

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ÍNDICE DE COLHEITA DE ARROZ DE
TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Lorenzo Dalcin Meus

**Itaqui, RS, Brasil
2017**

LORENZO DALCIN MEUS

**ÍNDICE DE COLHEITA DE ARROZ DE TERRAS BAIXAS
IRRIGADO POR ASPERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Cleber Maus Alberto

Itaqui, RS, Brasil
2017

MEUS, Lorenzo Dalcin.

Índice de colheita de arroz de terras baixas irrigado por aspersão
/ Lorenzo Dalcin Meus. 2017.

Número de folhas : 30 ; tamanho (30 cm)

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia)
Universidade Federal do Pampa, 2017. Orientação: Cleber
Maus Alberto.

1. *Oriza sativa*. 2. Eficiência do uso da água. 3. Indicador
ecofisiológico. I. Alberto, Cleber Maus. II. Índice de colheita de
arroz de terras baixas irrigado por aspersão.

LORENZO DALCIN MEUS

**ÍNDICE DE COLHEITA DE ARROZ DE TERRAS BAIXAS
IRRIGADO POR ASPERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal do
Pampa (UNIPAMPA), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado no dia __/__/_____.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Alencar Junior Zanon
Curso de Agronomia - UFSM

Prof. Dr. Anderson Weber
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Paulo e Edriane, meu irmão Vinícius e meus avôs Mateus e Elena, tios e tias por servirem como modelo e base para mim.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Água e Solos (GEAS), Alex, Cássio, Gabriel, Gentil, Felipe Schmidt e Martina que auxiliaram na condução dos experimentos que resultaram nesse TCC.

Ao professor Cleber pela orientação desde o primeiro ano de faculdade, agradeço pelo companheirismo, desafios impostos e oportunidades, que propiciaram meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, e pela amizade que formamos nesse período.

Ao professor Alencar pela confiança logo na sua chegada em Itaqui, e oportunidades dadas, que foram de fundamental importância para meu crescimento e abertura de visão.

Ao professor Anderson Weber pelo aceite do convite para essa banca de TCC.

Aos colegas que me acompanharam desde o primeiro semestre, Cássio, Gabriel, João Carrício, João Vitor, Mateus e Mariana, pela parceria nos estudos, trabalhos e provas, pelos momentos de descontração, festas, histórias e amizades que serão levadas por muitos anos.

Aos meus amigos, Alexandre, Felipe Schopf, Gerisson, Flávia e Pamela, pelo companheirismo.

EPÍGRAFE

“Nada necessita tanto de mudança quanto os hábitos das outras pessoas
Fanáticos nunca aprenderão isso, mesmo que seja escrito em letras de ouro pelo céu”

Mark Twain

RESUMO

ÍNDICE DE COLHEITA DE ARROZ DE TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO

Autor: Lorenzo Dalcin Meus

Orientador: Cleber Maus Alberto

Itaqui, 30 de novembro de 2017.

O Índice de colheita (IC) é a mensuração da eficiência da planta na partição dos fotoassimilados. Um incremento no IC significa um aumento na porção economicamente importante da planta. O objetivo desse trabalho foi quantificar o índice de colheita de cultivares de arroz de terras baixas em diferentes lâminas de irrigação por aspersão. Foram conduzidos três experimentos na área experimental da Universidade Federal do Pampa - Campus Itaqui, nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. No ano agrícola 2014/2015 os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (XP 102, IRGA 428 e IRGA 429), em cinco lâminas de irrigação por aspersão, 0%, 50%, 100% e 150% e 200% da evapotranspiração da cultura (ETc), com quatro repetições. No ano agrícola 2015/2016 os tratamentos foram compostos de quatro cultivares de arroz de terras baixas (BR IRGA 409, IRGA 428 e Puitá INTA CL e IRGA 424), cinco lâminas de irrigação por aspersão, 0%, 50%, 100%, 150% e 200% da ETc, com quatro repetições. No ano agrícola 2016/2017 foi utilizada a cultivar IRGA 424 RI, submetida à cinco lâminas de irrigação de aspersão, 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da ETc. As determinações de massa seca da parte aérea (MSPA) e produção de grãos foram realizadas quando as plantas atingiram R9. O índice de colheita foi calculado através da equação, $IC = \text{produção de grãos} / \text{massa seca total da parte aérea}$, com resultado final expresso em kg kg^{-1} . A ANOVA foi realizada no software SISVAR e as análises estatísticas e gráficos foram realizados no software SIGMAPLOT 10.0. Os maiores dados de MSPA e produção de grãos foram encontrados no ano agrícola 2014/2015. O ano 2015/2016 foi prejudicado devido ao fenômeno El niño de intensidade forte ocorrido no período de cultivo. Nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 o tratamento sem irrigação não

completou seu ciclo, portanto o IC foi 0, isso resultou na substituição desse tratamento para a lâmina de 250% da ETc no ano agrícola 2016/2017 esse tratamento foi substituído pela lâmina de irrigação de 250%. Na maior parte dos tratamentos o IC apresentou crescimento logístico, porém no ano agrícola 2015/2016 duas cultivares apresentaram curva de resposta quadrática em função da lâmina de irrigação. Lâminas de irrigação superiores a 100% da ETc foram suficientes para alcançar valores de IC superiores a 0,50, porém quando as plantas foram submetidas a estresse hídrico o valor de IC foi menor. O maior IC encontrado foi de 0,56, valor similar aos mais elevados valores encontrados na literatura.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, eficiência do uso da água, indicador ecofisiológico

ABSTRACT

HARVEST INDEX OF LOWLAND RICE IRRIGATED BY SPRINKLING

Author: Lorenzo Dalcin Meus

Advisor: Cleber Maus Alberto

Data: Itaquí, November 30, 2017.

