An aerial photograph of a vast rice field, divided into a grid of rectangular plots. The rice is in a golden-yellow stage of maturity. In the foreground, several people wearing hats are visible, likely workers or researchers, engaged in field activities. The background shows a line of trees and a slight rise in the land.

Ecofisiologia do **Arroz**

Visando altas produtividades

2. Fatores e elementos climáticos

Nereu Augusto Streck¹; Anderson Haas Poersch¹; Ary José Duarte Junior¹; Bruna San Martin Rolim Ribeiro¹; Giovana Ghisleni Ribas¹; Ioran Guedes Rossato¹; Isabela Bulegon Pilecco¹; Lorenzo Dalcin Meus¹; Michel Rocha da Silva¹; Moisés de Freitas do Nascimento¹; Pablo Mazzuco de Souza¹; Silvio Steinmetz²; Vladison Fogliato Pereira¹; Alencar Junior Zanon¹

O clima apresenta grande influência na produtividade e no potencial produtivo dos cultivos e dos sistemas agrícolas. O arroz é cultivado em latitudes que variam desde 50°N (Tchecoslováquia) a 35°S (Uruguai), no nível do mar e em altitudes acima de 2000 m (Nepal), adaptado a grande amplitude de condições edafoclimáticas.

Entre os principais elementos meteorológicos que afetam o desenvolvimento, crescimento e produtividade do arroz estão a temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo e chuva. Devido a influência do clima e das variáveis meteorológicas sobre a produção de arroz, este capítulo irá destacar as exigências climáticas dessa cultura, os principais elementos que determinam o seu crescimento e desenvolvimento, a influência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre essas variáveis e o impacto do aquecimento global sobre o potencial produtivo das lavouras de arroz.

2.1. Temperatura

A temperatura (do ar, da água e do solo) determina a velocidade das reações e atividades biofísicas e bioquímicas das plantas de arroz. O efeito da temperatura pode ser catalisador

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Fitotecnia, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, Brasil.

(altas temperaturas) ou desacelerador (baixas temperaturas). Cada espécie vegetal tem suas temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) para o desenvolvimento (Pascale & Damario, 2004). Para o arroz, as temperaturas cardinais variam em função da fase de desenvolvimento (Figura 45). As temperaturas máxima e ótima de desenvolvimento tendem a decrescer ao longo do ciclo da cultura, enquanto a temperatura mínima para o desenvolvimento tende a aumentar da germinação até a maturidade fisiológica. Na prática, significa que na fase germinação-emergência e durante a fase vegetativa a planta de arroz é mais tolerante às altas e baixas temperaturas, e durante a fase reprodutiva é mais sensível às altas e baixas temperaturas do ambiente.

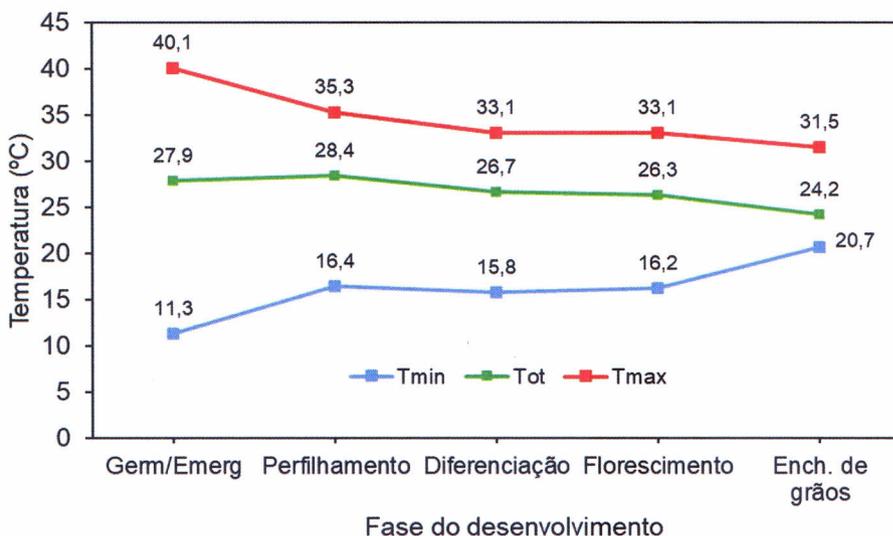


Figura 45 - Temperaturas cardinais mínima (Tmin), ótima (Tót) e máxima (Tmax) em diferentes fases do desenvolvimento da planta de arroz. Fonte: Adaptado de Sánchez et al. (2014).

Logo após a sementeira, a temperatura do solo determina a velocidade de germinação e emergência das plântulas, sendo que a faixa ótima para boa germinação deve ser entre 20 e 35 °C.

Temperaturas do solo abaixo de 12 °C e acima de 35 °C prejudicam o processo germinativo e aumentam o risco de se obter um baixo e desuniforme estande de plantas. Em regiões subtropicais, como o sul do Brasil, Argentina, Uruguai e Estados Unidos (Arkansas), a temperatura do solo durante o período de semeadura e início de desenvolvimento é mais baixa, podendo ser um fator limitante para o bom estabelecimento de plantas. Nessas condições, a germinação e emergência das plântulas pode demorar até 25 dias (Tabela 9). Além disso, a ocorrência de temperatura do ar menor que 15 °C entre a emergência e o estabelecimento da lâmina de água podem causar o amarelecimento das folhas, redução da taxa de crescimento e da eficiência fotossintética.

Tabela 9. Temperatura do solo e tempo médio para emergência para plântulas de arroz. Fonte: Adaptado de Amaral & Santos (1983).

