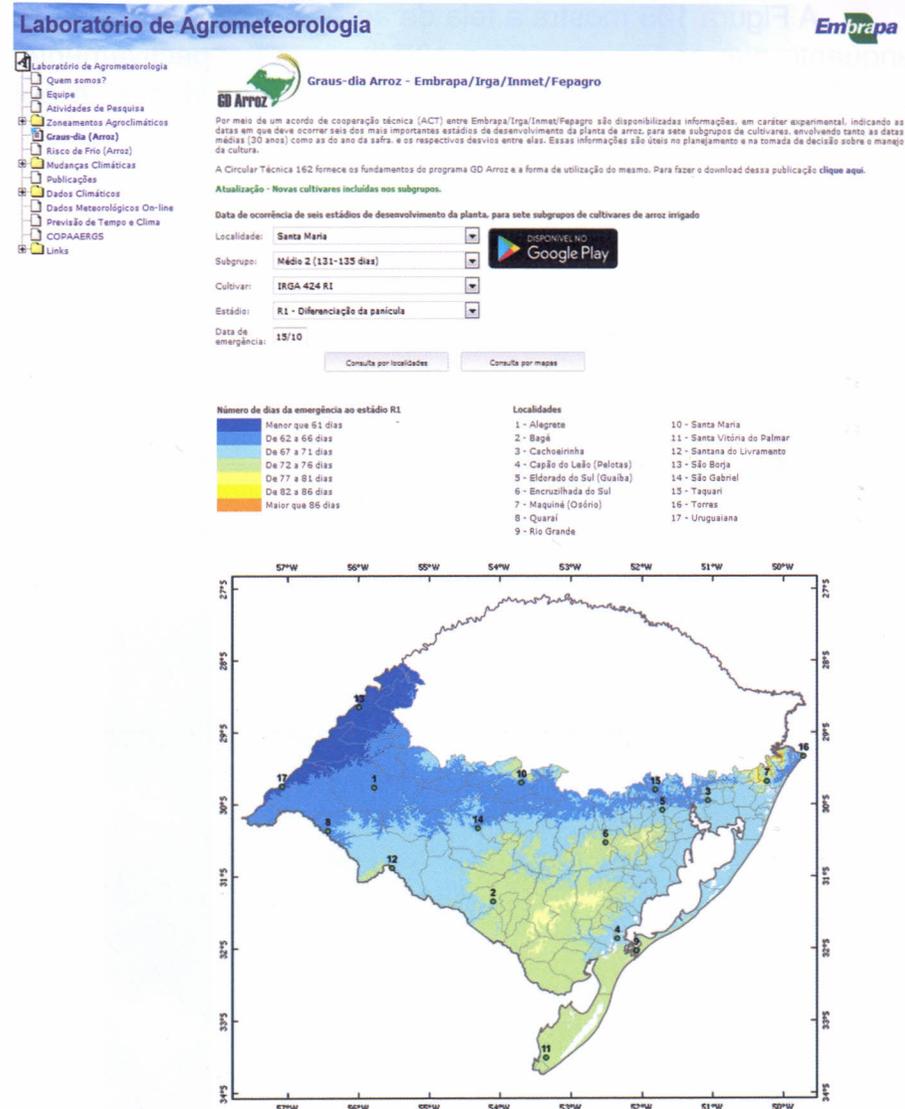


Figura 104. Informações de saída do programa GD Arroz (Consulta por mapas – versão web) indicando o mapeamento do número médio de dias da emergência até a diferenciação da panícula (E-R1), na média de 30 anos, para o decêndio da data de emergência e para a cultivar (subgrupo) escolhidos, nas principais regiões produtoras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Fonte: Embrapa.

A Figura 105 mostra a tela de apresentação do aplicativo enquanto que as Figuras 106 e 107 ilustram, respectivamente, as informações relativas às consultas por “localidades” e por “mapas”.

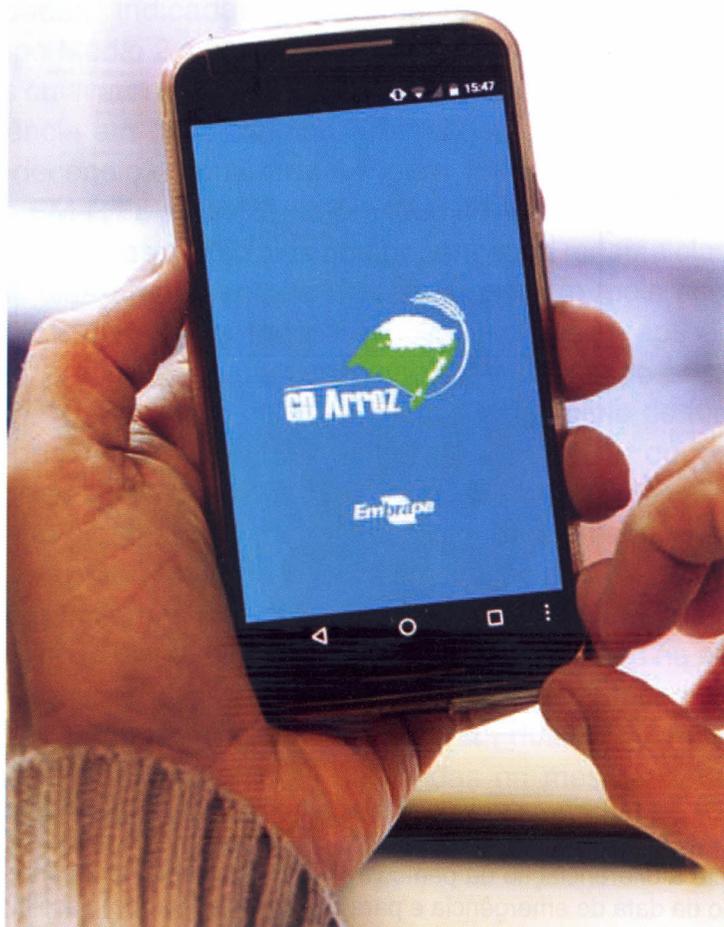


Figura 105. Tela de apresentação do Aplicativo GD Arroz. Fonte: Embrapa.

CONSULTA LOCAL CONSULTA MAPA

MÉDIA (30 ANOS)

Número de dias	64
Data	18/12

SAFRA

Número de dias	62
Data	16/12

DESVIO DA MÉDIA

Número de dias	-2
----------------	----

PRÁTICAS DE MANEJO

1) Observação: A SOSBAI recomenda aplicar a 2ª ANC de modo que o Nitrogênio esteja disponível para as plantas na Iniciação da panícula (IP ou R0). A IP ocorre, em média, 4 dias antes da DP.

Figura 106. Informações de saída (Consulta por localidades) no Aplicativo GD Arroz. Fonte: Embrapa.

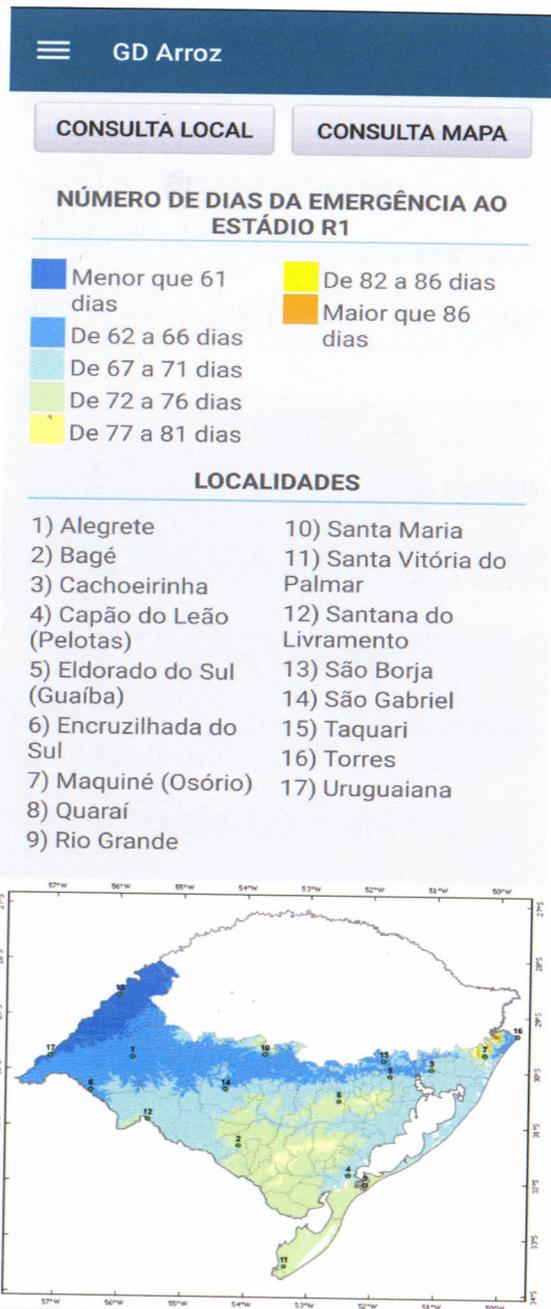


Figura 107. Informações de saída (Consulta por mapas) no Aplicativo GD Arroz. Fonte: Embrapa.

10.2.3. Práticas de manejo

Como mencionado anteriormente, logo abaixo da ilustração sobre os EDP estão indicadas as principais práticas de manejo recomendadas pela Sosbai (2007, 2014) associadas a cada um dos seis EDP. Ressalta-se que essas práticas de manejo, bem como os períodos mais indicados, são apenas sugestões da Sosbai. A decisão de utilizá-las ou não deverá ser tomada pelo produtor ou em conjunto com o agente de assistência técnica que o orienta.

10.2.4. Recomendação

Considerando-se que a data de ocorrência de cada um dos seis estágios pode ser influenciada por outros fatores (Steinmetz et al., 2013), recomenda-se que os usuários, ou os produtores propriamente ditos, utilizem as informações geradas por este programa como uma ferramenta complementar, e não única, para o planejamento e a tomada de decisão quanto ao momento de efetuar as práticas de manejo.

Agradecimentos

Como indicado em Steinmetz et al. (2015a), esse programa é fruto do esforço de um grande número de pessoas incluindo pesquisadores, extensionistas e estagiários das instituições envolvidas bem como um grande número de produtores que ajudaram no processo de validação dos resultados. Agradecimentos especiais são dirigidos ao Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI) da Embrapa Clima Temperado pelo desenvolvimento das versões *Web* e aplicativo do GD Arroz.