Harvest Index (HI) is the measurement of the plant efficiency in the photoassimilates division. An increase in the HI means an increase in the economically important portion of the plant. The objective of this study was to quantify the Harvest Index of lowland rice cultivars in different irrigation layers by sprinkling. Three experiments were conducted at the experimental area of the Universidade Federal do Pampa – Campus Itaquí, in the 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017 growing seasons. In the 2014/2015 growing season, the treatments were composed by three lowland rice cultivars (XP 102, IRGA 428 and IRGA 429), under five irrigation layers by sprinkling, 0%, 50%, 100% e 150% and 200% crop evapotranspiration (ET_c), with four repetitions. In the 2015/2016 growing season, the treatments were composed by four lowland rice cultivars (BR IRGA 409, IRGA 428 e Puitá INTA CL and IRGA 424), five irrigation layers by sprinkling, 0%, 50%, 100% e 150% e 200% of the ET_c, with four repetitions. In the 2016/2017 growing season, the cultivar used was the IRGA 424 RI, submitted to five irrigation layers by sprinkling, 50%, 100%, 150%, 200% e 250% of the (ET_c), with four repetitions. The above ground dry mass (AGDM) and grain yield measurements were performed when the plants reached R9. The harvest index was calculated according to the following equation, $HI = \text{Harvest index} / \text{above ground dry mass}$, with the final result expressed in kg kg^{-1} . The ANOVA was performed by the software SISVAR, and the statistical analyzes and graphs were performed by the software SIGMAPLOT 10.0. The 2014/2015 growing season recorded the highest values of AGDM and grain yield. However, the 2015/2016 growing season were injured due to a record El niño that occurred during this growing season. In the 2014/2015 and 2015/2016 growing seasons, the treatment without irrigation did not complete its cycle, so its HI was 0, this resulted in the substitution of this treatment for the 250% ET_c irrigation layer in the

2016/2017 growing season. In most treatments, the HI presented a logistic growth, but, in the 2015/2016 growing season, two cultivars showed a quadratic response curve as a function of the irrigation layer. Irrigation layers above 100% of the ETc were enough to reach HI greater than 0,50. However, the plants submitted to water stress showed a lower HI value. The highest HI value reached was 0,56. This value is similar to the highest values found in the literature.

Keywords: *Oryza sativa*, water use efficiency, ecofisiological indicator

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) na lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura, no período emergência - colheita dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c)..... 18.
- Figura 2: Regressão sigmoidal para a determinação do índice de colheita de arroz de terras baixas em lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2014/2015..... 20.
- Figura 3: Índice de colheita para cultivares de arroz de terras baixas (a) IRGA 424, (b) Puitá INTA CL, (c) BR IRGA 409 e (d) IRGA 428 em função de lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2015/2016..... 21.
- Figura 4: Índice de colheita de arroz de terras baixas, cultivar IRGA 424 RI, em lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2016/2017..... 23.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Densidade de fluxo de radiação solar global média diária ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) durante o período de 17/11 a 12/04 no ano agrícola 2014/2015, 01/12 a 14/04 no ano agrícola 2015/2016 e 05/10 a 28/02 no ano agrícola 2016/2017.
..... 19.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo geral	15
1.2 Objetivos específicos:	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

Com o elevado crescimento populacional e aumento na demanda por alimentos, a agricultura mundial tem dois objetivos principais no século XXI, aumentar a produção de grãos e ao mesmo tempo aumentar a eficiência no uso de água, num cenário de escassez hídrica, diminuição das áreas agricultáveis e mudanças climáticas (LI et al., 2015; MORENO-JIMÉNEZ et al., 2014; YANG & ZHANG, 2010). Nesse cenário, a pesquisa por manejos alternativos para a produção de arroz (*Oryza sativa* L.), tem papel fundamental na segurança alimentar.

O arroz é o principal alimento para mais da metade da população mundial (LI et al., 2015). É o segundo cereal mais cultivado no mundo, com produção de cerca de 760 milhões de toneladas, e é a cultura que mais apresenta potencial de aumento de produção (FAO, 2009; FAO 2016). O Brasil é o maior produtor de arroz fora do continente asiático e o estado do Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% do arroz produzido no Brasil (SOSBAI, 2016).

A maior parte do arroz cultivado no mundo utiliza o sistema de irrigação por inundação, no qual a lâmina d'água é mantida na superfície do solo durante cerca de 3/4 do ciclo de cultivo (SOSBAI, 2016). Esse sistema possui baixa eficiência do uso da água devido às perdas de água nos canais de irrigação e na lavoura por evaporação, fluxo lateral e percolação profunda (XUE et al., 2006; VORIES et al., 2017), além de apresentar alto custo de implantação devido a sistematização do terreno e construção de taipas (ALBUQUERQUE, 2008). Portanto, buscam-se sistemas alternativos de cultivo que aliem altas produtividades de grão com menor impacto ambiental, custo e uso de água.

A irrigação por aspersão no cultivo de arroz de terras baixas vem aumentando na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul (PINTO et al., 2016). Neste sistema a lâmina d'água é retirada da superfície do solo e a irrigação é realizada apenas para suprir as necessidades hídricas da planta. O sistema é uma alternativa para redução do custo de produção e uso de água (BARTZ et al., 2017), adoção da rotação de culturas e plantio direto (BOSCO et al., 2009) e possibilidade de uso de áreas declivosas e com classes de solo que antes não eram favoráveis para o cultivo de arroz irrigado, possibilitando a inserção do

arroz de terras baixas como rotação de cultura no sistema de plantio direto, visando o manejo conservacionista (BERNARDO, 2008).