	Temperatura do solo (°C)			
	16	23	30	37
Tempo médio para emergência (dias)	25,4	12,8	6,2	5,2

Após o estabelecimento da plântula, a temperatura do ar passa a afetar a duração do ciclo da cultura de acordo com as temperaturas críticas para cada fase de desenvolvimento (Figura 45). Durante a floração ocorre o período de maior sensibilidade do arroz a altas temperaturas, quando as temperaturas ultrapassam 35 °C por 3 ou mais dias, e baixas temperaturas, quando as temperaturas ficam abaixo de 17 °C, aumentando a esterilidade de espiguetas. Algumas cultivares apresentam maior tolerância ao frio, apresentando danos apenas quando a temperatura fica abaixo de 15 °C. As perdas por frio são mais comuns em regiões subtropicais, sujeitas à entrada de massas de ar frio, como

Sul e Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil (Steinmetz & Amaral, 2002). Nas regiões tropicais, a ocorrência de perdas por temperaturas extremas não é comum. Entretanto o potencial produtivo nas regiões tropicais é menor devido a ocorrência de temperaturas noturnas elevadas e da maior taxa de respiração das plantas. Além disso, as temperaturas mais altas aliadas à alta umidade relativa do ar, aumentam o potencial de proliferação de doenças fúngicas, como a brusone.

2.2. Radiação Solar

A radiação solar é a principal fonte de energia para as plantas, sendo a energia motriz no processo de fotossíntese, convertendo energia luminosa em carboidratos, e conseqüentemente, sendo um dos principais fatores biofísicos que influenciam a produtividade do arroz.

A importância da radiação solar no crescimento da cultura do arroz vai aumentando de acordo com a evolução dos estágios de desenvolvimento da planta. Sendo assim, deve-se realizar práticas de manejo objetivando aumentar o aproveitamento e a eficiência no uso da radiação solar (Yoshida, 1981). Dentre essas práticas, estão a escolha da cultivar e ajuste na época de semeadura, aproveitando o período de maior disponibilidade de radiação solar na fase reprodutiva e de enchimento de grãos.

A eficiência do uso da radiação (EUR), que é a relação entre a quantidade de matéria seca produzida por unidade de radiação solar absorvida (Sinclair & Muchow, 1999), está condicionada à nutrição da planta, época de semeadura e ao manejo adequado da cultura. Com a EUR é possível quantificar o quanto a cultura consegue assimilar a energia absorvida do sol em energia bioquímica e compostos carbônicos por meio da fotossíntese. Os valores de EUR em arroz variam de 1,32 a 2,95 g MJ⁻¹ (radiação fotossinteticamente ativa interceptada - PAR) (Weerakoon et al., 2000; Mall & Aggarawal, 2002).

No Brasil, os maiores índices de brilho solar (número horas de sol, que é diretamente proporcional à radiação solar) em janeiro ocorrem na Região Sul, enquanto nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e partes das Regiões Norte e Nordeste os maiores índices de brilho solar ocorrem em julho (Figura 46). Na região Sul do Brasil, recomenda-se realizar a semeadura de final de setembro até a primeira quinzena de novembro, buscando conciliar a fase reprodutiva e de enchimento de grãos com a época de maior disponibilidade de radiação solar (segunda quinzena de dezembro e primeira quinzena de janeiro), de forma a melhor aproveitar a oferta do ambiente para atingir altas produtividades.

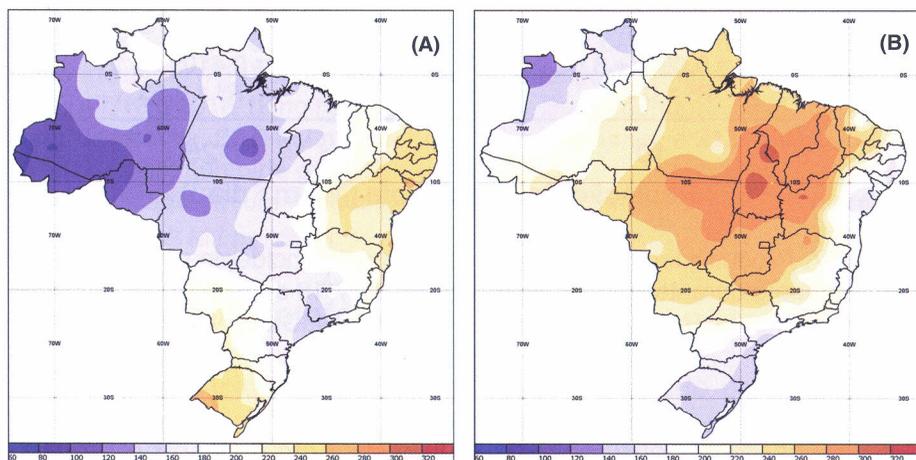


Figura 46. Climatologia do brilho solar para os meses de janeiro (A) e (B) julho no Brasil, no período de 1981 a 2010. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A redução da incidência de radiação solar nas diferentes fases do desenvolvimento da cultura interfere de maneira distinta nos componentes de produtividade. Assim, a fase de desenvolvimento que mais sofre com a redução da radiação solar é a de enchimento de grãos, seguido da reprodutiva e da vegetativa (Figura 47). Durante o enchimento de grãos, o componente de produtividade mais afetado pela restrição de radiação solar é o

número de grãos vazios por panícula, que aumenta quanto maior é o nível de sombreamento (Item 1.6).