10.3. Aplicativo PlanejArroz

O aplicativo PlanejArroz, desenvolvido pela parceria da Embrapa Clima Temperado com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é um aplicativo para dispositivos móveis podendo ser considerado como uma ferramenta digital da chamada Agricultura 4.0, tecnologias digitais que são integradas e conectadas por meio de *softwares*. É destinado ao planejamento do manejo e a estimativa da produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, contendo dois módulos: um denominado “Manejo”, que é baseado na predição do desenvolvimento fenológico das plantas do arroz em função do acúmulo dos graus-dia ao longo do ciclo, visando o planejamento e a tomada de decisão sobre as principais práticas de manejo da cultura. Esse módulo estima as datas, considerando a média histórica do clima e os dados climáticos da safra corrente, de ocorrência de seis estágios de desenvolvimento, de 41 cultivares recomendadas para o Rio Grande do Sul. O outro módulo, denominado “Produtividade”, utiliza o modelo SimulArroz, que estima a produtividade de grãos, também na média dos anos e na safra, das cultivares IRGA 424 RI, GURI INTA CL e PUITÁ INTA CL.

A finalidade do módulo “Manejo” é auxiliar os produtores a realizar as práticas de manejo da lavoura de acordo com os estágios de desenvolvimento da planta (EDP), como recomendado pela Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado (Sosbai, 2018). O problema é que os EDP e, especialmente o de diferenciação da panícula (DP ou R1), é muito variável por ser dependente da temperatura. Por isso, é preferível expressar-se o estágio R1 e os demais EDP em dias, porém estimados por meio de graus-dia (GD), ao invés do número de dias do calendário (Streck et al., 2006b; Steinmetz et al., 2010).

Esse módulo é um aperfeiçoamento do programa GD Arroz, que foi desenvolvido em parceria entre a Embrapa Clima Temperado, o Iriga, o INMET e a hoje extinta Fundação Estadual

de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). A versão *Web* foi lançada em agosto de 2015 e o aplicativo, para a plataforma *Android*, em agosto de 2016. Informações detalhadas sobre o GD Arroz encontram-se no capítulo anterior.

Além do manejo, a época de semeadura, bem como o ciclo da cultivar, podem ter grande interferência na produtividade do arroz irrigado (Menezes et al., 2013; Steinmetz et al., 2009). Os modelos de simulação baseados em processos (do inglês *Process-based Models*), como o SimulArroz, por exemplo, são ferramentas que podem ser usadas para estimar a produtividade de grãos de arroz, em diferentes épocas e regiões produtoras (Rosa et al., 2015; Ribas et al., 2016), sendo úteis inclusive como subsídio ao estabelecimento de políticas públicas como aquelas oriundas do Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC (Steinmetz et al., 2018; 2019).

O programa PlanejArroz, disponível nos formatos aplicativo (*Google Play*) e *Web* (<http://planejarroz.cpact.embrapa.br>), é uma ferramenta útil para os produtores e demais usuários envolvidos nos distintos segmentos da cadeia produtiva do arroz no Rio Grande do Sul. Neste item, o objetivo é caracterizar o conteúdo, os princípios básicos de funcionamento e a utilização do Aplicativo PlanejArroz para fins de planejamento do manejo e estimativa de produtividade do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul.

10.3.1. Fundamentos do *software*

O aplicativo PlanejArroz tem duas funcionalidades, uma para manejo da lavoura e a outra para a estimativa da produtividade.

10.3.1.1. Manejo

Para estimar a data “média” de ocorrência de cada um dos seis EDP o programa utiliza a série histórica de 30 anos (1987-2016) (Power/NASA, 2018) das temperaturas máximas (Tx) e

mínimas (T_n) diárias do ar, enquanto que para a “safra” são utilizados os dados de T_x e T_n repassados, diariamente, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A temperatura média diária (T_m) é obtida pela média aritmética entre T_x e T_n . A equação para o cálculo de graus-dia foi a de Slaton et al. (1996), usando-se a temperatura-base de 11°C (Infeld et al., 1998). Para as três primeiras cultivares (IRGA 424 RI, GURI INTA CL e PUITÁ INTA CL), que foram as mais semeadas na safra 2018/2019, utilizaram-se os graus-dia (GD) acumulados, obtidos experimentalmente, em quatro safras agrícolas (dados obtidos pelo primeiro autor, não publicados). Para as demais cultivares utilizaram-se os GD médios dos subgrupos a que elas pertencem (Steinmetz et al., 2015a).

Aos dados obtidos, relativos à duração das fases desde a emergência até cada um dos seis estágios, aplicaram-se equações de regressão geradas no processo de validação do método de graus-dia (Steinmetz et al., 2015b), exceto para o estágio R1, em que foram usadas as equações descritas em Steinmetz et al. (2014).

Os valores do número de dias da emergência até cada um dos seis estágios e a respectiva data de ocorrência desses estágios, no ano da safra, assim como do desvio (dias) entre os períodos calculados com a T_m diária do ano da safra e a T_m diária da média dos anos (30 anos), são atualizados diariamente através da computação automática pelo *software*, em função dos dados recebidos do INMET. O *software* re-calcula diariamente os referidos valores, em função dos dados diários recebidos que substituem os dados históricos conforme a data corrente. Finalmente, o *software* atualiza automaticamente os valores armazenados no banco de dados que alimenta a página *Web* e o aplicativo.

Os mapas foram elaborados em ambiente de geoprocessamento a partir da interpolação de modelo do relevo do Estado do Rio Grande do Sul com equação obtida para cada decêndio por intermédio de regressão múltipla entre as variáveis independentes, altitude, latitude e longitude, e o ‘número de dias

após a emergência’ para cada um dos seis estágios, como variável dependente, nas vinte e duas localidades em que este parâmetro foi estimado pelo método de graus-dia. Como resultado da combinação das três cultivares mais semeadas, mais sete grupos de maturação, de onze decêndios (do primeiro de setembro ao segundo de dezembro), e das seis fases fenológicas, foram produzidos 660 mapas, que representam as classes de ‘número de dias após a emergência’ de determinado estágio, nos diferentes ambientes de produção de arroz do estado.

10.3.1.2. Produtividade

O programa utiliza as médias decendiais de produtividade de grãos desde o primeiro decêndio de setembro até o segundo decêndio de dezembro, denominando-as “Média (30 anos)”, para as três cultivares previamente citadas, calculadas pelo modelo SimulArroz utilizando o nível tecnológico “médio” (Rosa et al., 2015) durante os mesmos 30 anos da base de dados climáticos utilizada para a fenologia. O usuário consegue visualizar a produtividade da “Safra” com os dados diários recebidos do INMET e o “Desvio da média”, que representa a diferença entre os dados médios e os da safra em andamento. O usuário também consegue visualizar os mapas decendiais de produtividade média de trinta anos que foram criados em ambiente de geoprocessamento, utilizando-se o método de krigagem ordinária.

10.3.2. Utilização do PlanejArroz

A seguir serão mostrados exemplos de utilização do Aplicativo, com algumas imagens. O visual da sua tela inicial é mostrado na Figura 108.

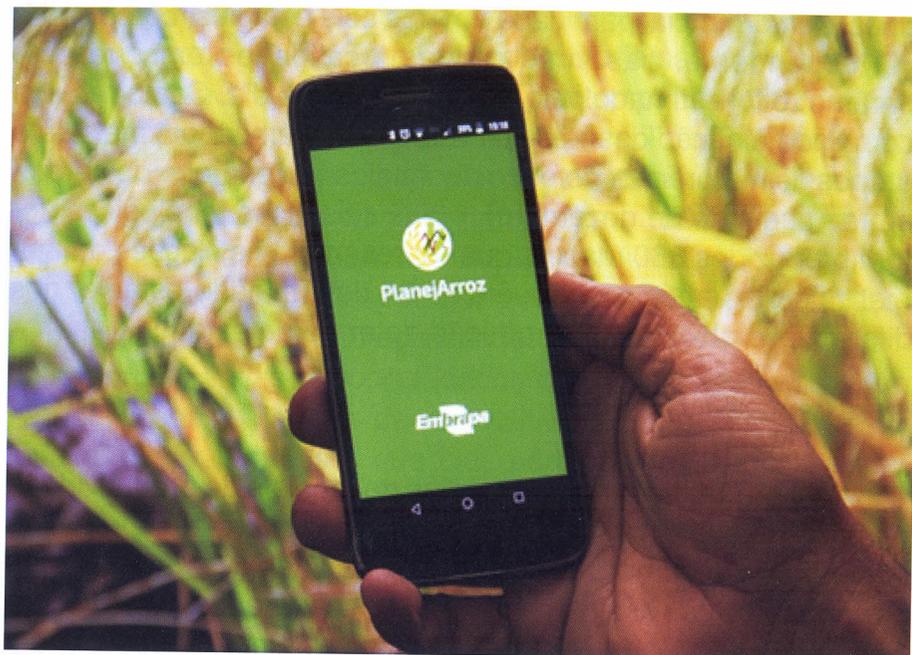


Figura 108. Tela inicial do Aplicativo PlanejArroz. Fonte: Paulo L. L. Aguiar.

Manejo

Se o “Interesse” do usuário for por “Manejo”, os passos seguintes são indicar o “Município”, a “Cultivar”, o “estágio”, a “Data de emergência” e, por último, “Consulta”.

Município

Selecione o município do Rio Grande do Sul de interesse digitando as três primeiras letras. Ao todo são 131 municípios, que fazem parte das seis regiões orizícolas utilizadas pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (Menezes et al., 2012). As informações para esses municípios foram geradas a partir de uma rede de 22 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), como indicado na Figura 109.