As cultivares de arroz de terras baixas são originalmente produzidas em solos alagados, porém crescem satisfatoriamente quando não há restrição de umidade no solo, sem a necessidade de haver a presença de lâmina de água (BOSCO et al., 2009). Entretanto, ainda necessitam ser realizados estudos sobre as alterações fisiológicas e produtivas na cultura decorrentes da retirada da lâmina d'água, dentre essas possíveis alterações, cita-se o índice de colheita (BOSCO et al., 2009).

O índice de colheita (IC) pode ser definido como a eficiência do transporte de fotoassimilados para os grãos (SINCLAIR, 1998). Este índice é variável conforme manejo da cultura, fatores ambientais, disponibilidade hídrica e genótipo estudado, onde o maior IC indica maior eficiência do genótipo no ambiente estudado (YANG & ZHANG, 2010). Portanto, quanto maior o sucesso no aumento do índice de colheita, maior será a eficiência produtiva.

Também, segundo Yang & Zhang, (2006), o IC está intimamente relacionado com a eficiência no uso da água, portanto, determinar as melhores condições de cultivo, onde a planta expresse o seu potencial produtivo, usando o mínimo de recursos é o desafio para produtores, técnicos e pesquisadores desse século.

1.1 Objetivo geral

- Quantificar o índice de colheita de cultivares de arroz de terras baixas em diferentes lâminas de irrigação por aspersão.

1.2 Objetivos específicos:

- Testar a adaptabilidade de cultivares de arroz de terras baixas irrigados por aspersão.

- Quantificar diferenças no crescimento de cultivares de arroz irrigado sob diferentes níveis de estresse hídrico.

- Equacionar o índice de colheita de arroz de terras baixas em diferentes lâminas de irrigação por aspersão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em Itaqui, na área experimental da Universidade Federal do Pampa (Latitude 29°09'21.68" S; Longitude 56°33'02.58" W; altitude de 74 m), no município de Itaqui situado na Fronteira-Oeste do Rio Grande do Sul. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical sem estação seca definida. O solo da região é classificado como Plintossolo Háplico (EMBRAPA, 2013).

Foram conduzidos três experimentos, nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, o delineamento utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, e blocos ao acaso no ano agrícola 2016/2017.

No primeiro ano (2014/2015) os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (XP 102, IRGA 428 e IRGA 429), em cinco lâminas de irrigação por aspersão (0%, 50%, 100% e 150% e 200% da evapotranspiração da cultura ET_c), com quatro repetições. No segundo ano (2015/2016) os tratamentos foram compostos de quatro cultivares de arroz de terras baixas (BR IRGA 409, IRGA 428 e Puitá INTA CL e IRGA 424), cinco lâminas de irrigação por aspersão (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da ET_c), com quatro repetições.

No terceiro experimento foi introduzida a lâmina de irrigação de 250% ET_c e retirado o tratamento sem irrigação, a proposta foi de testar se há incremento na produção de grãos com o aumento na lâmina irrigada. A retirada do tratamento sem irrigação não prejudicou os resultados do experimento pois a mesma já havia sido testada em dois anos, não alcançando a maturidade fisiológica em ambos os experimentos. Para o ano agrícola 2016/2017 foi utilizada a cultivar IRGA 424 CL, com cinco lâminas de irrigação por aspersão (50%, 100%, 150%, 200% e 250% da ET_c) e quatro repetições.

As semeaduras foram realizadas no sistema de plantio direto nos dias 17 de novembro de 2014, 25 de novembro de 2015 e 4 de outubro de 2016. Nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 cada subparcela experimental foi

composta de dezoito linhas espaçadas em 0,17 m e cinco metros de comprimento, totalizando área de 15,3 m². No ano agrícola 2016/2017 a parcela consistiu de 54 linhas de semeadura espaçadas em 0,17 m e cinco metros de comprimento, totalizando área de 45,9 m². A densidade de semeadura foi de 100 kg ha⁻¹ (350 sementes m⁻²) para as cultivares IRGA 424, IRGA 428, IRGA 429, BR IRGA 409 e Puitá INTA CL e, 50 kg ha⁻¹ (175 sementes m⁻²) para a cultivar XP 102 CL, que é híbrida, o que explica a baixa densidade de semeadura.

A necessidade de irrigação foi determinada a partir da evapotranspiração da cultura (ET_c), multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (K_c). A ET_o foi estimada através da equação de Penman-Montheith (ALLEN et al., 1998) a partir de dados de temperatura, umidade relativa do ar, vento e radiação solar obtidos da estação meteorológica automática situada a 200 m do local de cultivo. Os valores de coeficiente de cultura (K_c), foram de 1,05 até 20 dias após a emergência (DAE), de 1,125 de 21 até 40 DAE, de 1,2 de 41 até 95 DAE, e de 0,9 a partir dos 96 DAE (ALLEN et al., 1998).

A adubação foi realizada de acordo com a recomendação para a cultura de arroz segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), com estimativa de produção de 12 Mg ha⁻¹ e o pH da área foi corrigido para 6,0. O manejo fitossanitário foi realizado sempre que necessário durante o ciclo da cultura, a fim de minimizar os danos causados por pragas e doenças de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil para a cultura de arroz (SOSBAI, 2016).