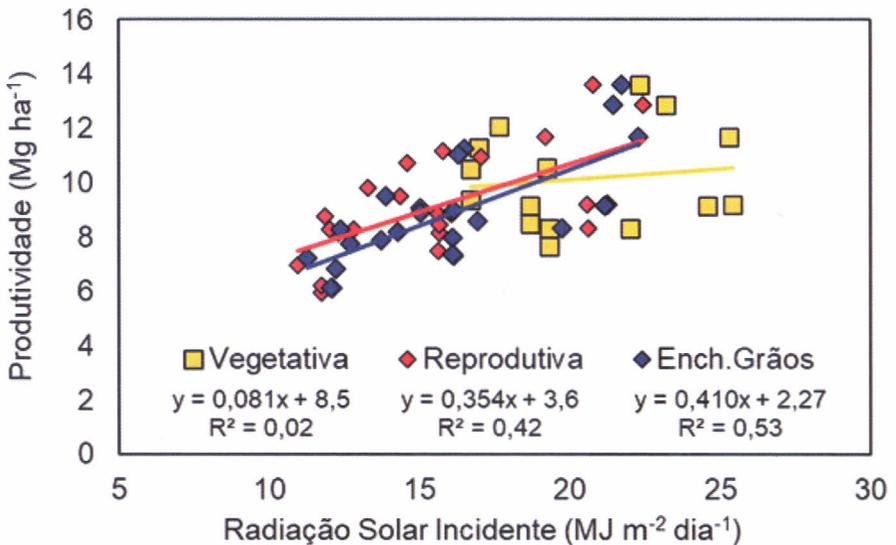


Figura 47. Produtividade de grãos e radiação solar incidente por fase de desenvolvimento durante os anos agrícolas de 2017/18 e 2018/19 em ambiente subtropical. Fonte: Rossato et al (2020) - Equipe FieldCrops, UFSM, Unipampa e Irga.

Dessa maneira, conhecendo o impacto do sombreamento sobre as fases do desenvolvimento, foi possível quantificar a perda por dia nublado ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) em cada fase (Tabela 10). A identificação de um dia nublado foi realizada através dos dados de amplitude térmica diária, ocorrência de chuva e incidência de radiação solar diária. Estima-se que o valor médio de radiação solar incidente em um dia nublado é de $9,93 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Tabela 10. Perda de produtividade de arroz por dia nublado e por fase de desenvolvimento. Fonte: Rossato et al. (2020) - Equipe FieldCrops, UFSM, Unipampa e Irga.

Fase	Produtividade diária (kg MJ ⁻¹ m ⁻² dia ⁻¹)	² Produtividade em dia límpido (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	³ Produtividade em dia nublado (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	Perda por dia nublado (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)
¹ EM-R1	1,72	40,9	17,1	23,8
R1-R4	11,4	237,1	113,2	123,9
R4-R9	12,1	257,8	120,1	137,6

¹EM-R1: fase vegetativa; R1-R4: fase reprodutiva; R4-R9: fase de enchimento de grãos;

²Produtividade em dia límpido é calculada com base na média de radiação solar incidente (RSI) durante as fases de desenvolvimento nos anos agrícolas de 2017/18 e 2018/19 no Rio Grande do Sul, Brasil, sendo: 23,8 MJ m⁻² dia⁻¹ na fase vegetativa; 20,8 MJ m⁻² dia⁻¹ na fase reprodutiva; e 21,3 MJ m⁻² dia⁻¹ na fase de enchimento de grãos.

³Produtividade em um dia nublado é calculada com base na RSI em um dia nublado (9,93 MJ m⁻² dia⁻¹).

2.3. Coeficiente fototérmico

O coeficiente fototérmico (Q) é calculado pelo quociente entre radiação solar incidente e temperatura média do ar menos a temperatura basal (T_b) (Fischer, 1985). Na prática, Q integra os efeitos da radiação solar e temperatura no crescimento e desenvolvimento (Fischer, 1985). Para calcular o Q da cultura do arroz, assume-se uma T_b de 8 °C. Relações entre produtividade de grãos e Q durante estágios chaves para determinação dos componentes de produtividade já foram relatadas para culturas agrícolas do trigo (Fischer, 1985) e soja (Zanon et al., 2016). Para a cultura do arroz irrigado, o coeficiente fototérmico é utilizado desde a década de 80 na Ásia, onde pesquisadores avaliaram a resposta do Q em cultivares antigas em diferentes estações de crescimento (Islam & Morison, 1992).

Recentemente, a influência da radiação solar e da temperatura na produtividade de grãos de arroz irrigado foi estudada para ambiente subtropical. Foram comparados experimentos

conduzidos em condição potencial, sem estresses bióticos e sem restrição nutricional (círculos amarelos – Figura 48a), e experimentos que tiveram algum tipo de limitação biótica ou abiótica (círculos azuis - Figura 48a). Verificou-se que a perda de produtividade com atraso na data de semeadura está associada com diferenças nos valores de coeficiente fototérmico nos estágios críticos de determinação dos componentes de produtividade e com a duração do ciclo de desenvolvimento, pois os valores de Q decrescem linearmente com o atraso na semeadura e são mais elevados em grupos de maturação (GM) médio e tardio em semeaduras de setembro e outubro (Figura 48b).