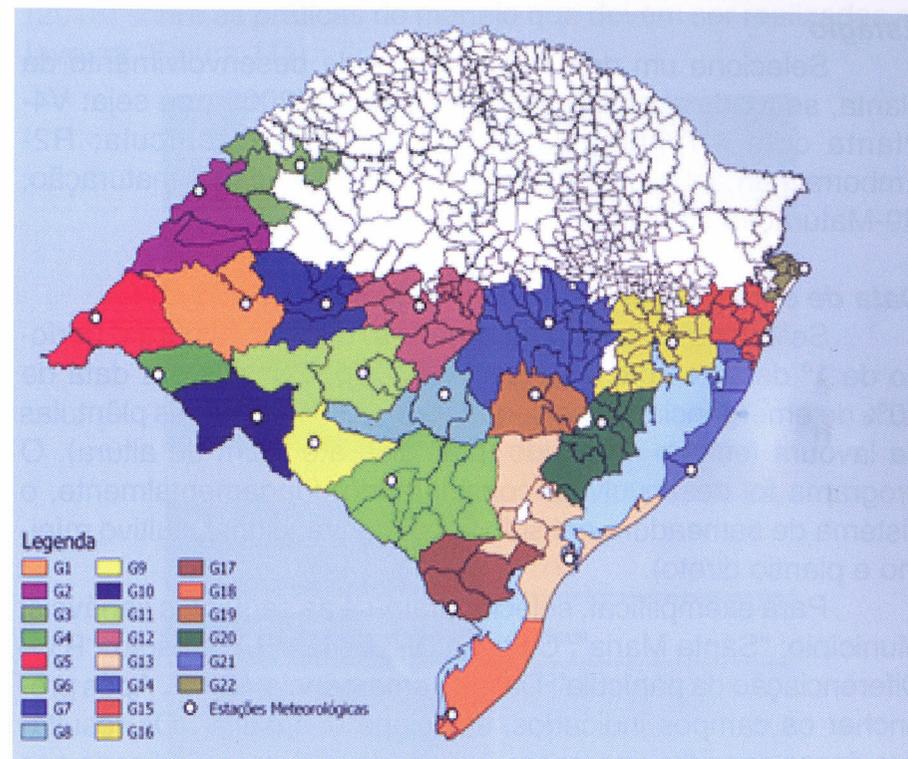


Figura 109. Agrupamentos de municípios atribuídos a cada uma das 22 estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no PlanejArroz sendo que: G1 (Alegrete), G2 (São Borja), G3 (São Luiz Gonzaga), G4 (Quaraí), G5 (Uruguaiana), G6 (Bagé), G7 (São Vicente do Sul), G8 (Caçapava do Sul), G9 (Dom Pedrito), G10 (Santana do Livramento), G11 (São Gabriel), G12 (Santa Maria), G13 (Rio Grande), G14 (Rio Pardo), G15 (Tramandaí), G16 (Porto Alegre), G17 (Jaguarão), G18 (Santa Vitória do Palmar), G19 (Encruzilhada do Sul), G20 (Camaquã), G21 (Mostardas), G22 (Torres). Mapa elaborado por Ary J. Duarte Júnior - Equipe FieldCrops e UFSM.

Cultivar

Selecione a cultivar dentre as 41 listadas, que são recomendadas para cultivo no Rio Grande do Sul pela Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado (Sosbai, 2018).

Estágio

Selecione um dos seis estágios de desenvolvimento da planta, segundo a escala de Counce et al. (2000), ou seja: V4-Planta com 4 folhas; R1-Diferenciação da panícula; R2-Emborrachamento; R4-Início da floração; R8-Início da maturação; R9-Maturação completa.

Data de emergência

Selecione a data da emergência, disponível para o período de 1º de setembro a 31 de dezembro. Considere a data de 50% de emergência, ou seja, quando cerca de 50% das plântulas da lavoura tenham emergido (plântulas até 2 cm de altura). O programa foi desenvolvido considerando, fundamentalmente, o sistema de semeadura em solo seco (convencional, cultivo mínimo e plantio direto).

Para exemplificar, selecionaram-se as seguintes variáveis: Município: “Santa Maria”; Cultivar: “IRGA 424 RI”; estágio: “R1 – Diferenciação da panícula”; Data de emergência: “5/10”. Após preencher os campos indicados, selecione “Consulta”. Os resultados dessa consulta aparecem, em sequência, como indicado nas Figuras 110, 111, 112 e 113.

Em “Média 30 anos”, o campo “Nº dias (E-R1)” indica que essa cultivar, na média de trinta anos de dados diários de Tm, necessitou de 69 dias após a emergência para atingir o estágio R1. O campo “Data (R1)” indica que 69 dias após a emergência (5/10) corresponde ao dia 13/12 (Figura 110). Isso indica a data média em que o estágio R1 ocorreu nesses trinta anos.

Em “Safrá”, o campo “Nº dias (E-R1)” foi de 67 dias e a “Data (R1)” foi 11/12, fazendo com que o “Desvio da média (dias)” seja menos 2 dias (Figura 111). Isso significa que, no período compreendido entre 5/10 (emergência) até que se atinja o acúmulo de graus-dia necessário para a ocorrência do estágio R1 da safra em questão, ou seja 11/12, a temperatura média do ar (Tm) foi mais alta do que a Tm da média histórica (30 anos). Abaixo da tabela e das imagens do estágio selecionado, na planta e na lavoura, estão indicadas as recomendações da Sosbai

(2018) sobre as práticas de manejo que devem ser realizadas na lavoura (Figura 111).

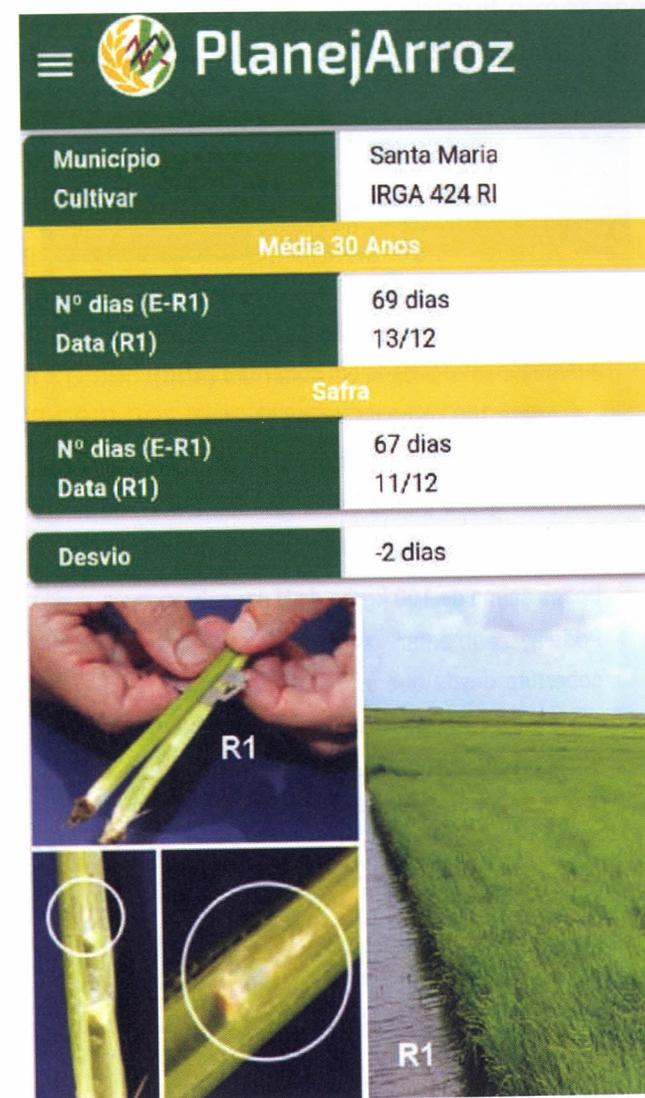


Figura 110. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Manejo” envolvendo a tabela com o número médio de dias da emergência até a diferenciação da panícula (E-R1), a data média de R1, na média de 30 anos e na safra, desvio da média (dias), imagens do estágio R1 na planta e na lavoura e manejo recomendado pela Sosbai (2018) para o estágio R1. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.

Na sequência é mostrada, na forma de mapas, a espacialização da informação gerada (Figura 111). Essa consulta por mapas tem a finalidade de indicar ao usuário não apenas as informações do município selecionado, mas também para os municípios do seu entorno.

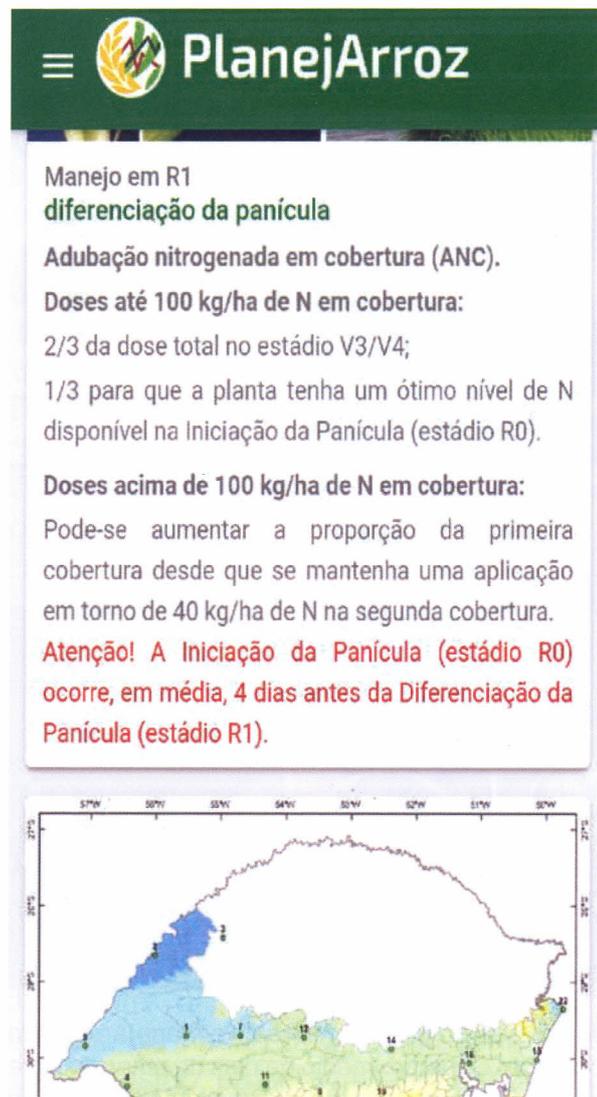


Figura 111. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Manejo” envolvendo o manejo recomendado pela Sosbai (2018) para o estágio R1. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.

A informação disponibilizada nos mapas refere-se a classes de “Nº dias (E-estágio)” para períodos de emergência de 10 dias, na média de 30 anos, considerando-se o valor intermediário do decêndio. Assim, o mapa do 1º decêndio de outubro refere-se à emergência do dia 5 de outubro, o mapa do 2º decêndio de outubro refere-se à emergência do dia 15 de outubro, e assim por diante.

A Figura 112 Indica as classes de “Nº dias (EM-R1)” para as mesmas informações de entrada por “Manejo” utilizadas anteriormente, ou seja: Santa Maria, cultivar IRGA 424 RI, com data de emergência em 5 de outubro. Assim, indica que a duração da fase EM-R1 é semelhante na maior parte do município de Santa Maria e também nos municípios que pertencem à mesma classe (de 69 a 72 dias), representada pela cor verde no mapa. Portanto, em todos esses municípios, a aplicação de qualquer prática de manejo associada a esse estágio poderia ser em data semelhante à de Santa Maria.