As amostras para a determinação da produção de grãos e massa seca de parte aérea (MSPA) foram obtidas com duas amostragens de 0,25 m², por subparcela, totalizando 0,5 m², quando as plantas estavam em R9 (COUNCE et al., 2000). Entende-se por MSPA todo material vegetal acima do solo, incluindo colmos, folhas, folhas senescentes e grãos (PARANHOS et al., 1992). Após a coleta as amostras foram levadas para laboratório, onde os grãos posteriormente foram secos em estufa até umidade de 13%, e a MSPA foi obtida em estufa de ventilação forçada a 65° C por 72 horas. Após a secagem as amostras foram pesadas em balança de precisão.

O índice de colheita foi calculado através da equação, IC = produção de grãos/massa seca total da parte aérea, com resultado final expresso em kg kg⁻¹. Após, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no software de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2014), e foram ajustadas equações não lineares no software SIGMAPLOT 10.0. Como tomada de decisão para a utilização do formato de equação a ser utilizado, a mesma deveria ter ao menos dois parâmetros significativos estatisticamente com probabilidade de erro inferior a 5% e apresentar R² superior a 0,85.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis meteorológicas

As plantas foram submetidas a condições meteorológicas distintas nos três anos agrícolas em que foram realizados os experimentos. Isso é um fato positivo, pois segundo Streck et al. (2005), para atestar a eficiência de um estudo de crescimento e desenvolvimento vegetal é importante a exposição dos tratamentos a distintas condições meteorológicas.

Durante o período de cultivo do ano agrícola 2014/2015 foi registrada precipitação pluviométrica de 760,2 mm, valor semelhante as normais climatológicas, que são de cerca de 700 mm durante o período que o arroz foi cultivado (WREGE et al., 2011). No período vegetativo da cultura ocorreram precipitações frequentes (Figura 1). Porém, durante o período reprodutivo da cultura, houve diminuição na precipitação pluviométrica, onde foram registrados 21 eventos de precipitação, acumulando 185,6 mm, valor esse inferior aos 574,8 mm acumulados no período vegetativo da cultura. Além disso foram realizadas 19 irrigações, totalizando 300,3 mm no tratamento de 100% da ETc.

No ano agrícola 2015/2016 ocorreram 29 eventos de precipitação pluviométrica, totalizando 1253,8 mm (Figura 1b), além da precipitação foram realizadas 15 irrigações, totalizando 193,9 mm no tratamento de 100% da ETc. Embora a precipitação pluviométrica tenha sido superior à média climatológica, as chuvas ocorreram de forma irregular durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, concentrando-se no início do ciclo de cultivo.