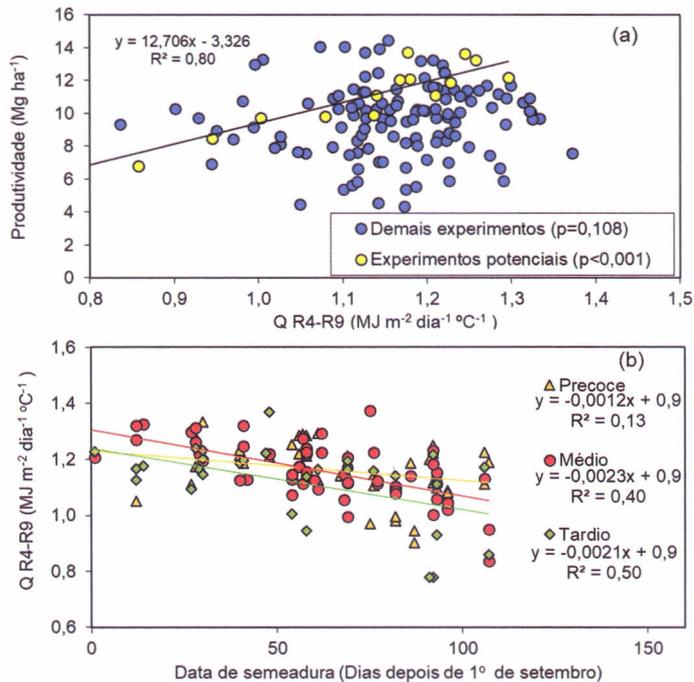


Figura 48. (a) Relação entre produtividade de grãos de arroz irrigado e o coeficiente fototérmico (Q) entre os estágios R4 e R9 em experimentos conduzidos na condição potencial (círculo amarelo) e com alguma limitação biótica ou abiótica (círculo azul). (b) Coeficiente fototérmico (Q) entre R4 e R9 em função da data de semeadura em grupos de maturação precoce (triângulos amarelos), médios (círculos em azul) e tardio (losangos em verde). Dados coletados durante seis anos agrícolas no RS (2013 a 2018). Linhas de regressão são mostradas apenas quando significativas. * e ** $p<0,1$ e $p<0,0001$, respectivamente. Fonte: Equipe FieldCrops, UFSM.

Em outro estudo, o Q foi utilizado para compreender o efeito da restrição de radiação solar sobre a cultura do arroz e apresentou relação linear com a produtividade. De maneira geral, à medida que o nível de restrição de radiação solar aumentou, o Q e a produtividade reduziram (Figura 49).

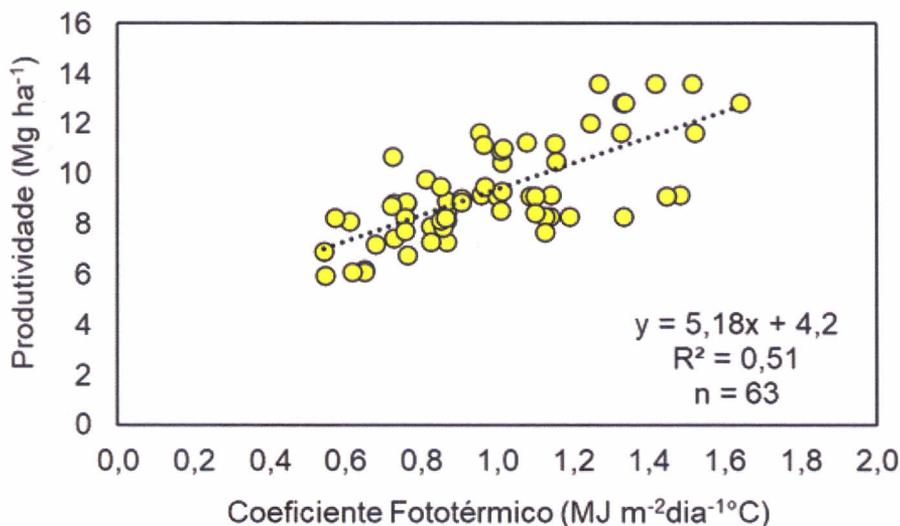


Figura 49. Produtividade de grãos e coeficiente fototérmico (Q) sob níveis de restrição de radiação solar de 0%, 24%, 36% e 43% durante os anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 no Rio Grande do Sul. Fonte: Rossato et al. (2020) - Equipe FieldCrops, UFSM, Irga e Unipampa.

Neste estudo também foi possível quantificar o Q por fase de desenvolvimento para conhecer em qual período a relação entre radiação solar e temperatura é mais importante. Com essa análise, verificou-se que a fase de enchimento de grãos (R4-R9) é mais sensível ao efeito do sombreamento e mais dependente da incidência de radiação solar do que as fases reprodutiva (R1-R4) e vegetativa (EM-R1), respectivamente (Figura 50).

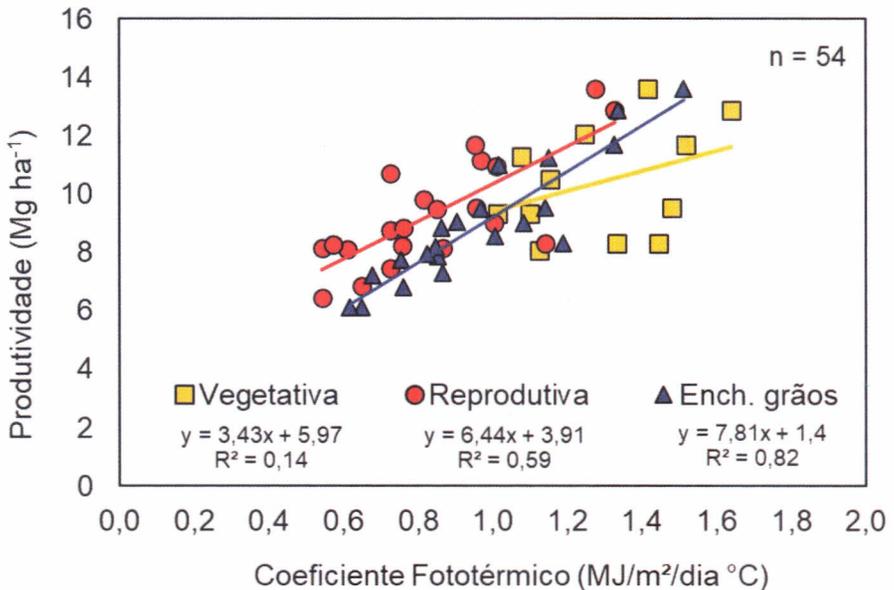


Figura 50. Relação entre a produtividade de grãos de arroz e o coeficiente fototérmico (Q) durante as fases de desenvolvimento Vegetativa, Reprodutiva e Enchimento de grãos sob os níveis de restrição de radiação solar de 0%, 24%, 36% e 43% durante os anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 no Rio Grande do Sul. Fonte: Rossato et al. (2020) - Equipe FieldCrops, UFSM.