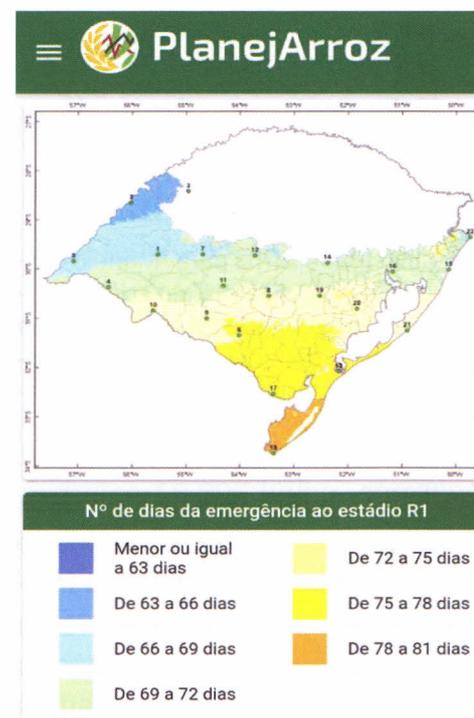


Figura 112. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Manejo” envolvendo o mapa com o número médio de dias (ND) da emergência até a diferenciação da panícula (E-R1) nos 131 municípios do Rio Grande do Sul, a localização das 22 estações meteorológicas automáticas do Inmet e as classes de ND do mapa. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.



Figura 113. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Manejo” envolvendo as classes do número médio de dias da emergência até a diferenciação da panícula (EM-R1) do mapa, e os municípios das 22 estações meteorológicas automáticas do INMET. O princípio de funcionamento do programa é o mesmo para cada um dos outros cinco estágios de desenvolvimento da planta de arroz. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.

Em algumas situações, a dificuldade em definir-se a data de 50% de emergência da lavoura em função da desuniformidade de emergência das plântulas, causada pela escassez e/ou irregularidade na distribuição da chuva, pode influenciar na acurácia da data de ocorrência de cada um dos seis estágios, estimados pelo método de graus-dia. Caso ocorram duas datas diferentes

de emergência, de lavouras semeadas na mesma data, recomenda-se considerar-se como se fossem duas lavouras em vez de fazer-se a média das duas datas de emergência.

Produtividade

Se o “Interesse” do usuário for por “Produtividade”, os passos seguintes são indicar o “Município”, a “Cultivar”, a “Data de emergência” e, por último, “Consulta”.

Município

Selecione o município de interesse dentre os 131 listados.

Cultivar

Selecione uma das três cultivares disponíveis, ou seja, IRGA 424 RI, GURI INTA CL e PUITÁ INTA CL.

Data de emergência

Selecione a data correspondente a 50% de emergência das plântulas da lavoura. Para a produtividade, da mesma forma que para o manejo, o programa foi desenvolvido considerando, fundamentalmente, o sistema de semeadura em solo seco (convencional, cultivo mínimo e plantio direto).

Para exemplificar, usaram-se informações semelhantes às de fenologia, ou seja: Município: “Santa Maria”; Cultivar: “IRGA 424 RI”; Data de emergência: “5/10”. Após preencher os campos indicados e selecionar “Consulta” irão aparecer os resultados, em sequência, como indicado nas Figuras 114, 115, 116.

Em “Produtividade (30 anos) – kg/ha”, obtém-se o valor de 10.707 kg/ha, enquanto em “Produtividade (Safrá) – kg/ha” indica 12.297 kg/ha, correspondendo a um “Desvio – Kg/ha” de 1.590 kg/ha ou a um “Desvio – %” de 14,8%. Isso indica que os dados meteorológicos utilizados no SimulArroz (Tx, Tn e radiação solar) da safra em questão, até o dia em que foi feita a consulta, foram mais favoráveis para a produtividade da cultura do que os dados históricos (30 anos). Abaixo da tabela é exibido um

gráfico comparando a produtividade média de 30 anos e na safra (Figura 114).

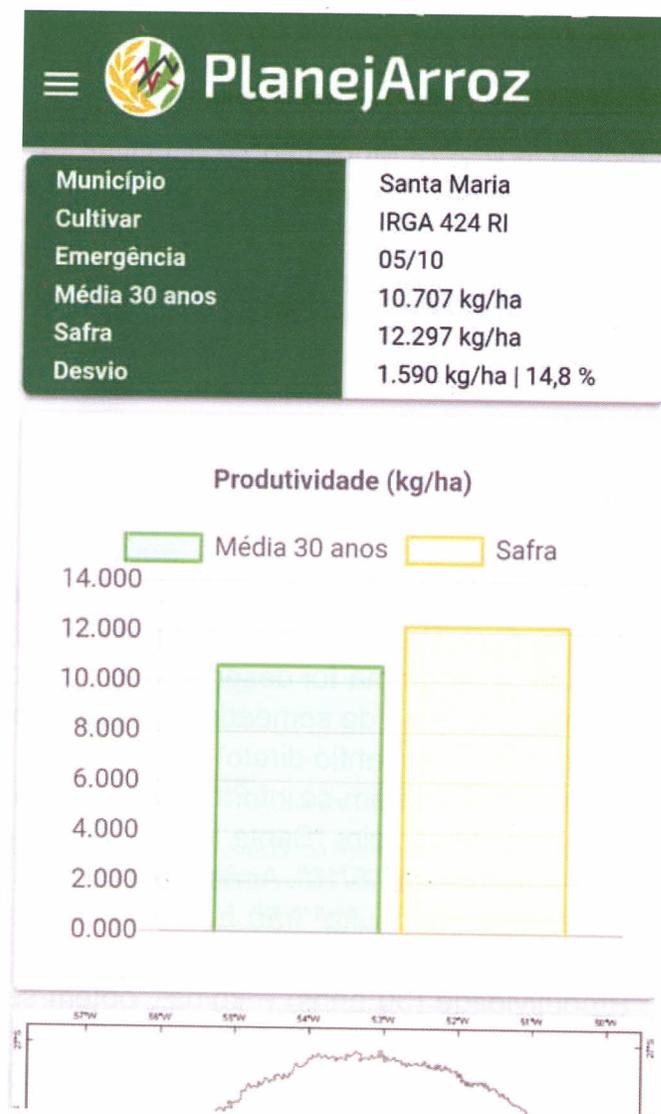


Figura 114. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Produtividade” envolvendo a tabela com a “Média de 30 anos”, na “Safra” e “Desvio” entre ambas, em kg/ha e em porcentagem, e gráfico comparativo da Média de 30 anos e da Safra. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.

Na sequência é mostrado o mapa representando a espacialização da produtividade e, a seguir, as classes de produtividade e os municípios em que estão instaladas as 22 estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas como base de dados (Figuras 115, 116). Nesse caso, o mapa indica que, na média de 30 anos, em todos os municípios que têm a mesma cor de Santa Maria, a produtividade estimada é semelhante utilizando-se a cultivar IRGA 424 RI, cuja data de emergência tenha ocorrido em 5 de outubro.

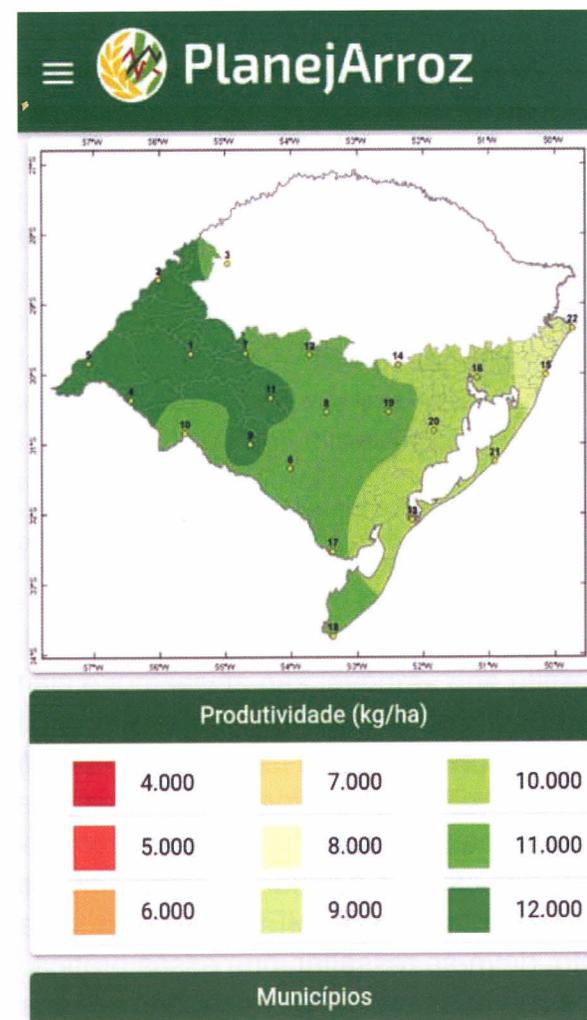


Figura 115. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Produtividade” envolvendo o mapa com a “Produtividade Média de 30 anos”, nos 131 municípios do Rio Grande do Sul, a localização das 22 estações meteorológicas automáticas do INMET e as classes de produtividade do mapa. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.



Figura 116. Informações de saída do Aplicativo PlanejArroz para “Produtividade” envolvendo as classes de produtividade do mapa e os municípios em que estão instaladas as estações meteorológicas automáticas do INMET. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM, Embrapa e INMET.

Considerações finais

O PlanejArroz (aplicativo e *Web* para a plataforma *Android*) é uma ferramenta que pode auxiliar o produtor a realizar as práticas de manejo nas épocas mais apropriadas, como recomendado pela Sosbai (2018), por estimar a data de ocorrência de seis estágios de desenvolvimento da planta (EDP) associados a essas práticas. Entretanto, deve-se ressaltar, que essas práticas de manejo, bem como os períodos mais indicados, são apenas

sugestões da Sosbai. A decisão de utilizá-las ou não deverá ser tomada pelo produtor ou em conjunto com o agente de assistência técnica que o orienta.

Da mesma forma, considerando-se que a data de ocorrência de cada um dos seis estágios pode ser influenciada por outros fatores (Steinmetz et al., 2013), recomenda-se que os usuários, ou os produtores propriamente ditos, utilizem as informações geradas por este Aplicativo como uma ferramenta complementar, e não única, para o planejamento e a tomada de decisão quanto ao momento de efetuar as práticas de manejo.

Além da parte relativa ao manejo, a estimativa de produtividade de grãos do PlanejArroz também pode ser útil no planejamento da lavoura no que diz respeito, por exemplo, a escolha da época de semeadura, de acordo com a cultivar, que apresente, em termos médios (30 anos), os níveis mais altos de produtividade de grãos. Da mesma forma, depois de a lavoura estar implantada, é possível estabelecer, com bastante antecedência, a expectativa de produtividade a ser alcançada, baseando-se nos dados médios (30 anos) do município. Por outro lado, utilizando-se das informações do módulo “Manejo”, é possível estimar a data provável de colheita utilizando a data de ocorrência do estágio R9 como referência.