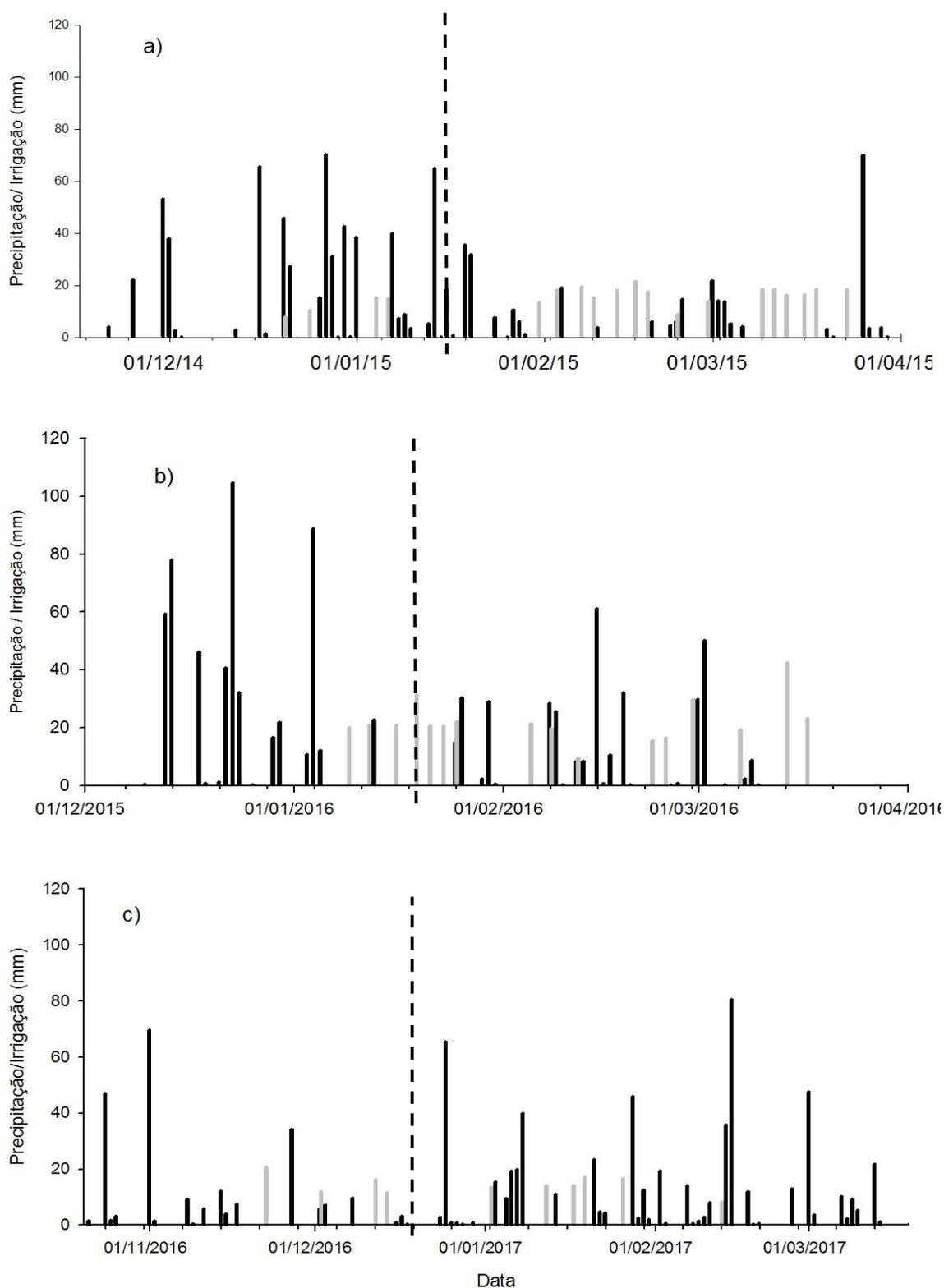


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) na lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura, no período emergência - colheita dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). As barras pretas e cinzas representam a precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm), respectivamente. A linha pontilhada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil.

No ano agrícola 2016/2017 ocorreram 54 dias com precipitação pluviométrica, totalizando 802,8 mm, valor similar a média climatológica para o local (Figura 1c). Foram realizadas 10 irrigações, totalizando 144,4 mm. As chuvas foram bem distribuídas e com volume adequado para suprir a necessidade de água, minimizando o efeito das lâminas de irrigação.

Durante o ciclo de desenvolvimento do arroz a maior disponibilidade de radiação solar aconteceu no ano agrícola 2014/2015, seguido do ano agrícola 2016/2017 (Tabela 1). A menor disponibilidade de radiação solar ocorrida no ano agrícola 2015/2016 pode ser explicada devido ao evento de El Niño forte registrado no período, já os anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 foram anos neutros (NOAA, 2017).

Tabela 1 – Densidade de fluxo de radiação solar global média diária ($\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) durante o período de 17/11 a 12/04 no ano agrícola 2014/2015, 01/12 a 14/04 no ano agrícola 2015/2016 e 05/10 a 28/02 no ano agrícola 2016/2017. Itaqui, RS, Brasil.

Ano agrícola	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Média*
2014/2015	-	572,4	505,8	481,9	502,9	462,9	426,4	491,4
2015/2016	-	-	446,1	536,1	456,0	384,0	186,7	437,9
2016/2017	410,7	548,8	481,0	488,9	476,7	-	-	481,8

*Média de radiação solar ($\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) durante os dias de cultivo da cultura nos respectivos anos agrícolas.

3.2 Índice de colheita

Foi ajustado por meio de regressão uma equação sigmoideal para o ano agrícola 2014/2015 com base nos valores observados (Figura 2), a equação apresenta $R^2=0,94$, o que demonstra alta correlação entre os valores observados e simulados.

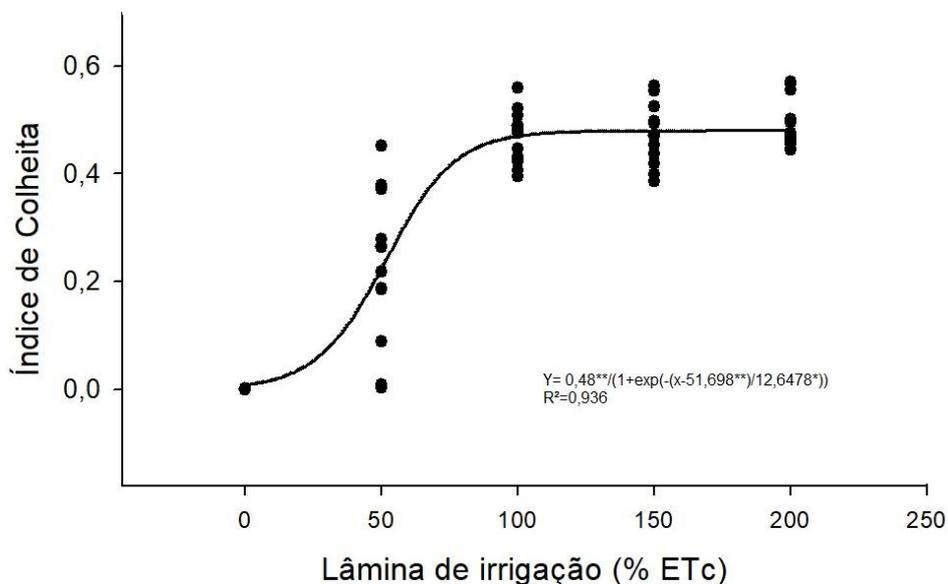


Figura 2 – Regressão sigmoideal para a determinação do índice de colheita de arroz de terras baixas em lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2014/2015. Itaqui, RS, Brasil, 2017. Os coeficientes seguidos de * e ** são significativos a 5% e 1%, respectivamente.

A produção de MSPA e grãos no ano agrícola 2014/2015 foi maior à medida que houve aumento na lâmina de irrigação, onde foram encontradas produtividades de até 12,2 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Nos tratamentos onde não houve estresse hídrico (100%, 150% e 200% da ETc) a produção de MSPA foi superior a 20 Mg ha⁻¹ e a produção de grãos variou de 8,8 a 12,2 Mg ha⁻¹. A alta disponibilidade de radiação solar no período reprodutivo da cultura, além do bom controle de plantas daninhas contribuíram para que as plantas pudessem alcançar altas produtividades.

