

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

**BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO EM ARROZ DE  
TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Gabriel Rodrigues Landskron**

**Itaqui, RS, Brasil  
2018**

**GABRIEL RODRIGUES LANDSKRON**

**BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO EM 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

Co-orientador: Amauri Nelson Beutler

Itaqui, RS, Brasil  
2018

263b

Landskron, Gabriel Rodrigues.  
Balanço de água no solo em arroz de terras  
baixas irrigado por aspersão / Gabriel  
Rodrigues Landskron. 2018.  
Número de folhas: 36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de  
Agronomia) Universidade Federal do Pampa, 2018.  
Orientação: Cleber Maus Alberto.

1. Irrigação por aspersão. 2. Água no solo. 3.  
Evapotranspiração I. Alberto, Cleber Maus. II.  
Balanço de água no solo em arroz de terras  
baixas irrigado por aspersão.

GABRIEL RODRIGUES LANDSKRON

**BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO EM 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 em: 05/07/2018.

Banca examinadora:



---

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



---

Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA



---

Ms. Robson Giacomeli  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho á memória do amigo Cássio dos Santos Castro, e do meu tio Astrogildo Antunes Brites, os quais deixaram um legado de trabalho, humanidade e respeito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade de tal feito.

A minha Vó Tereza Brites que com tamanho amor e carinho me deste ensinamento básico de humanidade e mostrou-me o sentido da vida. Meu avô Edegar Landskron e Liane Landskron, e todos tios, tias e primos que formam minha base de vida.

A minha mãe Elisa Brites Rodrigues e meu pai Luciano Messias Landskron.

Aos meus irmãos Érica Rodrigues Castro, Davi de Lima Landskron, Joabe de Lima Landskron e Isabella de Lima Landskron.

A minha madrasta Carmeluci Josiane de Lima Landskron e meu padrasto Claudionei dos Santos Castro.

Aos meus amigos de infância: Maurício Guerra, Marcelo Guerra, Helter Zanella e Guilherme Kosloski.

A todos que fizeram e fazem parte do Grupo de Estudos em Água e Solos, pelo auxílio na condução dos experimentos.

Ao professor Cleber Maus Alberto pela orientação, companheirismo e amizade desde meu início na Universidade.

Ao professor Amauri Beutler por auxiliar na obtenção de parte dos dados desse trabalho e aceitar fazer parte da banca avaliadora.

Ao Mestre Robson Giacomeli por aceitar fazer parte da banca avaliadora desse trabalho.

Aos amigos que adquiri na Universidade e que serão levados para vida: Alexandre Segatto, Cássio Kostulski, Felipe Dalla Porta, João Ail, João Carricio, Lorenzo Meus, Mateus Lorensen e Matheo Marques.

## EPÍGRAFE

A estratégia sem tática é o caminho mais lento para a vitória. Tática sem estratégia é o ruído antes da derrota.

Sun Tzu

## RESUMO

### BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO EM ARROZ DE TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO

Autor: Gabriel Rodrigues Landskron

Orientador: Cleber Maus Alberto

Local e data: Itaqui, 05 de julho de 2018.

A irrigação por aspersão é uma alternativa para redução de custos e possibilita maior sustentabilidade econômica e ambiental ao sistema de cultivo de arroz em terras baixas. Porém poucos estudos foram realizados referentes ao balanço hídrico da cultura na ausência da lâmina superficial de água para a cultura do arroz. Com isso o trabalho teve por objetivo caracterizar e desenvolver um modelo matemático, que determine a umidade de água no solo, com cultivo de arroz irrigado por aspersão em áreas de arroz em terras baixas. Foram conduzidos experimentos em Itaqui-RS nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com cinco lâminas de irrigação por aspersão 0%, 50%, 100%, 150%, e 200% da ETc nos anos 2014/2015 e 2015/2016, e 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da ETc no ano 2016/17. A necessidade de irrigação foi determinada a partir da evapotranspiração da cultura (ETc), multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente de cultura (Kc). A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) foram determinados na câmara de Richards, após as amostras foram levadas para secar na estufa a 105 °C para obtenção da densidade do solo (Ds). A profundidade efetiva do sistema radicular (Zr) utilizado foi de 200 mm e a capacidade de água disponível (CAD) foi calculada pela equação:  $CAD = (CC - PMP) * Ds * Zr$ . Para realizar o modelo de balanço de água no solo, foram consideradas as entradas e as saídas de água no solo. As precipitações e irrigações foram às entradas de água no solo e as saídas de água no solo a ETc. O modelo de balanço de água no solo foi realizado pela equação:  $ADS = ADS_{(n-1)} + Prec_{(n-1)} + Irri_{(n-1)} - ETc$ . Para avaliar o desempenho do modelo, foi utilizada a raiz do quadrado médio do erro (RQME), calculada como:  $RQME = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Si - Oi)^2}$ . O modelo utilizado para caracterizar o

balanço de água no solo demonstrou bom desempenho, porém o mesmo têm limitações, principalmente considerando a biologia da planta. Lâminas de irrigação menores que 100% da  $ET_c$  acarretam em umidades próximas ou abaixo do ponto de murcha permanente, acarretando em estresse hídrico nas plantas, portanto sua utilização não é indicada. O modelo utilizado teve maior correlação com dados observados de conteúdo de água no solo nas lâminas de 0 e 250% da evapotranspiração da cultura.

Palavras-chave: Irrigação por aspersão, água no solo, evapotranspiração.

## ABSTRACT

### SOIL WATER BALANCE IN LOWLAND RICE UNDER SPRINKLER IRRIGATION

Author: Gabriel Rodrigues Landskron

Advisor: Cleber Maus Alberto

Data: Itaqui, July 05, 2018.