Deve-se ressaltar, que a produtividade estimada pelo PlanejArroz baseia-se no nível “médio” de tecnologia. Com isso, é provável que ocorram diferenças em relação à produtividade obtida em condições de lavoura. Essas diferenças poderão ser mais expressivas nas lavouras que utilizam níveis de tecnologia muito diferentes em relação ao nível médio. Em função disso, sugere-se utilizar o módulo Produtividade do PlanejArroz como ferramenta para se obter uma estimativa razoável da produtividade a ser obtida ao invés de esperar alta acurácia dessa estimativa de produtividade.

Além do que foi mostrado neste capítulo, o Aplicativo fornece outras informações, tais como: “Arquivo”, onde são armazenadas as últimas consultas realizadas; “Sobre”, que aborda as

razões para se elaborar esse programa, bem como as parcerias envolvidas; “Contato”, indicando as pessoas que podem ser contatadas em caso de dúvida ou de necessidade de alguma informação específica.

Por último, acredita-se que este aplicativo é um produto inédito, e diferenciado, pelas seguintes razões:

1 - permite obter informações tanto em relação ao Manejo quanto à Produtividade da cultura, para os principais municípios produtores de arroz do Rio Grande do Sul;

2 - é uma ferramenta digital, moderna, que enquadra-se no conceito de Agricultura 4.0;

3 - é gratuito e disponível tanto neste aplicativo como via *Web* (<http://planejarroz.cpact.embrapa.br>);

4 - é fruto do esforço de quatro instituições públicas (Embrapa, UFSM, Irga e INMET), que são referências nas suas áreas de atuação.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos dirigentes das quatro instituições envolvidas, que não mediram esforços, cada um ao seu modo, para que este trabalho fosse realizado. Embora distintos dirigentes dessas instituições tenham sido envolvidos, agradecimentos especiais são dirigidos ao Dr. Clênio N. Pillon, ex-Chefe Geral da Embrapa Clima Temperado, ao Dr. Paulo Afonso Burmann, Magnífico Reitor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Eng. Agr. Ginter Frantz, Presidente do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e ao Meteorologista Francisco de Assis Diniz, ex-Diretor Geral do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Foi durante o mandato desses dirigentes que essa parceria foi iniciada e que a maior parte dos trabalhos foram desenvolvidos.

10.4. Aplicação do modelo SimulArroz na previsão de safra de arroz no Rio Grande do Sul

O acompanhamento e a previsão de safra são fatores-chave para o planejamento das cadeias produtivas de grãos ao redor do mundo. Dentre os métodos de previsão de safra utilizados, o das entrevistas a produtores por técnicos agrícolas e engenheiros agrônomos sobre a produtividade esperada é o mais simples e mais utilizado ao redor do mundo. Durante as últimas duas décadas, modelos matemáticos têm sido utilizados como ferramenta adicional para a previsão de safra nos Estados Unidos e na Europa. Em 2016, a Equipe FieldCrops foi pioneira no teste de uma metodologia para previsão de safra de arroz irrigado no Brasil utilizando o modelo SimulArroz e o modelo climático regional RegCM4, sendo a previsão de safra 100% baseada em modelos matemáticos baseados em processos (Silva et al., 2016). Utilizando essa metodologia, a diferença entre a estimativa de safra padrão e a baseada em modelos foi de 14%.

Com base na previsão de safra de milho no *Corn-Belt* dos Estados Unidos, em 2016 a Equipe FieldCrops em parceria com o Irga desenvolveu uma metodologia mais simples para estimativa de safra, utilizando o modelo SimulArroz, dados meteorológicos atuais e históricos e informações de manejo (época de semeadura, cultivar e área semeada) para previsão de safra de arroz irrigado no Sul do Brasil. Nessa metodologia, as informações de manejo e os dados meteorológicos são inseridos no modelo SimulArroz, formando uma pluma de produtividades estimadas para o final da safra. A medida que a safra avança, os dados meteorológicos vão sendo atualizados, da seguinte maneira: do início da semeadura até a data da previsão são utilizados dados meteorológicos da safra (atualizados) e a partir data da previsão os dados meteorológicos da safra são preenchidos com dados meteorológicos de safras anteriores até a colheita, formando uma série de produtividades estimadas para a safra (Figura 117).

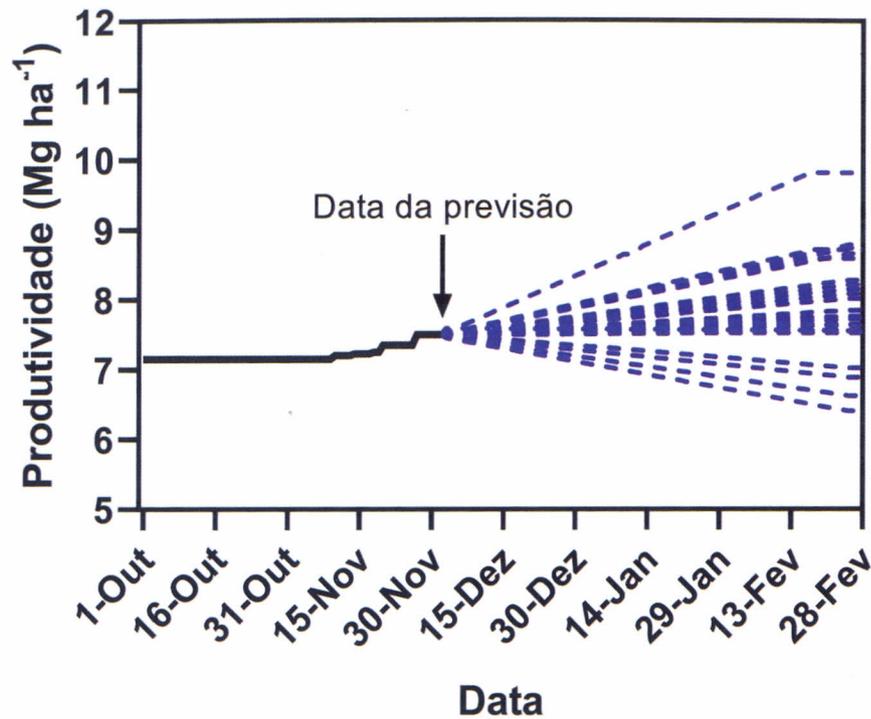


Figura 117. Gráfico que demonstra como é realizada a previsão de safra com o modelo SimulArroz. A linha preta é formada por dados meteorológicos da safra em andamento desde a semeadura até a data da previsão (indicada pela flecha preta). A partir da data de previsão uma série histórica de com mais de 30 anos de dados meteorológicos é utilizada para gerar uma pluma de produtividades (cada linha tracejada em azul representa uma produtividade estimada), a qual é utilizada para calcular a probabilidade da safra ocorrer acima, abaixo ou na média. Fonte: Silva et al (2020) - Equipe FieldCrops.

A nova metodologia foi testada em quatro safras de arroz no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018). A metodologia foi capaz de aumentar a acurácia da metodologia anteriormente proposta, passando de 14% para 8,1% em relação a metodologia padrão para estimativa de safra de arroz no Brasil (Figura 118). Através do uso do modelo SimulArroz foram desenvolvidas duas novas metodologias para estimativa de safra de arroz, que podem ser inseridas no atual sistema de previsão de safra brasileiro. Entre os benefícios

dessas metodologias estão a melhor caracterização da resposta da planta ao ambiente, redução do empirismo e automação da previsão.

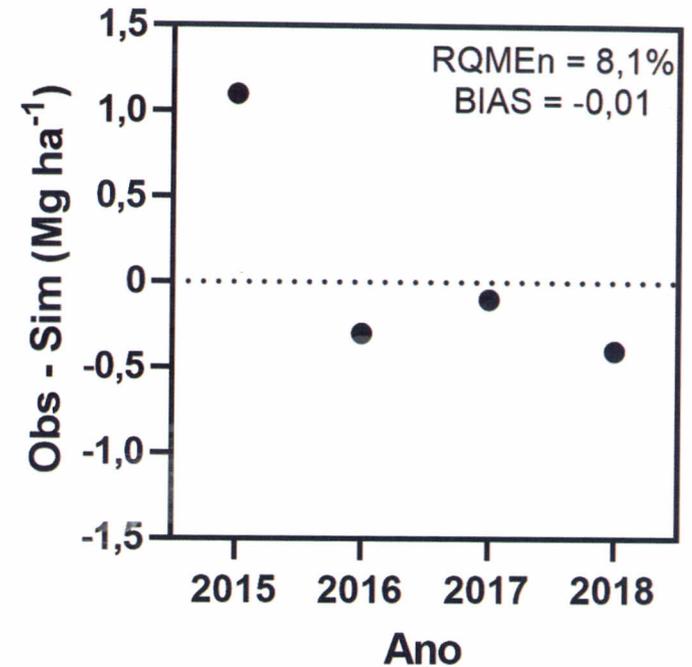


Figura 118. Diferença entre a estimativa de safra de arroz utilizando o modelo SimulArroz e a estimativa de safra com base em entrevistas a produtores rurais durante os anos agrícolas de 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 para o estado do Rio Grande do Sul – Brasil. RQMEn: raiz quadrada média do erro normalizada; BIAS: índice que verifica a tendência em subestimar ou superestimar a produtividade de grãos. Fonte: Equipe FieldCrops.

Referências

- AGGARWAL, P. K. et al. InfoCrop: a dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. **Agricultural Systems**, v. 89, p. 1-25, 2006. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.08.001.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p.
- ALMEIDA, R. D. de; PELÚZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p.108-115, 2011.
- AMARAL, A. dos; SANTOS, E. C. dos. Efeito da umidade e da temperatura do solo na emergência de plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 5, n. 1, p. 43-54, 1983.
- ARAUJO, R. G. et al. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**. vol.43, n.4, pp.469-480, 2013.
- ARF, O. et al. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 321-326, 2002.
- ARRUDA, M. H. M. de. et al. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de soja com diferentes percentuais de sementes esverdeadas. **Magistra**, v.28, p.194-200, 2016.
- AWIKA, J. M. Major cereal grains production and use around the world. In: AWIKA, J. M.; PIIRONEN, V.; BEAN, S. (Eds.). **Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion**. American Chemical Society, p. 1-13, 2011.