No tratamento de 50% da ETc foram encontrados as maiores variações de IC. A MSPA variou de 12,1 a 14,2 Mg ha⁻¹ e a produção de grãos variou de 1,8 a 4,1 Mg ha⁻¹. A grande variação encontrada pode ser explicada pela heterogeneidade do solo, que é maior em ambientes anaeróbicos. Pinto et al. (2016) e Bamberg et al. (2009) afirmam que a inundação do solo torna os aspectos químicos, físicos e hídricos mais homogêneos, e que isso não ocorre em ambiente de cultivo de arroz aeróbico. Assim, o crescimento e desenvolvimento das plantas são prejudicados devido às condições desfavoráveis que ocorrem nos solos hidromórficos.

O tratamento sem irrigação não produziu grãos, porém produziu de 9,9 a 10,2 Mg ha⁻¹ de MSPA, isso ocorreu devido a irregularidade na precipitação

pluviométrica durante o período reprodutivo o tratamento não produziu grãos. A água é essencial ao processo de formação de grãos, pois atua em diversos mecanismos da planta, dentre os quais a fotossíntese, e dependendo da sua disponibilidade limita o processo e a quantidade de fotoassimilados exportados das folhas (TAIZ & ZEIGER, 2009).

No ano agrícola 2014/2015, o IC estabilizou a partir do tratamento de irrigação de 100% da ETc (Figura 2), porém no ano agrícola 2015/2016 diferentes cultivares tiveram crescimento diferente nas diferentes lâminas de irrigação (Figura 3). Houve interação significativa entre cultivar e lâminas de irrigação, portanto foram ajustadas regressões específicas para cada cultivar, sendo duas quadráticas e duas sigmoidais, para as cultivares Puitá INTA CL e IRGA 424, e BR IRGA 409 e IRGA 428, respectivamente (Figura 3).

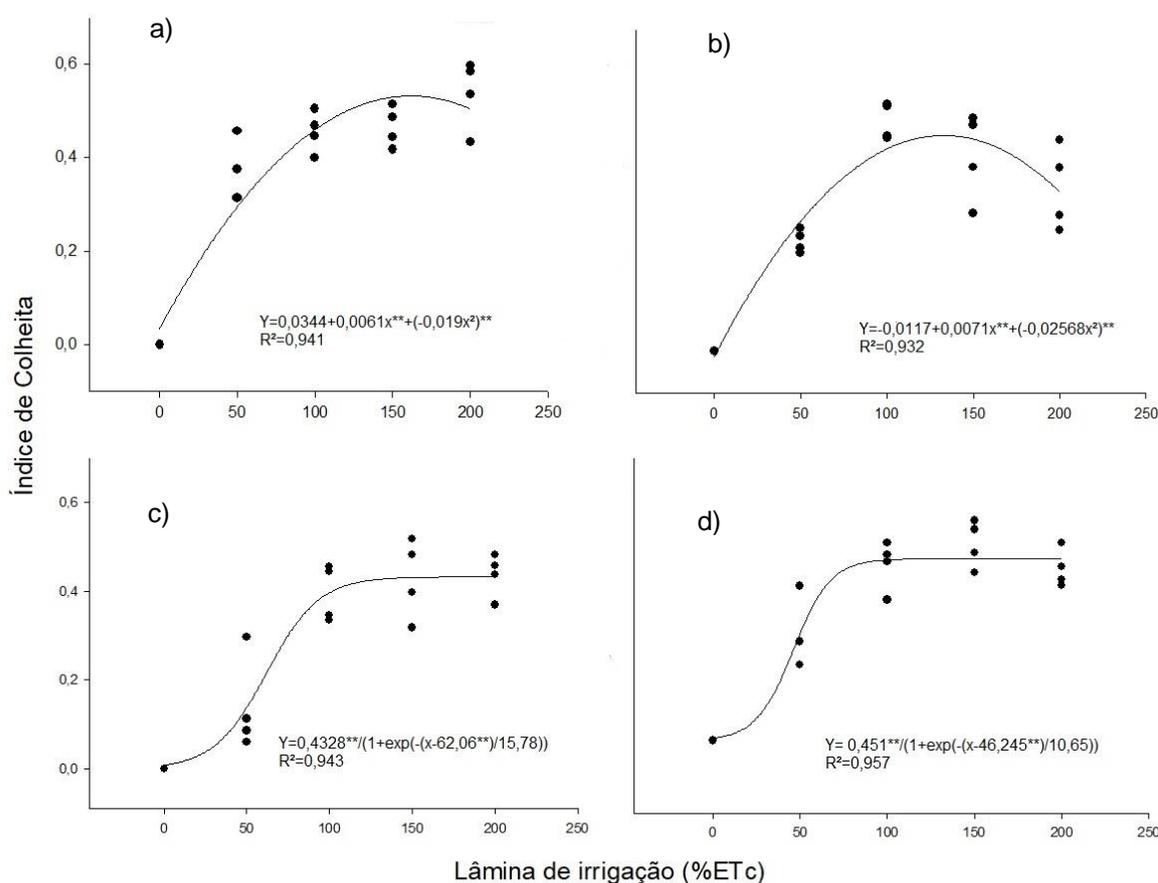


Figura 3 – Índice de colheita para cultivares de arroz de terras baixas (a) IRGA 424, (b) Puitá INTA CL, (c) BR IRGA 409 e (d) IRGA 428 em função de lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2015/2016. Itaqui, RS, Brasil, 2017. Os coeficientes seguidos de * e ** são significativos a 5% e a 1%, respectivamente.