2.4. O fenômeno El Niño Oscilação Sul

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos mais importantes eventos que afeta o clima em diferentes regiões do mundo (Espe et al., 2016). De forma geral, é possível considerá-lo como a principal causa da variabilidade do clima a nível de planeta, devido ao seu impacto nos elementos meteorológicos como temperatura, chuva, disponibilidade de radiação solar, dentre outros (Grimm et al., 2000; 2003).

O ciclo do ENOS é determinado por variações na temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico equatorial. O fenômeno é caracterizado por uma fase Neutra e duas fases com anomalias de temperatura da superfície do Oceano Pacífico equatorial, denominadas El Niño e La Niña. A fase Neutra ocorre nos anos em que as águas superficiais do Oceano Pacífico equatori-

al têm temperatura normal. Em períodos de neutralidade, os ventos alísios sopram em direção ao oeste do Pacífico, forçando as águas quentes para o Pacífico Ocidental. Em períodos de El Niño, observa-se uma redução na velocidade dos ventos alísios e um aquecimento anormal das águas superficiais do Pacífico equatorial próximo à costa da América do Sul. Já os períodos de La Niña são caracterizados por um aumento na velocidade dos ventos alísios, resultando em um resfriamento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico equatorial junto à costa da América do Sul. Estas alterações afetam o clima em escala global com impactos diferentes em função da fase do fenômeno e da região do planeta (Araújo et al., 2013).

As relações do ENOS com a disponibilidade de radiação solar e a chuva são visíveis em várias regiões do Brasil. Na região Sul, de maneira geral, o ENOS atua com mais força nas estações de primavera e verão. Dessa forma, quando manifestado um ano de El Niño, as precipitações ocorrem em níveis acima da média observada nos anos de neutralidade, principalmente durante os meses de setembro a dezembro, causando atraso na semeadura das lavouras de arroz no sul do Brasil.

O impacto da atuação do fenômeno ENOS durante o período da primavera pode ser analisado na Figura 51, em que é possível entender a dinâmica de antecipação ou atraso na época de semeadura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul em função do fenômeno ENOS. Analisando a evolução da semeadura, apenas em anos de La Niña foi possível semear 50% da área na primeira quinzena de outubro, época que apresenta o maior potencial de produtividade, pois assim as fases reprodutiva e de enchimento de grãos ocorrem nos meses com maior disponibilidade de radiação solar, que é um fator fundamental para se atingir altas produtividades na cultura do arroz (Nascimento, 2019).

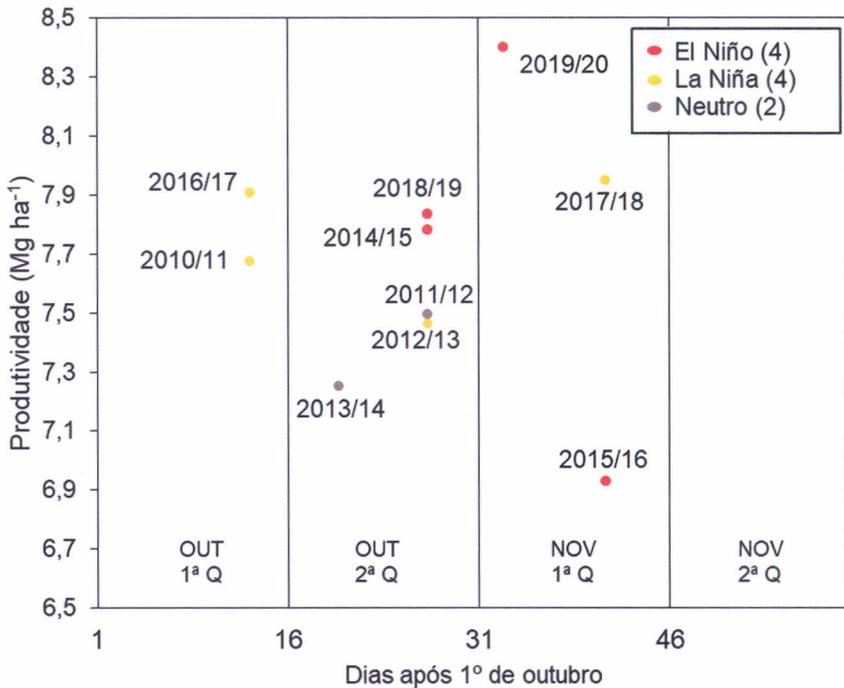


Figura 51. Produtividade de grãos de arroz em função da data em que 50% das lavouras de arroz irrigado foram semeadas durante o período de 2010 a 2018 no Rio Grande do Sul de acordo com a fase do fenômeno ENOS. Fonte: Nascimento (2019) - Equipe FieldCrops, UFSM e Irga.

Um fato que deve ser considerado é a variabilidade existente nos anos de El Niño e La Niña. A Figura 51 ilustra que nem todos os anos de El Niño são prejudiciais para a cultura do arroz no Rio Grande do Sul, como é o caso dos anos agrícolas 2014/15, 2018/19 e 2019/20, em que as produtividades foram em torno de 7,8 Mg ha⁻¹ nos anos agrícolas 2014/15 e 2018/19, e superior a 8,4 Mg ha⁻¹ no ano agrícola 2019/20. Em estudo realizado utilizando o modelo SimulArroz para o estado do RS, os anos de ocorrência de La Niña seriam benéficos em 56% dos casos (Tabela 11). Já para os anos de El Niño foi encontrado que 75% dos anos seriam desfavoráveis para cultura do arroz no Rio Grande do Sul (Nascimento, 2019).