The sprinkler irrigation is an alternative to reduce costs and enables more sustainable rice cultivation system in the lowlands.. Therebythe study aimed to characterize and develop a mathematical model to determine the water moisture in the soil, with irrigated rice cultivation by spraying in rice fields in the lowlands. experiments were conducted in Itaqui-RS in the crop years 2014/15, 2015/16 and 2016/17. O design was a randomized block (DBC) with five blades irrigation sprinkler 0%, 50%, 100%, 150% and 200% etc. In the years 2014/2015 and 2015/2016, and 50% 100 %, 150%, 200% and 250% of the year etc. in 2016/17. The need for irrigation was determined from the culture evapotranspiration (ETC), multiplying the reference evapotranspiration (ETo) by the crop coefficient (Kc). The CC and the PMP were performed in Richards chamber after samples were taken to dry in an oven at 105 ° C to conduct the soil density. The water holding capacity (CAD) was calculated by the equation:  $C = (CC - PMP) * Z_r * D_s$ . To perform the water balance model on the ground, they were considered the entries and exits of water in the soil. The rainfall and irrigation water intakes were in the soil and the water outlets in the soil etc. The water balance model was conducted on the ground by the equation:  $ADS = ADS(n-1) + Prec(n-1) + Irri (n-1) - ETc$ . To evaluate the model's performance, the root was used the mean square error (RMSE) calculated as:  $RQME = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}$ . The model used to characterize the water balance in the soil showed a good performance, but it has limitations, especially considering the plant biology. smaller water depths than 100% lead in humidity near or below the permanent wilting point, increasing the likelihood of drought stress in plants, so their use is not indicated. The model used had a higher correlation with observed data of soil moisture on the blades of 0 to 250% of crop evapotranspiration.

Keywords: Irrigation by sprinkling, ground water, evapotranspiration.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Temperatura máxima, média e mínima diária do ar (°C), no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.....20
- Figura 2: Umidade relativa máxima, média e mínima do ar (%), no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.....21
- Figura 3: Evapotranspiração de referência (mm) no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.....23
- Figura 4: Precipitação pluviométrica (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 0% da ETc nos anos 2014/15 (A) e 2015/16 (B), do período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão em Itaqui, RS.....26
- Figura 5: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 50% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/2015 (A), 2015/2016 (B), 2016/2017 (B), em Itaqui, RS .....25
- Figura 6: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), na lâmina de 100% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/2015 (A), 2015/2016 (B), 2016/2017 (B), em Itaqui, RS.....28

Figura 7: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), na lâmina de 150% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/2015 (A), 2015/2016 (B), 2016/2017 (B), em Itaqui, RS.....29

Figura 8: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), na lâmina de 200% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/2015 (A), 2015/2016 (B), 2016/2017 (B), em Itaqui, RS.....30

Figura 9: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), na lâmina de 250% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão em 2016/2017 (A), em Itaqui, RS.....31

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Objetivo geral.....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1 Variáveis meteorológicas .....	20
3.2 Balanço de água no arroz irrigado por aspersão.....	24
4 CONCLUSÃO .....	34
5 REFERÊNCIAS.....	35

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura importante para o Brasil, destacando-se o estado do Rio Grande do Sul como maior produtor nacional (SOSBAI, 2016). O Brasil, conta com produção anual de aproximadamente 12 milhões de toneladas de arroz (IBGE, 2016). A Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul é reconhecida por ser detentora da maior produção e produtividade de grãos, produzindo 2,6 milhões de toneladas (IRGA, 2014).

O sistema de cultivo atualmente predominante no estado é o cultivo de arroz de terras baixas com a irrigação por inundação (SOSBAI, 2016). Este sistema de irrigação apresenta alto custo e baixa eficiência do uso da água, quando comparado com outros sistemas de irrigação. Uma alternativa para melhorar a eficiência do uso da água e, conseqüentemente diminuição de custo de produção, é a utilização da irrigação por aspersão, que é mais comum no cultivo de arroz de terras altas, utilizada durante períodos de estiagem evitando que o crescimento e o potencial produtivo da cultura possam ser afetados de forma negativa (CRUSCIOL et al., 2003).

A irrigação por aspersão consiste na aplicação de água suplementar a da precipitação em quantidade certa e no momento adequado, atendendo as necessidades hídricas e proporcionando com isso um ambiente mais adequado ao crescimento e desenvolvimento das plantas (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008), gerando aumento na eficiência do uso da água. A adoção da irrigação por aspersão possibilita o uso de práticas conservacionistas, como rotação de culturas, integração da lavoura com a pecuária, utilização de plantas de cobertura no inverno, possibilitando aumento na produtividade (ARF et al., 2000) e maior sustentabilidade ao sistema (BOSCO et al., 2009). Para adaptação da irrigação por aspersão em terras baixas se faz necessário saber o comportamento da água no solo de cada região. Buscando-se na literatura mundial, poucos estudos foram realizados referentes ao balanço hídrico da cultura na ausência da lâmina superficial de água para a cultura do arroz, não encontrando esse tipo de trabalho para cultivares de arroz de terras baixas.

O balanço hídrico de uma cultura consiste na utilização de parâmetros meteorológicos (precipitação e evapotranspiração), fenológicos (estádios da cultura) e físicos do solo (capacidade de água disponível) para determinação do conteúdo de

água no solo. Com o cálculo do balanço hídrico pode-se definir com melhor precisão os momentos de maior deficiência hídrica da cultura, possibilitando intervir com manejo agrícola adequado do solo e da água (SILVA et al., 2014; CASA et al., 1999). A disponibilidade de água no solo ao longo do ciclo da cultura do arroz para cultivares de arroz de terras baixas submetido à irrigação por aspersão, ainda é desconhecido, o que impossibilita planejamento mais eficiente de irrigação neste tipo de sistema.