No ano agrícola 2015/2016 o acúmulo de MSPA aumentou conforme aumento na lâmina de irrigação, entretanto a produção de grãos não respondeu da mesma forma. Kato & Katsura (2014), estudando arroz de terras baixas em condições de sequeiro afirmam que o crescimento aumenta conforme maior disponibilidade de água no solo, e devido ao pouco vigor do sistema radicular as plantas tem menos condições de resistir a estresses, porém ainda não está claro como o IC se comporta em situações de estresse hídrico.

Paranhos et al. (1991), estudando a cultivar BR IRGA 409 cultivada em sistema de irrigação por inundação encontraram maior produção de MSPA, porém índice de colheita menor. Isso pode ser explicado por Yang & Zhang (2010), esses autores relatam que estresses hídricos moderados não acarretam em menor produção de grãos, e podem aumentar a eficiência no uso da água e na remobilização dos fotoassimilados para os grãos, aumentando o IC.

Para a variável produção de grãos, as lâminas de 150 e 200% da ET_c apresentaram produção de grãos semelhantes, esses dados contrastam com a MSPA, que aumentou com o maior suprimento de água em algumas cultivares, o que resultou em diferentes curvas de IC (Figura 3). Não está claro no que causou isso, visto que as condições de cultivo foram as mesmas para todas as cultivares, porém o El Niño forte ocorrido no período e a disparidade nas chuvas entre período vegetativo e reprodutivo pode ter afetado o IC de alguma forma, o que pode ser tema de um próximo estudo abrangendo mais locais e condições de cultivo.

Segundo SOSBAI (2016), após o estágio de R4 a planta de arroz cessa seu crescimento vegetativo, onde apenas é realizada a fotossíntese e transporte de fotoassimilados. Portanto, o nível adequado de água é fundamental para que esse transporte ocorra eficientemente, como foi observado nos tratamentos com lâmina acima de 100% da ET_c, já os tratamentos com lâmina de irrigação inferior a isso sofreram redução no IC.

No ano agrícola 2016/2017 a lâmina de irrigação de 250% da ET_c resultou em maior MSPA e produção de grãos, porém IC semelhante aos demais tratamentos. Nota-se que todos os tratamentos obtiveram IC similares, isso pode

ser explicado devido as constantes precipitações pluviométricas durante o ciclo da cultura, ilustrado na figura 1c.

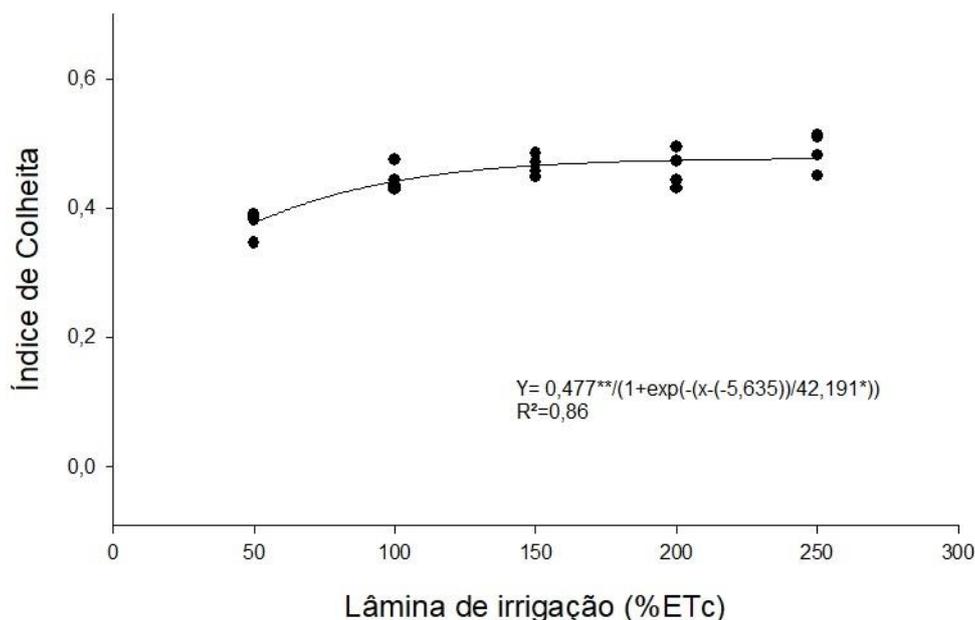


Figura 4 – Índice de colheita de arroz de terras baixas, cultivar IRGA 424 RI, em lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2016/2017. Itaqui, RS, Brasil, 2017. Os coeficientes seguidos de * e ** são significativos a 5% e a 1%, respectivamente.

Comparando os resultados obtidos nos três anos de condução do experimento, constata-se que o ano agrícola 2014/2015 apresentou os maiores valores de crescimento, produção de grãos e IC. Pode-se atribuir esses resultados as condições meteorológicas favoráveis ocorridas durante o ciclo de cultivo e ao uso de cultivares modernas com melhoramento voltado a maior extração de recursos do meio.

Os resultados de IC variaram de 0 a 0,56 nas lâminas de irrigação de 0 e 200% da ETc, respectivamente. Os valores máximos encontrados são superiores aos de Kato et al. (2009), que encontraram valor de 0,48 estudando arroz irrigado por aspersão no Japão, e próximos aos valores mais elevados encontrados na literatura, obtidos por Bueno & Lafarge (2009), que encontraram valor de IC de 0,56 em arroz irrigado por inundação.