Tabela 11. Porcentagem de anos (%) em que a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul é menor e maior (entre parenteses), em relação a média dos anos neutros em função da fase do ENOS. Fonte: Nascimento (2019) - Equipe FieldCrops, UFSM e Irga.

Fase do ENOS	Grupo de maturação						Média	
	Precoce		Médio		Tardio			
1. Fronteira Oeste								
El Niño	68,75	(31,25)	62,50	(37,50)	62,50	(37,50)	62,50	(37,50)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	62,50	(37,50)	87,50	(12,50)	81,25	(18,75)	75,00	(25,00)
2. Campanha								
El Niño	62,50	(37,50)	75,00	(25,00)	81,25	(18,75)	81,25	(18,75)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	50,00	(50,00)	43,75	(56,25)	62,50	(37,50)	43,75	(56,25)
3. Região Central								
El Niño	43,75	(56,25)	56,25	(43,75)	50,00	(50,00)	43,75	(56,25)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	25,00	(75,00)	37,50	(62,50)	31,25	(68,75)	31,25	(68,75)
4. Pl. Cost. Interna								
El Niño	75,00	(25,00)	62,50	(37,50)	68,75	(31,25)	62,50	(37,50)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	43,75	(56,25)	50,00	(50,00)	43,75	(56,25)	43,75	(56,25)
5. Pl. Cost. Externa								
El Niño	93,75	(6,25)	68,75	(31,25)	62,50	(37,50)	75,00	(25,00)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	37,50	(62,50)	56,25	(43,75)	50,00	(50,00)	43,75	(56,25)
6. Zona Sul								
El Niño	68,75	(31,25)	62,50	(37,50)	75,00	(25,00)	62,50	(37,50)
El Niño muito forte*	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
La Niña	31,25	(68,75)	43,75	(56,25)	56,25	(43,75)	50,00	(50,00)

* Eventos de 1982/83, 1997/98 e 2015/16.

Avaliando a influência do ENOS na produtividade da cultura ao longo das regiões orizícolas do RS nos anos agrícolas 2015/16 (El Niño muito forte) e 2016/17 (La Niña fraca) utilizando o modelo SimulArroz (Figura 52), foi possível observar que nos dois anos as maiores produtividades ocorreram nas semeaduras antecipadas (15/09 e 15/10) em comparação com as semeaduras tardias (15/11 e 15/12).

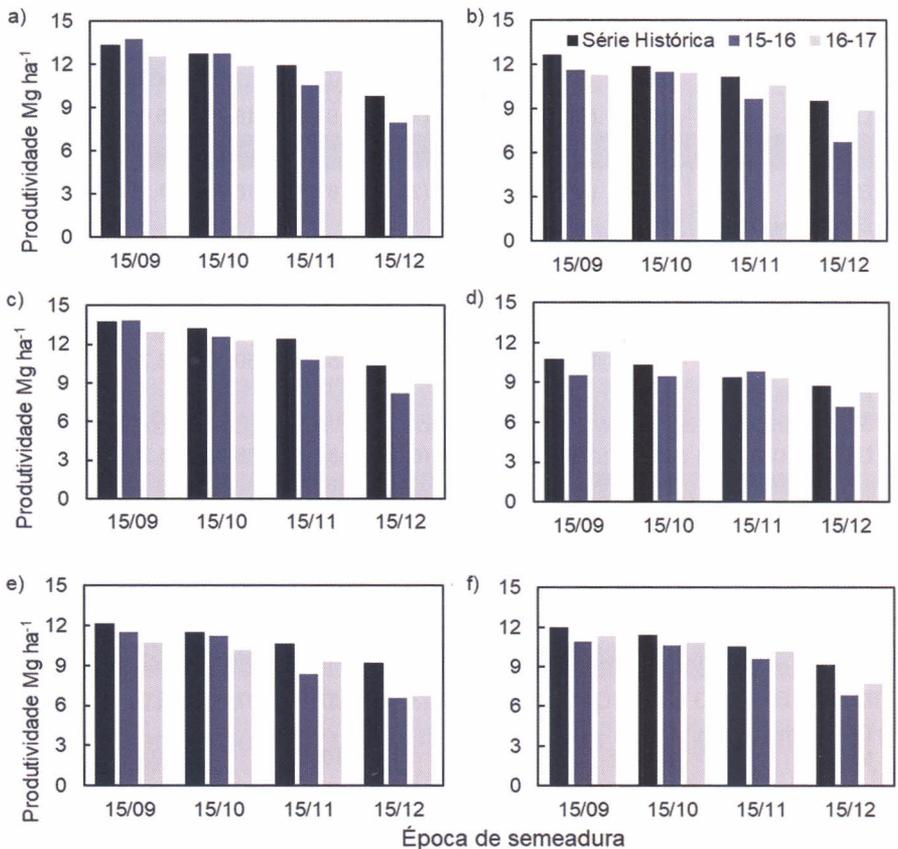


Figura 52. Produtividade de grãos de arroz de cultivares de ciclo médio simulado com o modelo SimulArroz nos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/17 e para a média climatológica de 30 anos nas seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul: Campanha (a), Região Central (b), Fronteira Oeste (c), Planície Costeira Externa (d), Planície Costeira Interna (e), Zona Sul (f). Fonte: Rossato et al. (2018) - Equipe FieldCrops e UFSM.

De maneira geral, no ano de El Niño a produtividade foi maior do que no ano de La Niña nas sementeiras antecipadas. Isso ocorreu devido ao posicionamento dos momentos de maior disponibilidade de radiação solar com as fases de maior exigência das plantas: no ano de El Niño estudado, o pico de radiação solar (que na média climatológica acontece no mês de dezembro) ocorreu entre janeiro e fevereiro. Conseqüentemente, a redução de produtividade foi menor com o atraso da sementeira no ano agrícola 2016/17 (Tabela 12).