O papel do solo é importante no desempenho das culturas, pois o mesmo funciona como reservatório de água, entre chuvas e regas. A água disponível para as plantas pode ser definida como a que fica retida no solo entre a capacidade de campo (CC), que é a máxima quantidade de água que o solo consegue reter depois das perdas por drenagem, e o ponto de murcha permanente (PMP), que é o limite da capacidade de extração de água pelos vegetais (BERGAMASCHI, 2017).

Os modelos para estimativa do balanço de água no solo agilizam o processo para determinação de água disponível no solo. Os mesmos foram desenvolvidos durante as últimas décadas, variando em seus diferentes níveis de complexidade (FESSEHAZION et al., 2014). Para que o modelo possa ser utilizado em uma determinada região, ele deve ser calibrado e testado, ou até mesmo ser elaborado um novo modelo que possua precisão adequada para o correto manejo de água no solo. Estes modelos, após testados, podem ser disponibilizados para produtores rurais, para que estes façam o manejo adequado dos sistemas de irrigação. Além disso, podem ser integrados a sistemas de irrigação permitindo a sua automação.

### **1.1 Objetivo geral:**

O trabalho teve por objetivo caracterizar e desenvolver um modelo matemático, que determine conteúdo de água no solo, com cultivo de arroz irrigado por aspersão em áreas de terras baixas.

### **1.2 Objetivos específicos:**

Caracterizar o balanço de água durante o cultivo do arroz irrigado por aspersão na região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

Verificar a quantidade de água disponível no solo durante o cultivo do arroz irrigado por aspersão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos experimentos a campo em Itaqui – RS (Latitude 29° 9' 23.75" S Longitude: 56° 33' 24.29" W; altitude de 74 m), localizado 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 com verões quentes e o solo do local é classificado como Plintossolo Háptico (EMBRAPA, 2013), com granulometria de 197, 269 e 534 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente.

Os experimentos foram conduzidos em três anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17 com a cultura do arroz irrigado por aspersão, com semeaduras nos dias: 17 de novembro de 2014, 25 de novembro de 2015 e 04 de outubro de 2016, respectivamente.

O delineamento utilizado foi de blocos causalizado (DBC), com cinco lâminas de irrigação por aspersão 0%, 50%, 100%, 150%, e 200% da ETc nos anos 2014/2015 e 2015/2016, e 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da ETc no ano 2016/17 com quatro repetições em todos os anos. A cultivar de arroz utilizada foi IRGA 424 CL. A adubação ocorreu conforme o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

A necessidade de irrigação foi determinada a partir da evapotranspiração da cultura (ETc), multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente de cultura (Kc). A ETo foi estimada através da equação de Penman-Montheith (ALLEN et al., 1998) a partir de dados de temperatura, precipitação pluviométrica, vento e radiação solar obtidos na estação meteorológica automática situada a 200 m do local de cultivo. Os valores de coeficiente de cultura (Kc), 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 da maturidade fisiológica (ALLEN et al., 1998).

A capacidade de água disponível (CAD) foi calculada pela equação:

$$CAD = (CC - PMP) * Ds * Zr$$

CC = umidade da capacidade de campo, em g g<sup>-1</sup>;

PMP = umidade do ponto de murcha permanente, em g g<sup>-1</sup>;

Ds = Densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>;

Zr = profundidade efetiva do sistema radicular (200 mm).

A profundidade do sistema radicular considerado para utilização do modelo de balanço de água no solo foi de 200 mm, pois aproximadamente 95% das raízes do arroz estão distribuídas nessa profundidade (PANTUWAN et al., 2002 ).

Para determinação da CC, PMP e densidade do solo foram coletadas amostras de solo a campo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), no centro das parcelas, com a utilização de anéis volumétrico de diâmetro 4,8 cm x 3 cm de altura (EMBRAPA, 1997).

No laboratório as amostras de solos foram ajustadas com o volume do anel e a parte inferior foi envolvida com pano poroso e presa com uma liga de borracha. As amostras foram colocadas para saturar e após a saturação foram pesadas para a determinação do conteúdo de água da amostra no ponto de saturação. Após a saturação e pesagem das amostras, foram levadas, sobre a membrana porosa, para o interior da câmara de pressão. Para a CC as amostras foram submetidas a 0,1 atm, e quando cessou a drenagem do excedente da umidade foram pesadas, e posteriormente aplicou-se uma tensão para PMP de 15 atm, e quando cessou a drenagem do excedente da umidade foram pesadas novamente.

Ao final de todas as tensões aplicadas, as umidades foram obtidas por diferença de peso, que correspondem ao potencial mátrico. Após a aplicação das tensões predefinidas, as amostras foram levadas para estufa a 105 °C por 48 h para a determinação do peso seco da amostra de solo e densidade aparente.

Para realizar o modelo de balanço de água no solo, foram consideradas as entradas e as saídas de água no solo. As precipitações e irrigações foram às entradas de água no solo e as saídas de água no solo a ETc. As precipitações e irrigações consideradas para realizar o modelo de balanço de água no solo foram do dia anterior, uma vez que todas as umidades gravimétricas foram realizadas antes das mesmas.

Com isso o modelo de balanço de água foi calculado pela equação:

$$ADS = ADS_{(n-1)} + Prec_{(n-1)} + Irri_{(n-1)} - ETc.$$

ADS = Água disponível no solo;

$ADS_{(n-1)}$  = Água disponível no solo no dia anterior;

$Prec_{(n-1)}$  = Precipitação do dia anterior;

$Irri_{(n-1)}$  = Irrigação do dia anterior;

ETc = Evapotranspiração da cultura.

O limite máximo de umidade de água no solo considerado foi de  $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sendo esse valor obtido como solo saturado e o limite mínimo de água no solo de  $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , considerado como água higroscópica.