Na cultura do arroz de terras baixas até 40% da produção de grãos depende das reservas de fotoassimilados presentes nas plantas em folhas e colmos (YANG & ZHANG 2010). Portanto, é fundamental que a planta tenha um bom suprimento hídrico durante todo ciclo de cultivo para expressar seu potencial produtivo. Isso coincide com as observações obtidas nesse trabalho, onde os tratamentos que acumularam maior MSPA tiveram maior produção de grãos.

Tuong (2005), Yang & Zhang (2010) e Kato & Katsura (2014) afirmam que a retirada da lâmina de água do solo não afeta o índice de colheita e produtividade. Os dados apresentados por esses autores corroboram com os resultados levantados nesse trabalho, indicando que a irrigação por aspersão é uma alternativa para redução do uso da água no cultivo de arroz, no entanto, pesquisas com diferentes lâminas de irrigação no período vegetativo e reprodutivo, junto com uma revisão no Kc do arroz devem ser realizadas para sanar as dúvidas levantadas nesse trabalho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior IC encontrado nesse trabalho foi de 0,56 na lâmina de irrigação de 200% ETc.

Lâminas de irrigação a partir de 100% da ETc foram suficientes para atingir valores de índice de colheita similares aos encontrados em arroz de terras baixas irrigado por inundação, porém lâminas menores diminuem o crescimento da cultura.

As cultivares de arroz de terras baixas testadas nesse trabalho adaptam-se bem ao sistema de irrigação por aspersão.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. **Uso e Manejo de Irrigação**. Brasília: Embrapa, 2008. 528p

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p.

AMANULLAH; INAMULLAH. Dry Matter Partitioning and Harvest Index Differ in Rice Genotypes with Variable Rates of Phosphorus and Zinc Nutrition. **Rice Science**, v. 23, n. 2, p. 78-87, 2016.

BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. de; SILVA, T.R. da. Densidade de um planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1079-1086, 2009.

BARTZ, A. C.; MUTTONI, M.; ALBERTO, C. M.; STRECK, N.A.; MACHADO, G. A.; GIACOMELI, R.; HELGUEIRA, D.B.; MOURA, D.S. Thermal time in sprinkler-irrigated lowland rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 475-484, 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª edição. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625 p.

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**, Viçosa, v. 56, n.6, p. 796-804, 2009

BOUMAN, B.A.M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. **Agricultural Systems** V. 93, p.43–60. 2007

BUENO C.S., LAFARGE T. Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: 1. Hybrids accumulate more biomass during each phenological phase. **Field Crops Research**, v. 112, n. 2, p. 229-237, 2009.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 3ed., 2013. 353 p.

FAO. 2009 - How to feed the world in 2050. [www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How to Feed the World in 2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf). Acesso em 28/10/2017.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Seguimento del Mercado del Arroz de la FAO: World food and agriculture**. Rome, v, 19^o Edição, n. 4. Dezembro de 2016. 10 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v.38, n.2, p. 109-112, 2014.

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, Y., & KATSURA, K. Rice Adaptation to Aerobic Soils: Physiological Considerations and Implications for Agronomy, **Plant Production Science**, v.17, p. 1-12, 2014.

LI, T.; HASEGAWA, T.; YIN, X.; ZHU, Y., BOOTE, K.; ADAM, M.; BREGAGLIO, S.; BUIS, S.; CONFALONIERI, R.; FUMOTO, T.; GAYDON, D.; MARCAIDA, M.; NAKAGAWA, H.; ORIOL, P.; RUANE, A. C.; RUGET, F.; SINGH, B.; SINGH, U.; TANG, L.; TAO, F.; WILKENS, P.; YOSHIDA, H.; ZHANG, Z; BOUMAN, B. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Changes Biology**, v.21, P. 1328–1341. 2015.

MORENO-JIMÉNEZ, E.; MEGARD, A.A.; SMOLDERS, A.; MANZANO, R.; BECERRA, D.; SÁNCHEZ-LLERENA, J.; ALBARRÁN, A.; LÓPEZ-PIÑERO, A. Sprinkler irrigation of rice fields reduces grain arsenic but enhances cadmium. **Science of the Total Environment** V.485,486, p. 468–473, 2014.

NOAA. Historical El Nino / La Nina episodes (1950-present). http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em 11/10/2017

PARANHOS, J.T.; MARCHEZAN, E.; DUTRA, L.N.C. Rendimento de grãos, índice de colheita e componentes do rendimento de três cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**. v.21, n. 2. 1991.

PINTO, M.A.B.; PARFITT, S.M.B.; TIMM, L.C.; FARIA, L.C.; SCIVITTARO, W.B. 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.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science** v. 38, P.638–643, 1998.

STRECK NA, BOSCO LC, MENEZES NL, GARCIA DC, ALBERTO CM & LAGO I. Estimativa do filocrono em genótipos de trigo de primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 423-429, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 4ª edição. Artmed: Porto Alegre – RS, 2009. 848p.

TUONG, T.P.; BOUMAN, B.A.M.; MORTIMER, M. More rice, less water: integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. **Plant Production Science** v. 8, P. 231–241. 2005.

VORIES, E.; STEVENS, W.; RHINEB, M.; STRATMANN, Z. Investigating irrigation scheduling for rice using variable rate irrigation. **Agricultural Water Management**. V.179, P.314–323, 2017.

XUE, Q.W.; ZHU, Z.X.; MUSICK, J.T.; STEWART, B.A.; DUSEK, D.A. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. **Journal of Plant Physiology** v. 163, p. 154–164. 2006.

WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I.R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

YANG, J.; ZHANG J. Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist** v. 169, p. 223–236. 2006.

YANG, J.; ZHANG, J. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 12, p. 3177–3189, 2010.