- BARTZ, A. C. et al. Thermal time in sprinkler-irrigated lowland rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 475-484, 2017.
- BASHIR, K., SEKI, M., NISHIZAWA, N. K. The transport of essential micronutrients in rice. **Molecular Breeding**, v. 39, n. 168, p. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11032-019-1077-1>.
- BISSANI, C.A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre, Gênese, 2004. 328p.
- BOTTA, R. A., et al. Estratégia de manejo de *Tibraca limbativentris* Stål (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE) na entressafra da cultura do arroz irrigado. **Brazilian Journal of Agriculture**, 89(3), 224-231, 2015,
- BOSCO, L. C.; GRIMM, E. L. ; STRECK, N. A. . Crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não-alagado. **Revista Ceres**, v. 56, p. 796-804, 2009.
- BOUMAN, B. A. M. et al. **ORYZA2000**: modelling lowland rice. Los Baños: IRRI e Wageningen University and Research Centre, 2001. 235 p.
- BOUMAN, B. A. M.; LAMPAYAN, R. M.; TUONG, T. P. **Water Management in Irrigated Rice: Coping With Water Scarcity**. International Rice Research Institute, Los Baños (Philippines) 54 p. 2007.
- BUENDIA, L. V. et al. Understanding the nature of methane emission from rice ecosystem as basis of mitigation strategies. **Applied Energy**, v. 56, p. 433–444, 1997.
- BUENO C. S.; LAFARGE T. Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: Hybrids accumulate more biomass during each phenological phase. **Field Crops Research**, v. 112, n. 2, p. 229-237, 2009.
- CALVERT, L.; SEDANO, R. **Caracterización de la Enfermedad del Entorchamiento. Un complejo de *Polymixia graminis* y el virus de la necrosis rayada del arroz**. Proyecto IP-4. Mejoramiento del Germoplasma de Arroz para America Latina Y El Caribe. CIAT. Informe Anual, 2001.
- CAMPOS, F. et al. Arsenic content and speciation in Uruguayan Rice. **Proceedings of 7th International Temperate Rice Conference**, Brasil, 2020. ISBN 978-65-00-00331-4. 247 pag.
- CARBONELL, R.M. et al. **Guia para el trabajo de campo en el manejo integrado de plagas del arroz**. IIA/FLAR/CIAT, Havana, Cuba, 76 p, 2001.

- CARLI, C. de et al. Número de dias e de graus-dia entre a iniciação e a diferenciação da panícula em cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 428-433, 2016.
- CARMONA, P. S. **IRGA 75 Anos**: A contribuição da estação experimental do arroz para o desenvolvimento da orizicultura gaúcha. Integrar Gestão e Inovação Agropecuária, Triunfo, Edição Especial, 2015.
- CARRACELAS, G. et al. Evolución del rendimiento del arroz producido en Uruguay y comparación con otros países arroceros. In: ZORRILLA, G.; MARTÍNEZ, S.; SARAIVIA, H. **Arroz 2017**. Série Técnica, n. 233, Montevideo, Uruguai: INIA, 2017, p. 51-55. <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.233>
- CARRACELAS, G. et al. Irrigation management and variety effects on rice grain Arsenic levels in Uruguay. **Journal of Agriculture and Food research**, v. 1, 2019a. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100008>
- CARRACELAS, G. et al. Potencial y brecha de rendimiento de arroz irrigado en Uruguay y otros países arroceros. In: TERRA, J.; MARTÍNEZ, S.; SARAIVIA, H. (Eds.) **Arroz 2019**. INIA Serie Técnica, n. 250, Montevideo (Uy): INIA, 2019b, p. 53-56. <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>
- CARRACELAS G. et al. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. **Agricultural Water Management**, v. 222, p. 161-172, 2019c. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.049>
- CARRIJO, D. R.; LUNDY, M. E.; LINQUIST, B. A. Rice yields, and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 203, p. 173–180, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.002>
- CARVALHO, M. A. de F.; SILVEIRA, P. M. da; SANTOS, A. B. dos. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2012. 14p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 205).
- CASSMAN, K. G. et al. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 315-358, 2003.
- CEREZA, T. V. et al. Antagonism between fungicide-insecticide treatments and dietholate in irrigated rice seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina , v. 41, n. 1, p. 13-21, 2019.

- CHANDLER, R. F. Jr. **An adventure in applied science**: A history of the International Rice Research Institute. 1992. 240p.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, v. 6, n. 12, 2019. 126 p. ISSN: 2318-6852.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.
- CRUZ, R. P. da; MILACH, S. C. K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 30, p. 909-917, 2000.
- DAS, H. K. et al. Arsenic concentrations in rice, vegetables, and fish in Bangladesh: a preliminary study. **Environ Int**, v. 30, p. 383-387, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.09.005>.
- DE CARLI, CRISTIANO et al. Número de dias e de graus-dia entre a iniciação e a diferenciação da panícula em cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 46, p. 428-433, 2016.
- DENG, N. et al. Closing yield gaps for rice self-sufficiency in China. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019.
- DINGKUHN, M. et al. Improving yield potential of tropical rice: achieved levels and perspectives through improved ideotypes. **Field Crops Research**, v. 182, n. 1, p. 43-59, 2015.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p.
- DURESSA, T. F. & LETA, S. (2015). Determination of levels of As, Cd, Cr, Hg and Pb in soils and some vegetables taken from river Majo water irrigated farmland at Kota village Oromia State, East Ethiopia. **International Journal of Sciences, Basic and Applied Research**, 21: 352-372.
- ELLIS, R.H. et al. Rates of leaf appearance and panicle development in rice (*Oryza sativa* L.): A comparison at three temperatures. **Agric. For. Meteorol.**, v. 66, p. 129–138, 1993.
- ERENOGLU et al. Uptake and transport of foliar applied zinc (^{65}Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. **Plant and Soil**, v. 241, p. 251-257, 2002.

- ESPE, M. B. et al.. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. **Field Crops Research**, v. 196, p. 276-283, 2016.
- ESPINOZA, W. et al. **O clima da região dos Cerrados em relação à agricultura**. Planaltina, GO: Embrapa-CPAC, 1982. 37 p. (Embrapa-CPAC – Circular Técnica, 9).
- EVANS, L. T. **Crop Evolution, Adaptation, and Yield**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1993.
- FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1984. 341 p.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília,: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294p.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos (Eds.) **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. Cap.3, p.51-94. 2003.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, n. 88, p.97-185, 2005.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; CUTRIM, V. dos A. Dry matter and yield of lowland rice genotypes as influence by nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 31:788-795, 2008.
- FAO; WHO. Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants. World Health Organization, Geneva, p 104, 1985.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crop production**. 2014. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>
- FAO; WHO. **CODEX ALIMENTARIUS**: International food standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World Health Organization (WHO). General standard for contaminants and toxins in food and feed. CXS 193-1995. FARIAS, S. S. et al. On-line speciation and quantification of four arsenical species in rice samples collected in Argentina using an HPLC-HG-AFS coupling. **Microchemical Journal**, v. 120, p. 34–39, 2015.
- FERREIRA, E. **Manual de identificação de pragas do arroz**. Embrapa-CNPAP, Documentos, 90. Santo Antonio de Goiais, GO, 110 p. 1998.

FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2028**: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: FIESP, 2018. 86p. ISBN: 978-85-7201035-1.

FISCHER, R. A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, v. 105, n. 2, p. 447-461, 1985.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 589p.

FRAGOSO, D. B. et al.. **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva do arroz no Estado do Tocantins**. Brasília: Embrapa, 2013. 40p.

FRUET, B. L.; MEROTTO, J. A.; ULGUIM, A. R. Survey on Rice Weed Management and Public and Private Consultant Characteristics in Southern Brazil. **Weed technology**, v. 1, p. 1-22, 2019.

GAO, L. Z. et al. Rice clock model - A computer model to simulate rice development. **Agric. For. Meteorol.**, v. 60, p. 1-16, 1992.

GHADIRNEZHAD, R.; FALLAH, A. Temperature effect on yield and yield components of different rice cultivars in flowering stage. **International Journal of Agronomy**, v. 2014, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/846707>

GILLISPIE, E.C. et al. Soil Pollution Due to Irrigation with Arsenic-Contaminated Groundwater: Current State of Science. **Current Pollution Report**, 1, 1-12 (2015).

GILMORE, E. C. Jr.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.50, n.10, p. 611-615, 1958.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R. Barros; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R. Barros; DOYLE, M. E. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **J. Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

GROHS, D. S. et al. **Crítérios para o manejo de doenças no arroz irrigado**. 1. ed. Cachoeirinha: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2010. v. 1. 48p.

GRÜTZMACHER, A. D. et al. Danos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) e seus efeitos sobre a produção de grãos na cultivar de arroz Embrapa 6-Chuí. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5, n. 2, p. 135-141, 1999

GYGA - GLOBAL YIELD GAP ANALYSIS. **Gyga**: site institucional. 2020. Disponível em: <http://www.yieldgap.org>. Acesso em 20 abr 2020.

GUEDES, J. V. C.; PERINI, CLÉRISON R.; ALENDE, V. P.; CURIOLETTI, L.E.; STACKE, R. F.; VALMORBIDA, I. Decisão racional. **Cultivar Grandes Culturas**, v. XVI, p. 46-51, 2015.

HAN, F. X. et al. Assessment of global industrial-age anthropogenic arsenic contamination. **Naturwissenschaften**, v. 90, p. 395-401, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00114-003-0451-2>

HARDKE, J. T. **Arkansas Rice Production Handbook**. University of Arkansas Division of Agriculture Cooperative Extension Service MP192, Little Rock, 2013.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 116-119, 1973. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500010035x.

HAY, R.; PORTER, J. **Physiology of crop yield**. Editora Blackwell: 2ª ed., 2006. 330p.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, p. 285-295, 2006.

HEINEMANN, A. B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no Estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 4, p. 29-36, 2010.

HEINEMANN, A. B. et al. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 3625-3638, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv126>

HEINEMANN, A. B. et al. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. **Field Crops Research**, v. 231, p. 57-67, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.009>.

HILL, J. E.; HARDY, B. **Proceedings of the Second Temperate Rice Conference**. International Rice Research Institute (IRRI), n. 281816, 1999. 714p.

HOSSAIN, M. et al. Effects of arsenic-contaminated irrigation water on growth, yield, and nutrient concentration in rice. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 39, 302–313. <https://doi.org/10.108MI0103620701759~3>. 2008.

INFELD, J. A.; SILVA, J. B. da; ASSIS, F. N. de. Temperatura-base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 2, p.187-191, 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: STOCKER, T. F. et al. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University, 2013. 33p.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **IRGA:** Site institucional. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://irga.rs.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ISHIMARU T., et al. Formation of grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science.** 50 166–174, 2009.

ISLAM, M. S.; MORISON, J. I. L. Influence of solar radiation and temperature on irrigated rice grain yield in Bangladesh. **Field Crops Research**, v. 30, n. 13-28, p. 13-28, 1992.

JIANG, S.; SHI, C.; WU, J. Genotypic differences in arsenic, mercury, lead and cadmium in milled rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [S. l.], v. 63, n. 4, p. 468–475, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.636343>

KATO, Y., OKAMI, M.; KATSURA, K. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. **Field Crops Research**, v. 113 n.3, p. 328-334, 2009.