Para avaliar o desempenho do modelo, foi utilizada a raiz do quadrado médio do erro (RQME), calculada como (JANSSEN & HEUBERGER, 1995):

$$\text{RQME} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}$$

em que, S é o valor simulado do conteúdo de água no solo, O é o valor observado do conteúdo de água no solo e N é o número de observações. Quanto menor for o RQME melhor é a estimativa da umidade de água do solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variáveis meteorológicas:

A temperatura média do ar foi maior no ano agrícola 2015/16, seguido pelo ano 2014/15 (Figura 1). As menores temperaturas foram encontradas no ano agrícola 2016/17.

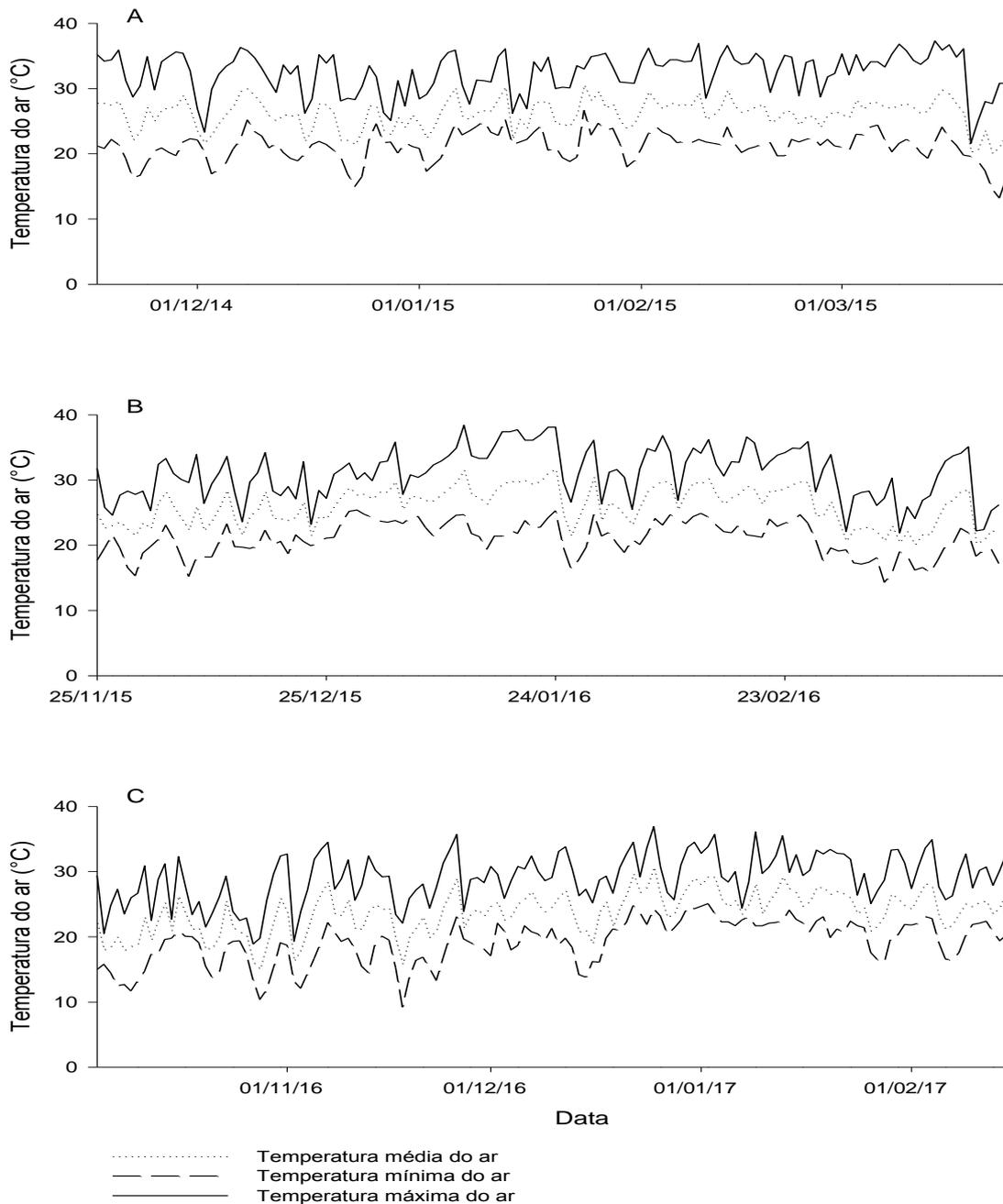


Figura 1: Temperatura máxima, média e mínima diária do ar (°C), no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

Os valores de temperatura média do ar durante os cultivos de arroz foram de 25,25 °C dia<sup>-1</sup>, 25,66 °C dia<sup>-1</sup> e 23,85 °C dia<sup>-1</sup>, para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, respectivamente. O ano agrícola de 2016/2017 apresentou temperatura inferior à média histórica (24,92 °C dia<sup>-1</sup>) (WREGGE et al., 2011).

Os valores médios da umidade relativa do ar durante os cultivos de arroz foram de 72,09% dia<sup>-1</sup>, 77,2% dia<sup>-1</sup> e 76,6% dia<sup>-1</sup>, para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, respectivamente (Figura 2).