Tabela 12. Redução da produtividade de grãos de arroz em relação ao atraso da época de sementeira nas regiões orizícolas do estado do Rio Grande do Sul nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17. Fonte: Rossato et al. (2018) - Equipe FieldCrops e UFSM.

Região orizícola	Redução da produtividade com o atraso da época de sementeira ($\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$)*	
	2015/16	2016/17
Campanha	65,2	41,6
Região Central	54,8	26,7
Fronteira Oeste	63,0	44,3
Planície Costeira Externa	22,1	35,6
Planície Costeira Interna	58,8	42,7
Zona Sul	44,4	38,8
Média	51,4	38,3

* Redução da produtividade de grãos da sementeira realizada no dia 15/09 para a sementeira realizada no dia 15/12.

Nos meses de verão, o fenômeno El Niño pode ocasionar períodos de menor disponibilidade de radiação solar na região Sul do Brasil, e acontecendo isso, haverá diminuição do número de espiguetas por panícula e, conseqüentemente, de grãos. O

fenômeno La Niña causa diminuição das chuvas na região Sul e, dessa forma, há menor cobertura de nuvens, resultando em maior disponibilidade de radiação solar na fase de enchimento de grãos.

2.5. Mudança climática e a cultura do arroz

O aquecimento global e as mudanças climáticas associadas têm sido tema de debate no meio científico nas últimas décadas, visando identificar possíveis efeitos antropogênicos e as causas naturais que afetam o clima terrestre. Enquanto forçantes naturais internas e externas vem causando ciclos de aquecimento e esfriamento da atmosfera terrestre nos últimos milênios, a partir da revolução industrial (século XVIII) o aumento da concentração de CO₂ atmosférico é positivamente correlacionado com o aumento de temperatura global no século XX e nas primeiras décadas do século XXI (IPCC, 2013). Eventos meteorológicos extremos como a maior frequência de chuvas intensas e ondas de calor e de falta de chuva prolongadas são apontadas como possíveis impactos de mudanças do clima.

Os principais gases de efeito estufa responsáveis pela possível mudança climática são o dióxido de carbono, óxido nitroso e o metano. Dentre estes, o dióxido de carbono é o que está em maior concentração na atmosfera terrestre e é o substrato primário para a fotossíntese nas comunidades vegetais do planeta. Na tentativa de entender o impacto das mudanças do clima na produção de alimentos, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). Esse painel tem a função de divulgar relatórios sobre mudança climática, apontando suas causas e efeitos no planeta. Além disso, nesse relatório são divulgados os cenários climáticos futuros para o planeta em função dos cenários de emissão

de gases do efeito estufa. No quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013) são apresentados quatro cenários climáticos futuros até o final do século XXI, denominados caminhos de concentração de gases de efeito estufa até o ano 2100, de sigla em inglês RCP (*Representative Concentration Pathways*). Os cenários RCP são 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 $W m^{-2}$. Os números de cada cenário identificam o quanto de energia é retido na atmosfera pelas diferentes concentrações de gases do efeito estufa em cada cenário e que levam ao aumento da temperatura global em cada cenário climático até o ano 2100.

Para os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5 as projeções mostram que a concentração de CO_2 não deverá passar dos 450 e 550 partes por milhão (ppm), respectivamente (Thomson et al., 2011; Van Vuuren et al., 2011). Nesses cenários, haveria uma conscientização das autoridades, realizando práticas que diminuíssem as emissões de forma considerável até a metade desse século. Já para o cenário RCP 8.5 não haveria uma conscientização e as emissões de CO_2 continuariam a aumentar até o final do século. Já a temperatura global também se elevaria de acordo com cada cenário. Por exemplo, no cenário RCP 2.6 a temperatura global teria um acréscimo de em torno de 1 °C, e no cenário RCP 4.5 o acréscimo seria aproximadamente 2 °C. Já no cenário mais pessimista (RCP 8.5) o aumento seria superior a 3,5 °C, podendo chegar a 5 °C.

Na região Sul do Brasil as projeções futuras mostram uma tendência de maiores volumes de chuva, o que pode trazer como consequência maior frequência de alagamentos e enchentes, principalmente em áreas próximas aos rios. Porém, mesmo que as chuvas nesta região tenham uma tendência de aumento, não é garantia que não teremos anos de seca (Pinheiro et al., 2013), como ocorreu nos anos agrícolas 2004/2005 e 2019/2020, anos de forte seca no Rio Grande do Sul, Uruguai e parte da Argentina.

Para as temperaturas, em geral, podemos ter um acréscimo principalmente nas temperaturas mínimas, com noites mais quentes, invernos menos intensos e ondas de calor mais frequentes e rigorosas no verão principalmente. Essas projeções com tendências de aumento da chuva juntamente com o aumento da temperatura elevam a evaporação e a evapotranspiração dos cultivos, o que implica em maior necessidade de água para a agricultura.

Com o aumento da concentração de CO_2 podemos ter um efeito direto positivo no crescimento das plantas, pois o CO_2 é o substrato para a fotossíntese. O arroz é uma planta C3, que se beneficia mais com o aumento da concentração de CO_2 atmosférico do que as plantas C4. No entanto, se o aumento de temperatura vier acompanhado do aumento do CO_2 nos cenários climáticos futuros, poderá haver diminuição dos benefícios fisiológicos do CO_2 pelo aumento da respiração e encurtamento do ciclo.