KATO, L. S. et al. Elemental composition of Brazilian rice grains from different cultivars and origins. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 318, p. 745–751, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6122-8>

KHANAM, R. et al. Metal(loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bioavailability and potential risk to human health. **Science of the Total Environment**, v. 699, p. 134330, 2020.

KONING, N.; VAN ITTERSUM, M. K. Will the world have enough to eat? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, p. 77-82, 2009.

KOBATA, T.; UEMUKI, N. High temperatures during the grain-filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 2, p. 406-414, 2004.

KÖGEL-KNABNER, I. et al. Biogeochemistry of paddy soils. **Geoderma**, v.157, n.1-2, p.1-14, 2010.

KUMARATHILAKA, P. et al. Arsenic speciation dynamics in paddy rice soil-water environment: Sources, physico-chemical, and biological factors - a review. **Water Research**, v. 140, p. 403-414, 2018.

LANGNER, J. A. et al., Observed and estimated leaf appearance of landrace and improved maize cultivars. **Ciência Rural**, v. 48, n. 01, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160775>.

LI, C. et al. Impact of Alternate Wetting and Drying Irrigation on Arsenic Uptake and Speciation in Flooded Rice Systems. **Agric. Ecosyst. Environ**, v. 272, p. 188-198, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.11.009>

LINARES, O. F. African Rice (*Oryza glaberrima*): History and future potential. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 99, p. 16360-16365, 2002.

LINQUIST, B. A. et al. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. **Glob. Chang. Biol**, v. 21, n.1, p. 407-417, 2015. <https://doi:10.1111/gcb.12701>

LOBATO, E. J. V.; SILVA, S. C. da. **Parâmetros meteorológicos, fenologia e produtividade do arroz de terras altas sob condições de Cerrado.** Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1995. 11 p. (Embrapa-CNPAP – Comunicado Técnico, 30).

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review Environment Resources**, v. 34, p. 179-204, 2009. DOI: 10.1146/annurev.environ.041008.093740.

MALL, R. K.; AGGARWAL, P. K. Mudança climática e produção de arroz em diversos agro-ambientes da Índia. I. Avaliação de modelos de avaliação de impacto. **Mudança climática**, v. 52, p. 315-330, 2002.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio Brasil 2017/18 a 2027/28**, projeções de longo prazo. Brasília: MAPA - Secretaria de Política Agrícola, 2018. 112p. ISBN 978-85-7991-116-3

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p

MARIN F. R. et al. Intensificação sustentável da agricultura brasileira Cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, 2016.

MARTÍNEZ, C. P. et al. Rice breeding in Latin America. **Plant Breeding Reviews**, v. 38, p. 187-277, 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118916865>.

MASSEY, J. H. et al. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. **Agric. Water Manag.**, v. 146, p. 297-304, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.023>.

MASUTOMI, Y. et al. Impact assessment of climate change on rice production in Asiain comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 131, n. 3-4, p. 281-291, 2009. [10.1016/j.agee.2009.02.004](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.004).

MEDEIROS, R. D. de; HOLANDA, J. S. de; COSTA, M. de C. Manejo de água em arroz irrigado no Estado de Roraima. **Lavoura Arrozeira**, v.48, n.420, p.12-14, 1995

MEHARG, A. A. et al. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. **Environ. Sci. Technol.**, v. 43, n. 1612–1617, 2009. <https://doi.org/10.1021/es802612a>.

MEHARG, A.A.; ZHAO, F.J. **Risk from Arsenic in Rice Grain**. In: Arsenic & Rice. Springer, Dordrecht. 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-2947-6_3.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. **Sci. Adv.**, v. 2, n. 1500323, p. 1-6, 2016. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.

MENEZES, V. G. et al. **Projeto 10**: estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS: avanços e novos desafios. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2012.

MENEZES, V. G. et al. **Projeto 10** – Management Strategies to Increase Productivity and Sustainability of Irrigated Rice Growth in the State of Rio Grande do Sul, Brasil: Developments and new challenges. Cachoeirinha: IRGA / Estação Experimental do Arroz. 100p. 2013.

MENTGES, M. I. et al. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.221-231, 2013.

MERCOSUL. MERCOSUR/GMC/RES. **Nº 12/11** - Regulamento Técnico Mercosur sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos en alimentos. 2011. Disponível em: www.puntofocal.gov.ar/doc/r_gmc_12-11.pdf. Acesso em: 2019.

MEUS, L. D. et al. Classification of rice grains of lowland cultivars grown under flood irrigation and sprinkler irrigation. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 4, p. 599-605, 2018.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 747-766, 1972.

MORALES, J.F.; WARD, E.; CASTAÑO, M. et al. Emergence and partial characterization of rice stripe necrosis virus and its fungus vector in South America. **European Journal of Plant Pathology**, v. 105, p. 643-650, 1999.

MUNDA S. et al. Dynamics of soil organic carbon mineralization and C fractions in paddy soil on application of rice husk biochar. **Biomass and Bioenergy**, n. 115, p.1–9, 2018.

NALLEY, L. et al. Quantifying the agronomic and economic performance of hybrid and conventional rice varieties. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1514–1523, 2016.

NASCIMENTO, M. F. **O fenômeno ENOS e variabilidade na produtividade de Arroz irrigado simulado pelo modelo SimulArroz**. 2019. 20p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

NORMILE, D. Reinventing Rice to Feed the World. **Science**, v. 321, p. 330-333, 2008.

OGOSHI, C. et al. Effectiveness of fungicides for rice blast control in lowland rice cropped in Brazil. **Tropical and Subtropical agroecosystems**, v. 21, p. 505-511, 2018.

OTEIZA, J. M. et al. Arsenic in Argentinean polished rice: Situation overview and regulatory framework. **Food Control**, [S. l.], v. 109, n. September 2019, p. 106909, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106909>

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 117, n. 2., p. 239-242, 1992. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239>.

PASCALE, A. J.; DAMARIO, E. A. **Bioclimatologia agrícola y agroclimatologia**. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, 2004. 550 p.

PELÚZIO, J. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, p.427-434, 2010.

PEREIRA, J. A.; GUIMARÃES, E. P. **History of Rice in Latin America**. In: *Rice: origin, antiquity and history*. 2010.

PEREIRA, V. F. et al. Manejo da adubação nitrogenada e diagnóstico da composição nutricional do arroz no sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 173, p. 35-38, 2020.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Fisiologia vegetal**. Santa Maria, RS : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, 2015. 81 p. ISBN: 978-85-63573-90-2

PILECCO, I. B. et al. Can Brazil produce enough rice to meet demand in 2028? **Ciência e Natura**, v. 42, p. 33, 2020.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

PINTO, M. A. B. et al. Produtividade de arroz irrigado por aspersão em terras baixas em função da disponibilidade de água e de atributos do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, p.1584-1593, 2016.

POCOJESKI, E; SILVA, L. S. da, BUNDT, A. da C, MARCHESAN, E; CAMARGO, E. R.; SCIVITTARO, W. B. Estimativa do teor de nitrogênio em arroz irrigado com o clorofilômetro e a cartela de cores. **Ciência Rural**, n.42, p.1982-1988, 2012.

POWER/NASA. **Prediction of Worldwide Energy Resource**. Disponível em: www.power.larc.nasa.gov/com-common/php/POWER_AboutAgroclimatology.php. Acesso em: 5 out. 2018.

QUINTERO, C. E. et al. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. **J. Plant Nutr. Soil Science**, v. 170, p. 500-505, 2007.

QUINTERO, C. E. **Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina**. Tese de Doutorado. Ediciones de la Fundación para el Desarrollo Agropecuario, 2009. ISBN: 978-987-25076-1-9. 167 p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2183/5680>.

QUINTERO, C. E.; DUARTE, O.; DÍAZ, E.; BOSCHETTI, G. **Evaluación de la concentración de arsénico en arroz**. Jornada Técnica nacional Cultivo Arroz. Concordia, p. 129-134, 2010.

QUINTERO, C. E. et al. Concentration and origin of arsenic species in rice cv Cambá grow in Entre Ríos (Argentina). In LITTER, M. I. et al. (Eds.). **Proceeding of the 5th International Congress on Arsenic in the Environment, Buenos Aires, Argentina**. One Century of the Discovery of Arsenicosis en Latin America (1913-2014) (pp. 449–451). London: Taylor & Francis Group, 2014.

QUINTERO, C. E. et al. Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos. *Revista Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. **Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (IAH)**, v.17, p.20-23, 2015.

QUINTERO, C. E. **Arsenic concentration in grains of commercial rice varieties, under two irrigation systems. Argentina**. *Proceedings of 7th International Temperate Rice Conference*. Brasil, p. 200-203, 2020. ISBN 978-65-00-00331-4.

RAHMAN M. A. et al. Accumulation of arsenic in tissues of rice plant (*Oryza sativa*) and its distribution in fractions of rice grain. **Chemosphere**, v. 69, p. 942-948, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.044>

RAMIREZ-VILLEGAS, J. et al. Breeding implications of drought stress under future climate for upland rice in Brazil. **Global Change Biology**, v. 24, n. 5, p. 2035-2050, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gcb.2018.11.009>.

RECHE, M. H. L. R. et al. Microbial, physical and chemical properties of irrigation water in rice fields of Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 1, p. 361-375, 2016.

RHINE, M.D. et al. Nitrogen fertilization on center pivot sprinkler irrigated rice. **Crop Management**, v.10, n.1, p.0-0, 2011.

RIBAS, G. G. et al. Acúmulo de matéria seca e produtividade em híbridos de arroz irrigado simulados com o modelo SimulArroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1907-1917, 2016.

RIBAS, G. G. et al. Number of leaves and phenology of rice hybrids simulated by the SimulArroz model. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 221-226, 2017. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p221-226.

RIBAS, G. G. **Potencial e lacunas de produtividade em arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2019. 93 f. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, 2019.

RIBAS, G. G. et al. An update of new flood-irrigated rice cultivars in the SimulArroz model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 55, p. 1-10, 2020.

RIBEIRO, B. S. M. R. Can leaf area in rice be defined by a mathematical model?. **Revista Ceres**, v. 66, p. 191-199, 2019.

RICKMAN, R. W.; KLEPPER, B. L. The phyllochron: Where do we go in the future? **Crop Science**, v. 35, n.1, p. 44-49, 1995.

RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. Manejo de água em cultivares de arroz de terras altas. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.365-368. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

ROSA, H. T. et al. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1159-1165, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1159-1165>.

SÁNCHEZ, B.; RASMUSSEN, A.; PORTER, J. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. **Global Change Biology**, v. 20, p. 408-417, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12389>.