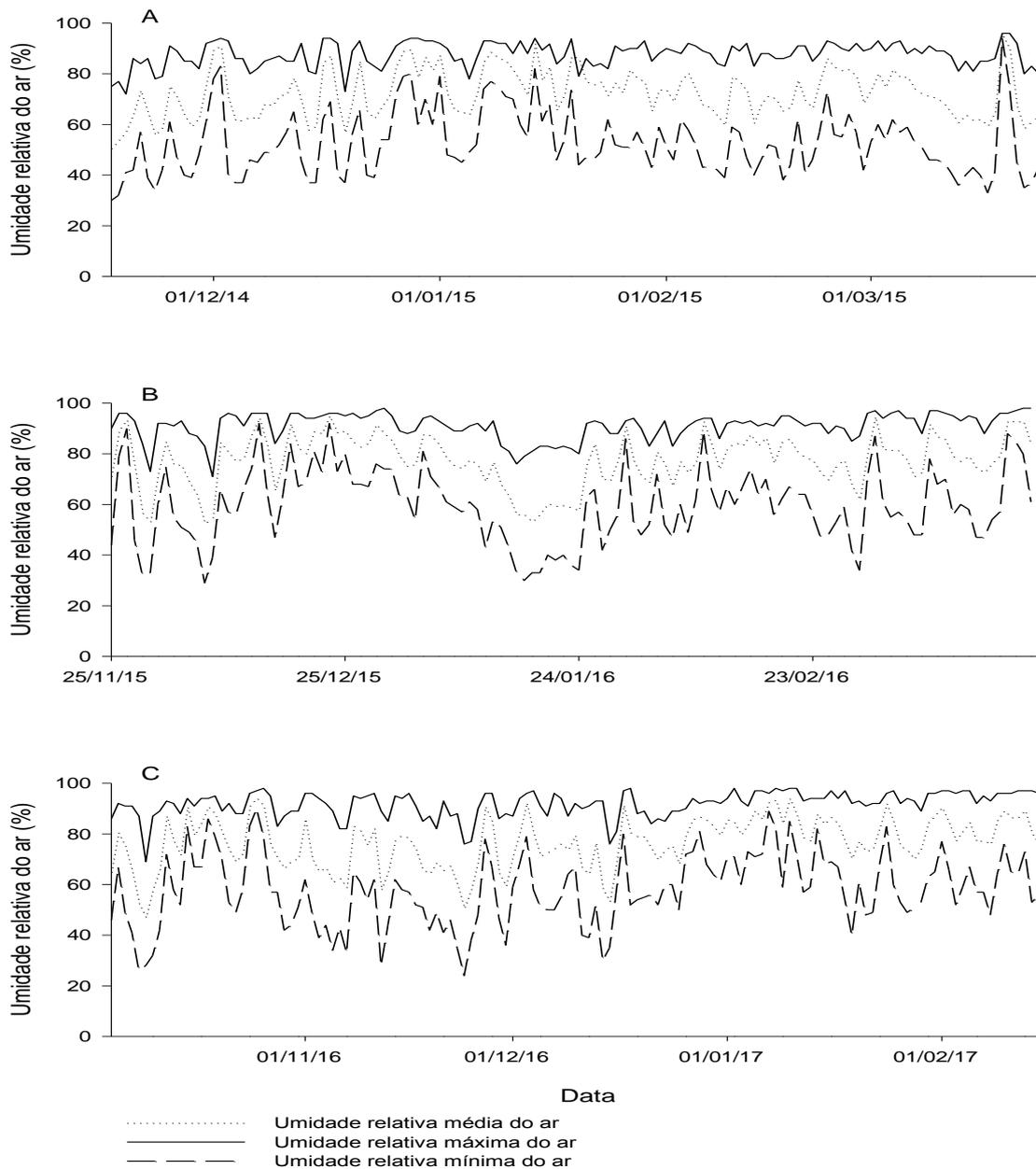


Figura 2: Umidade relativa máxima, média e mínima do ar (%), no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

Os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17 ficaram com a umidade relativa do ar diária acima da média história que é de 75% e o ano de 2014/15 foi menor (WREGGE et al., 2011). Segundo Ismael et al. (2015), a umidade relativa do ar tem relação negativa com a evapotranspiração, pois tem efeito indireto na radiação solar incidente. Com isso foi observado que a maior umidade relativa do ar ocorreu no ano agrícola 2015/16, seguido pelo ano 2016/17.

Durante o ciclo de desenvolvimento do arroz os valores médios de radiação solar diário durante os cultivos foram de 20,31 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, 19,82 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 20,46 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, respectivamente. Em todos os anos utilizados neste trabalho a radiação solar ficou abaixo da média história que é de 21,7 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (WREGGE et al., 2011). A disponibilidade de radiação influencia na evapotranspiração de referência.

Os valores de evapotranspiração de referência diário durante os cultivos de arroz foram de 4,10 mm dia<sup>-1</sup>, 3,81 mm dia<sup>-1</sup> e 4,21 mm dia<sup>-1</sup>, para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (Figura 3), respectivamente. Em todos os anos utilizados neste trabalho a evapotranspiração ficou abaixo da média história que é de 4,29 mm dia<sup>-1</sup> (WREGGE et al., 2011).

A disponibilidade de radiação solar está associada aos eventos ENOS, no ano agrícola 2015/2016 foi registrado El Niño forte, que na região Sul do Brasil caracteriza-se pela elevada precipitação pluviométrica e aumento da temperatura do ar, porém ocorre decréscimo na radiação solar, e nos anos 2014/15 e 2016/17 foram considerados anos neutros (NOAA, 2017), que são anos de maiores incertezas com relação à precipitação pluviométrica. Como consequência da menor radiação solar ocorrida em 2015/16, ocorre a redução da evapotranspiração de referência, uma vez que existe alta correlação entre radiação solar e evapotranspiração (ISMAEL et al., 2015).