Em estudo inédito da Equipe FieldCrops sobre o impacto de cenários climáticos futuros na cultura do arroz no Rio Grande do Sul, considerando a atual genética e manejo das lavouras de arroz nas seis regiões orizícolas do IRGA, há potencial de aumento da produtividade de grãos na maior parte das regiões com exceção da Fronteira Oeste (Figura 53) (Walter et al., 2014). Atualmente, as maiores produtividades do estado estão nessa região, no entanto, em cenários climáticos futuros pode aumentar a esterilidade de espiguetas devido às altas temperaturas diurnas (Walter et al., 2014).

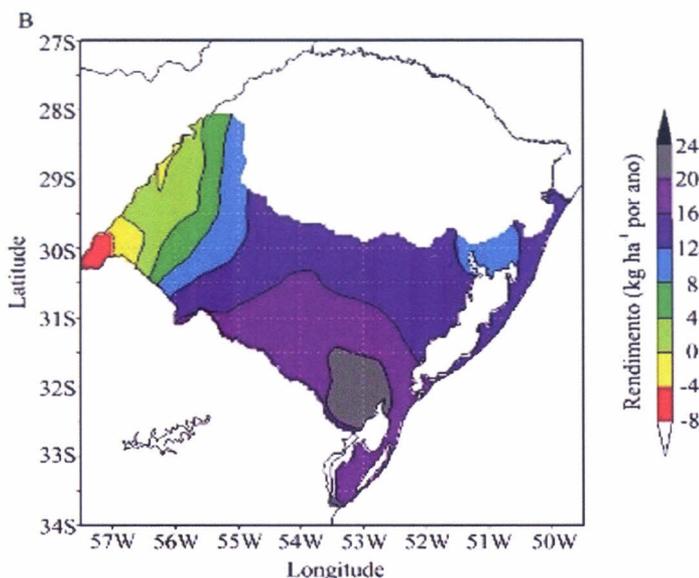


Figura 53. Tendência anual de alteração na produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul para o período de 1960 a 2099 projetada no cenário climático A1B (Solomon, 2007). Fonte: Walter et al. (2014) - Equipe FieldCrops e UFSM.

Durante o século XXI as projeções indicam que regiões mais ao sul do Rio Grande do Sul e Uruguai passariam a ter um maior incremento de produtividade por ano (Figura 54). Já na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Nordeste da Argentina e Paraguai poderemos ter um decréscimo na produtividade até o final do século XXI (Walter et al., 2014). Os resultados indicam também que, com o aumento na temperatura ao longo do século XXI, a janela para a semeadura poderá ser ampliada. Por exemplo, meses atualmente não recomendados para a semeadura devido às baixas temperaturas poderão se tornar favoráveis a implantação do cultivo de arroz, tanto em agosto como nos meses de outono.

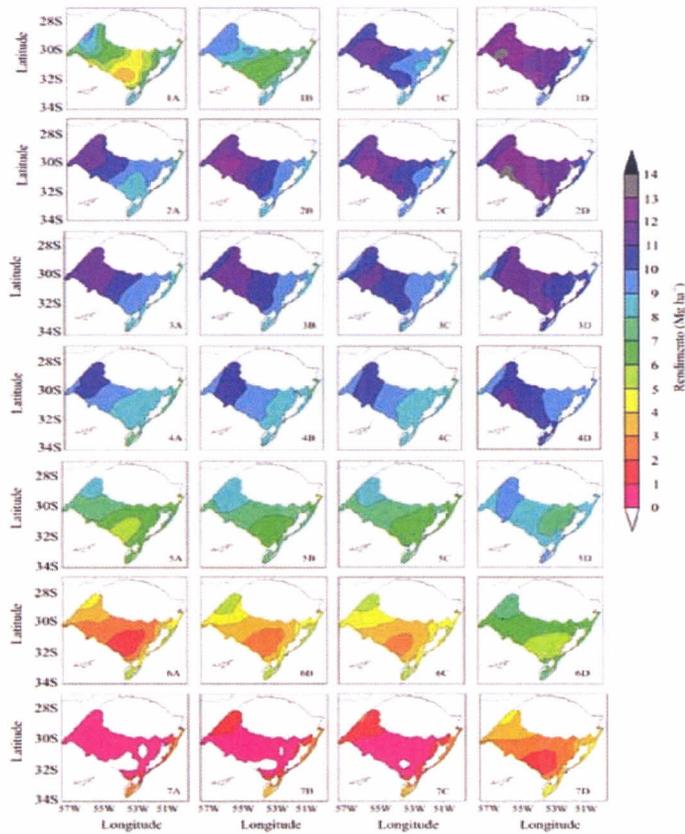


Figura 54. Produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul em função da época de semeadura no primeiro dia de agosto (1), setembro (2), outubro (3), novembro (4), dezembro (5), janeiro (6) e fevereiro (7), nos períodos 1960–1994 (A), 1995–2029 (B), 2030–2064 (C) e 2065–2099 (D), projetada para o cenário climático A1B (Solomon, 2007). Fonte: Walter et al. (2014) - Equipe FieldCrops e UFSM.

Nas regiões tropicais, as mudanças poderão ser ainda maiores. Estudos indicam que impactos negativos na produção de arroz já podem ocorrer na década de 2030 na Ásia, principalmente devido ao aumento das temperaturas, que aumentam o gasto energético da planta com respiração (Masutomi et al., 2009). Esses resultados são sinalizadores para a busca de estratégias de manejo e para o melhoramento de futuras cultivares mais adaptadas para altas temperaturas.

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 Agronômica**, 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.; SARAVIA, 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.; SARAVIA, 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. **Acompanha-
mento 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 (⁶⁵Zn) 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-CNPAC, 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. FARÍAS, 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-CNPAC, 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 Asia in 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 emt: 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 vírus 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.fcr.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. (Miscellany 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 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>.