SANT'ANA, E. P. Cultivo do arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 161, p. 71-75, 1989.

SANTOS, A. B.; COSTA J. D. Behaviour of upland rice varieties at different plant densities, under and without supplemental irrigation. **Scientia Agricola**, v. 52, p. 1-8, 1995.

SANTOS, A. B. dos; SILVA, S. C. da; ZIMMERMANN, F. J. P. Efeitos do manejo da irrigação na temperatura da água e no comportamento do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25.; 2003, Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.181-183.

SANTOS, A. B. dos. Importância e características. In: SANTOS, A. B. dos. (Ed.). **Cultivo da soca de arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004, p.15-36.

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. **Estratégia de irrigação para a cultura do arroz na Região Tropical**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2015. 6 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 231).

SANTOS, M. P. dos; et al. Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 3, p. 253-264, 2017.

SEVERO, D.O. et al. Avaliação do dano da lagarta-da-panícula (*Pseudaletia spp.*) em arroz irrigado. In: **Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Palotti, 2009. P.351-353.

SHARMA, S. D. **Rice: origin, antiquity and history**. 1st ed, 2010. 558 p.

SILVA, M. R. da. et al., Modelagem numérica para previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 51, p. 791-800, 2016.

SILVA, M. R.da. **Previsão de safra de arroz e introdução de um submodelo de brusone no modelo SimulArroz**. 2020. 66 f. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, 2019.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Occam's Razor, radiation use efficiency and vapor pressure. **Field Crops Research**, v. 62, p. 239-243, 1999.

SLATON, N.; HELMS, S.; WELLS, B. **DD50 computerized rice management program**. In: HELMS, R.S. (Ed.). **Rice production handbook**. Little Rock, AR: University of Arkansas, 1996. p. 24-27. (Miscellaneous Publication, 192).

SMEDLEY, P.L. et al. **Arsenic in groundwater and sediments from La Pampa Province, Argentina**. In: Bundschuh et al. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*, Taylor & Francis, 35–45, 2008.

SMITH, A.H., et al. Arsenic epidemiology and drinking water standards. American Association for the Advancement of Science. **Policy Forum**, v. 296, n. 5576, p. 2145-2146, 2002. <https://doi.org/10.1126/science.1072896>.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: Sosbai, 2007. 154 p.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves: Sosbai, 2014. 192 p.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. 2018. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Gramado: Sosbai, 209 p., il.

SOLOMON, S. et al. **Climate change 2007**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: IPCC, 2007. 996p.

SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. Manejo de água em cultivos de arroz irrigados por aspersão no sistema de plantio direto. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.369-372. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

STANSEL, J. W. The rice plant: its development and yield. In: MILLER, J.C. **Six decades of rice research in Texas**. College Station: Texas A&M University, p. 9-21, 1975.

STEINMETZ, S.; AMARAL, A. G. Mapeamento do risco de frio durante o período reprodutivo do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Documentos 108-Embrapa**, Pelotas, 2002. ISSN 1516-8840.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de. **A cultura do arroz no Brasil**. In: SANTOS, A.B. dos; STONE, L.F.E.; VIEIRA, N.R. de A. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

STEINMETZ, S. et al. **Produtividade de cultivares de arroz irrigado em função da época de semeadura**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 22 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 111).

STEINMETZ, S. et al. **Uso de graus-dia para estimar a data de diferenciação da panícula (DP) de seis subgrupos de cultivares de arroz irrigado visando à adubação nitrogenada em cobertura no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 75p. (Embrapa Clima Temperado Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121).

STEINMETZ, S. et al. **Uso do método de graus-dia para estimar a data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento de subgrupos de cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 108 p. Versão resumida (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 205).

STEINMETZ, S. et al. **GD Arroz**: programa baseado em graus-dia para estimar a data de diferenciação da panícula visando a adubação nitrogenada em cobertura. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 12p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 155).

STEINMETZ, S. et al. **GD Arroz**: programa baseado em graus-dia como suporte ao planejamento e à tomada de decisão no manejo do arroz irrigado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015a. 8p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 162).

STEINMETZ, S. et al. Validação do método de graus-dia para estimar a data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9, 2015b, Pelotas. **Anais**...Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. Disponível em: <<http://www.cbai2015.com.br/anais/index.php?secao=trabalhoS>>

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C. da. **Início dos estudos sobre Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) no Brasil**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 27 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 312). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1064577/1/CNPAF2017doc312.pdf>.

STEINMETZ, S. et al. **Períodos de Semeadura para o Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul com Base na estimativa de Produtividade de Grãos e em Níveis de Risco Climático**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 57p. 2018.

STEINMETZ, S. et al. **Irrigated rice sowing periods based on simulated grain yield**. *Agrometeoros*, v. 27, n. 2, p. 377-386, dez. 2019.

STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos; STEINMETZ, S. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água no solo e no rendimento do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 63-68, 1980.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. **Tensão da água do solo e produtividade do arroz**. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1986. 6p. (Embrapa-CNPAP. Comunicado Técnico, 19).

STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 28).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 222, p. 70-76, 2004.

STONE, L.F. et al., **Irrigação**. In: BORÉM, A.; NAKANO, P.H. (Ed.). Arroz: do plantio a colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p.135-160.

STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P. S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 115, n. 3-4, p. 139-150, 2003.

STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1086-1093, 2006a.

STRECK, N. A et al. Avaliação da resposta ao fotoperíodo em genótipos de arroz irrigado. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 533-541, 2006b.

STRECK, N. A. et al. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 5, p. 559-567, 2008.

STRECK, N. A. et al. Relationship between panicle differentiation and main stem leaf number in rice genotypes and red rice biotypes. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 195-203, 2009.

STRECK, Nereu Augusto et al. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em gladiolo. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1968-1974, 2012.

STRECK, N. A.; et al. SimulArroz: um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: **Congresso brasileiro de arroz irrigado**, 8., 2013, Santa Maria. **Anais.**: Sosbai, 2013. p.1618-1627.

SUDHIR, Y. et al. Evaluation of trade-offs in land and water productivity of dry seeded rice as affected by irrigation schedule. **Field Crops Research**. 128, 180–190, 2012.

SUN, J. et al. Nitrogen can improve the rapid response of photosynthesis to changing irradiance in rice (*Oryza sativa* L.) plants. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-10, 2016.

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. Optimum Leaf Area Index to Reach Soybean Yield Potential in Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1-7, 2018.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TARLERA, S. et al. Yield-scaled global potential of two irrigation management systems in a highly productive rice systems **Scientia Agricola**, v. 73, n. 1, p. 43-50, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0050>.

THOMSON, A. M. et al. RCP4.5: A pathway for stabilization of 28 radiative forcing by 2100. **Climatic Change**, v. 109, p. 77-94, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-29011-0151-4>.

TONETTO, F. et al. Adubação nitrogenada e o vírus do enrolamento do arroz (rsnv). **Revista Plantio Direto**, v. 29, p. 15-18, 2019.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, n. 83, p. 926-928, 1991.

ULGUIM, A.R.; SILVA, B.M.; AGOSTINETTO, D.; AVILA NETO, R.C.; ZANDONÁ, R.R. Resistance mapping of the genus *Cyperus* in Rio Grande do Sul and selection pressure analysis. **Planta Daninha**, v.37, p.e019186679, 2019.

VAN ITTERSUM, M. K.; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and qualification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, v. 52, p. 197–208, 1997.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance – a review. **Field Crop Research**, v. 143, p. 04-17, 2013.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Can sub-Saharan Africa feed itself? **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 113, n. 52, p. 14964-14969, 2016.

VAN OORT, P. A. J. et al. Assessment of rice self-sufficiency in 2025 in eight African countries. **Global Food Security**, v. 5, p. 39-49, 2015.

VAN VUUREN, D. P. RCP2.6: Exploring the 9 possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. **Climatic Change**, v. 109, n. 95, 2011: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0152-3>.

XAVIER, A. I. et al. Análise econômico-produtiva em lavouras de arroz na região central do rio grande do sul. **Revista Plantio Direto**, v. 169, p. 1, 2019.

XUE, Q; WEISS, A; BAENZINGER, P.S. Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam v.175, p.261-270, 2004.

WALTER, L. C. et al. Adaptação e avaliação do modelo infocrop para simulação do produtividade de grãos da cultura do arroz irrigado. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000300010>

WALTER, L. C. et al. Climate change and its effects on irrigated rice yield in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 915-924, 2014.

WEBER, N. C. et al. Quantitative and qualitative damages of *Oebalus poecilus* on irrigated rice in southern Brazil. **Revista Ceres**, v. 67, n. 2, p.126-132, 2020.

WEERAKOON, W. M. W.; INGRAM, K. T.; MOSS, D. N. Efeitos do dióxido de carbono atmosférico e do nitrogênio fertilizante na interceptação de radiação pelo arroz. **Plant and Solo**, v. 220, p. 99-106, 2000.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Evaluation of certain contaminants in food**: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO Technical Report Series [Internet], N° 959.

WILLIAMS, P .N.; RAAB, A. Market Basket Survey Shows Elevated Levels of As in South Central U. S. Processed Rice Compared to California: Consequences for Human Dietary Exposure. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, p. 2178–2183, 2007. <https://doi.org/10.1021/es061489k>.

WILSON, J. R. et al. DD50 computerized rice management program. Little Rock, AR: University of Arkansas: Division of Agriculture: Cooperative Extension Service . **Agriculture and Natural Resources**. Computer Technical Series, 2015. Disponível em: <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2124.pdf>. Acesso em: 15 jul 2015.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Agricultural Meteorological Practices**. 2012.

YANG, J.; ZHOU, Q.; ZHANG, J. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. **The Crop Journal**, v.5, n.2, p.151–158, 2017.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics. **IRRI Climate and Rice**, Los Baños, p. 471-494, 1976.

YOSHIDA, S. **Tropical Climate and Its Influence on Rice.**, Los Baños, Philippines: IRRI Research Paper Series 20 International Rice Research Institute, 1978.

YOSHIDA, S. **Fundamental of Rice Crop Science**. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

ZANON, A. J. et al. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v. 74, p. 279-290, 2015.

ZANON, A. J. et al. Growth habit effect on development of modern soybean cultivars after beginning of bloom in Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 446 - 458, 2016.

ZHU, Z.L.; CHEN, D. L. Nitrogen fertilizer use in China contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v. 63, p. 117-127, 2002.

ZHU, Y. G. et al. High percentage inorganic arsenic content of mining impacted and non-impacted Chinese rice. **Environ. Sci. Tech**, v. 42, n. 13, p. 5008–5013, 2008. <https://doi.org/10.1021/es8001103>.