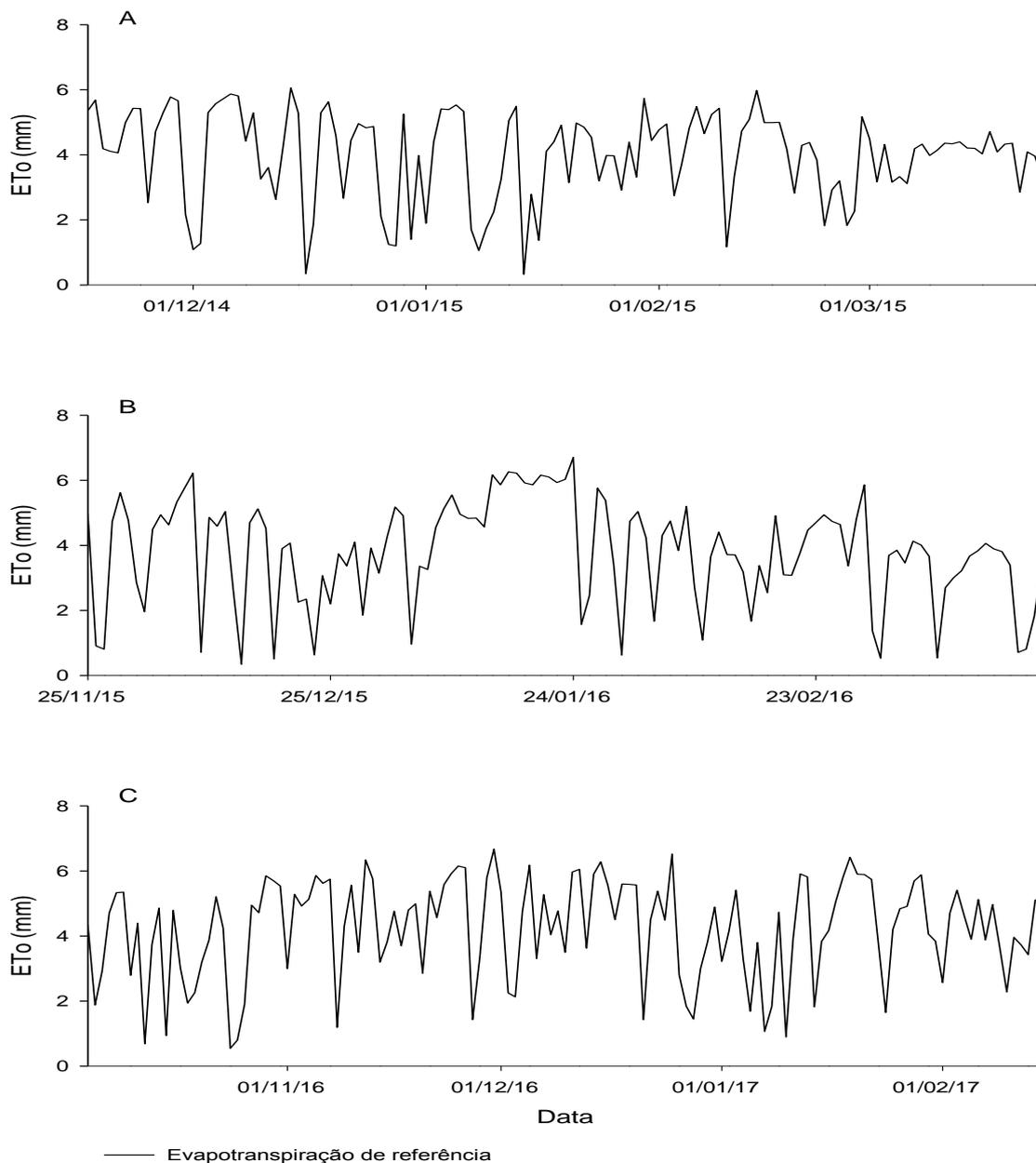


Figura 3: Evapotranspiração de referência (mm) no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

O ano agrícola 2016/17 teve maior radiação solar, aumentando a transpiração das plantas e a saída de água do solo. O ano 2015/16 teve menor demanda de água do solo quando comparado aos outros anos de cultivo, devido principalmente ao evento El Niño, que proporcionou maior umidade relativa do ar. O ano 2014/15 teve evapotranspiração e radiação solar menor que 2016/17, porém mais elevada que o ano 2015/16.

### 3.2 Balanço de água no arroz irrigado por aspersão:

A densidade do solo variou de 1,64 a 1,90 g cm<sup>-3</sup> na camada de 0-10 cm de profundidade e 1,70 a 1,90 g cm<sup>-3</sup> na camada de 10-20 cm. A densidade média do solo na profundidade de 0-20 cm foi de 1,78 g cm<sup>-3</sup>. O solo apresentou densidade elevada, com isso características de macro porosidade do solo, porosidade de aeração e a infiltração de água no solo são diminuídas além de ocorrer aumento da resistência de penetração das raízes pelas plantas (PINTO et al., 2004).

O conteúdo de água no solo no PMP variou de 0,16 a 0,21 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na camada de 0-10 cm e 0,15 a 0,22 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na camada de 10-20 cm, ficando com 0,18 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> em média na camada de 0-20 cm. O conteúdo de água no solo na capacidade de campo variou 0,28 a 0,30 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na camada de 0-10 cm e 0,27 a 0,31 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na camada de 10-20 cm, ficando com 0,297 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> em média na camada de 0-20 cm. Com isso a capacidade de água disponível no solo (CAD), foi obtida pela equação,  $CAD = (0,29 - 0,18) * 1,78 * 200$ . CAD = 39,16 mm.

No ano agrícola 2014/15, durante o ciclo de cultivo do arroz, foi registrada precipitação pluviométrica de 608,8 mm, sendo valores abaixo das normais climatológicas, que durante o período de novembro a março é de 710 mm (WREGE et al., 2011). As chuvas concentraram-se mais no período vegetativo da cultura, com 371,2 mm, sendo as precipitações de forma irregular. Durante o período reprodutivo ocorreu 237,6 mm de precipitação, onde foi necessário um volume irrigado de 263,87 mm. O volume total irrigado durante todo ciclo de desenvolvimento foi de 300,1 mm divididos em 19 irrigações na lâmina de 100% da ETc durante o ciclo do arroz.

No ano agrícola 2015/16 foi registrada precipitação acumulada de 994,4 mm, distribuídos em 34 eventos de precipitação pluviométrica, sendo superior a média climatológica para a região nessa época. Porém, a precipitação ocorreu de maneira irregular, concentrando-se no período vegetativo da cultura. Para complementar a precipitação acumulada, foi necessária a realização de 16 irrigações durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, sendo dessas, 13 no período reprodutivo (153,13 mm) e 3 no vegetativo (22,9 mm), com volume total irrigado de 176,12 mm na lâmina de 100% ETc.

No ano agrícola de 2016/17, foram contabilizados 46 eventos de precipitação pluviométrica, totalizando 743,8 mm acumulados, similar a média

climatológica para a região. As chuvas foram mais distribuídas durante o ciclo de desenvolvimento, o que acarretou na diminuição do número de irrigações, onde, realizaram-se 10 irrigações durante todo ciclo de desenvolvimento, sendo 6 no estágio vegetativo e 4 no reprodutivo, com volume total irrigado de 144,42 mm na lâmina de 100% da ETc.

Na lâmina de 0% da ETc os RQME variaram de 0,043 a 0,058  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Figura 4). Os valores de RQME foram próximos nos anos 2014/15 e 2015/16 na lâmina de 0% da ETc.

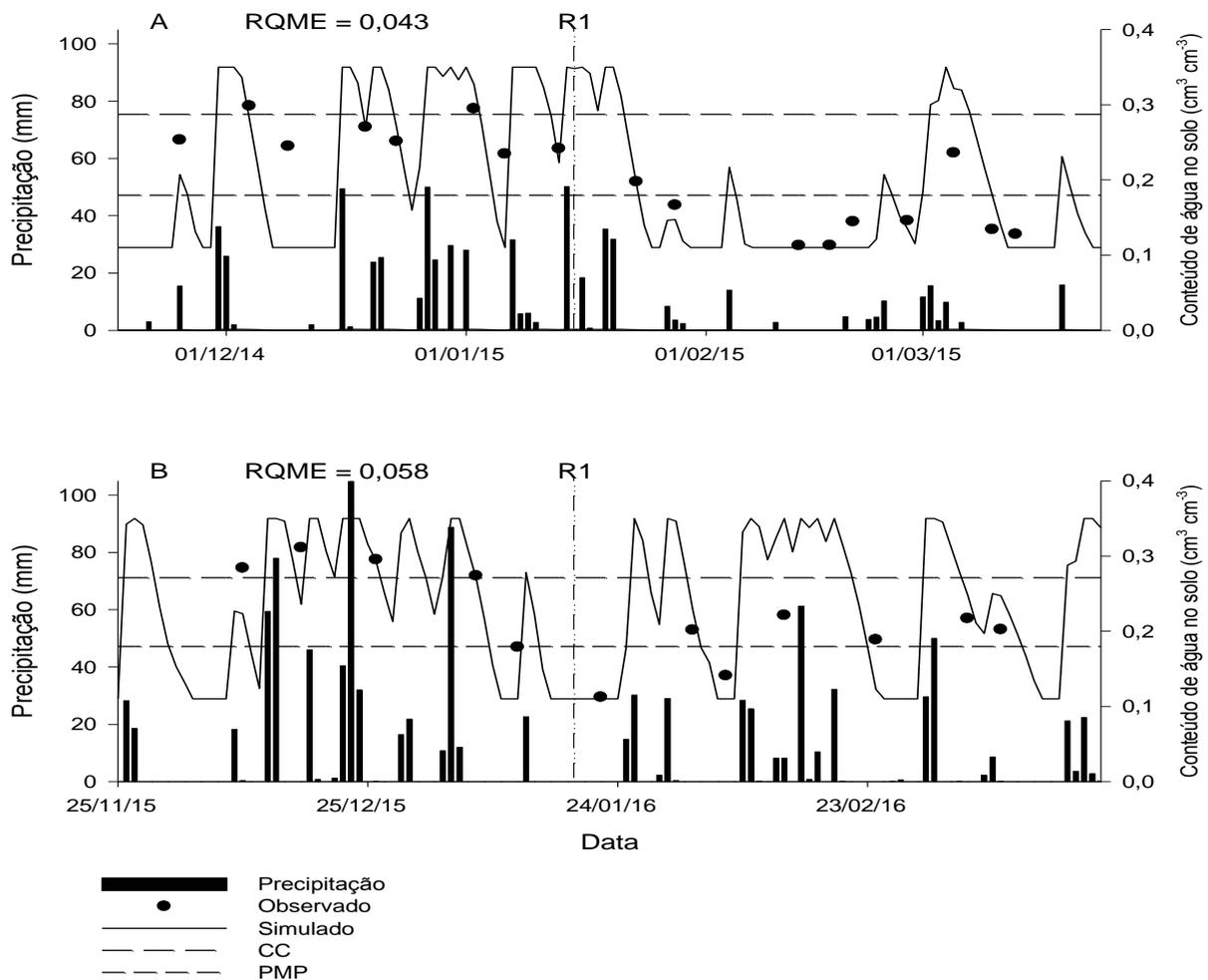


Figura 4: Precipitação pluviométrica (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 0% da ETc nos anos 2014/15 (A) e 2015/16 (B), do período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão em Itaqui, RS.

O menor valor de RQME em 2014/15 pode ser explicado devido às baixas precipitações durante a fase reprodutiva, ficando a água no solo próximo à água considerada pelo modelo, como sendo água higroscópica ( $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), e o modelo utilizado não contabilizava umidades inferiores a esse limite, com isso a umidades observadas e simuladas foram próximas, diminuindo valores de RQME.

Mesmo não ocorrendo irrigações na lâmina de 0% da ETc, as umidades observadas ficaram acima do PMP durante o estágio vegetativo. Porém, durante a fase reprodutiva as precipitações não foram suficientes para elevar o conteúdo de água no solo, sendo observados muitos pontos próximos ou abaixo do PMP. Com isso, foi verificado que as plantas de arroz submetidas à condição de sequeiro (0% da ETc), não completaram a fase reprodutiva (R1-R4) nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16, motivo que levou a substituição da lâmina de 0% para a lâmina de 250% da ETc para ano agrícola 2016/17.

A lâmina de 50% da ETc teve valores de RQME variando nos anos 2014/15 ( $0,045 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), 2015/16 ( $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e 2016/2017 ( $0,076 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (Figura 5).

A lâmina de 50% da ETc, não foi suficiente para elevar o conteúdo de água no solo acima do PMP na maioria dos pontos observados, durante o período reprodutivo da cultura do arroz, no ano agrícola 2014/15. No ano agrícola 2015/16, ocorreu apenas um ponto de umidade observada abaixo do PMP e, 2016/17 nenhum ponto foi observado abaixo do PMP no período reprodutivo.

A lâmina de 100% da ETc teve elevados valores de RQME nos anos 2015/16 ( $0,083 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e 2016/2017 ( $0,084 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), quando comparado ao ano 2014/15 ( $0,055 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (Figura 6).

Conforme Allen et al. (1998), a adição de 100% da ETc seria suficiente para suprir as exigências hídricas das plantas, porém observou-se na lâmina de 100% da ETc que em anos com menor índice pluviométrico (2014/15), o conteúdo de água no solo fica próxima ao PMP em alguns pontos observados, acarretando estresses hídrico as plantas. Já nos anos 2015/16 e 2016/17, as umidades mantiveram-se próximos a CC.

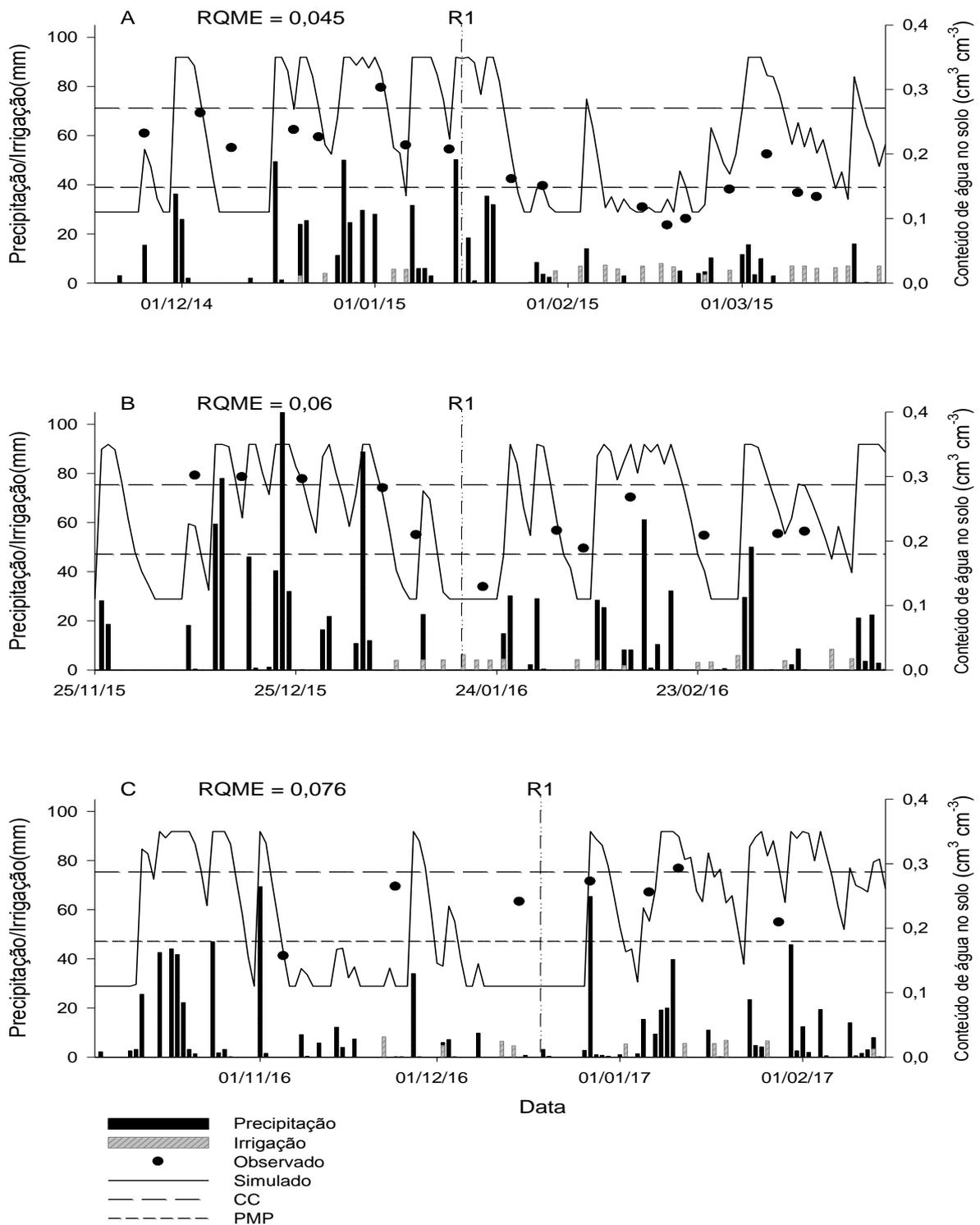


Figura 5: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 50% da ETC no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

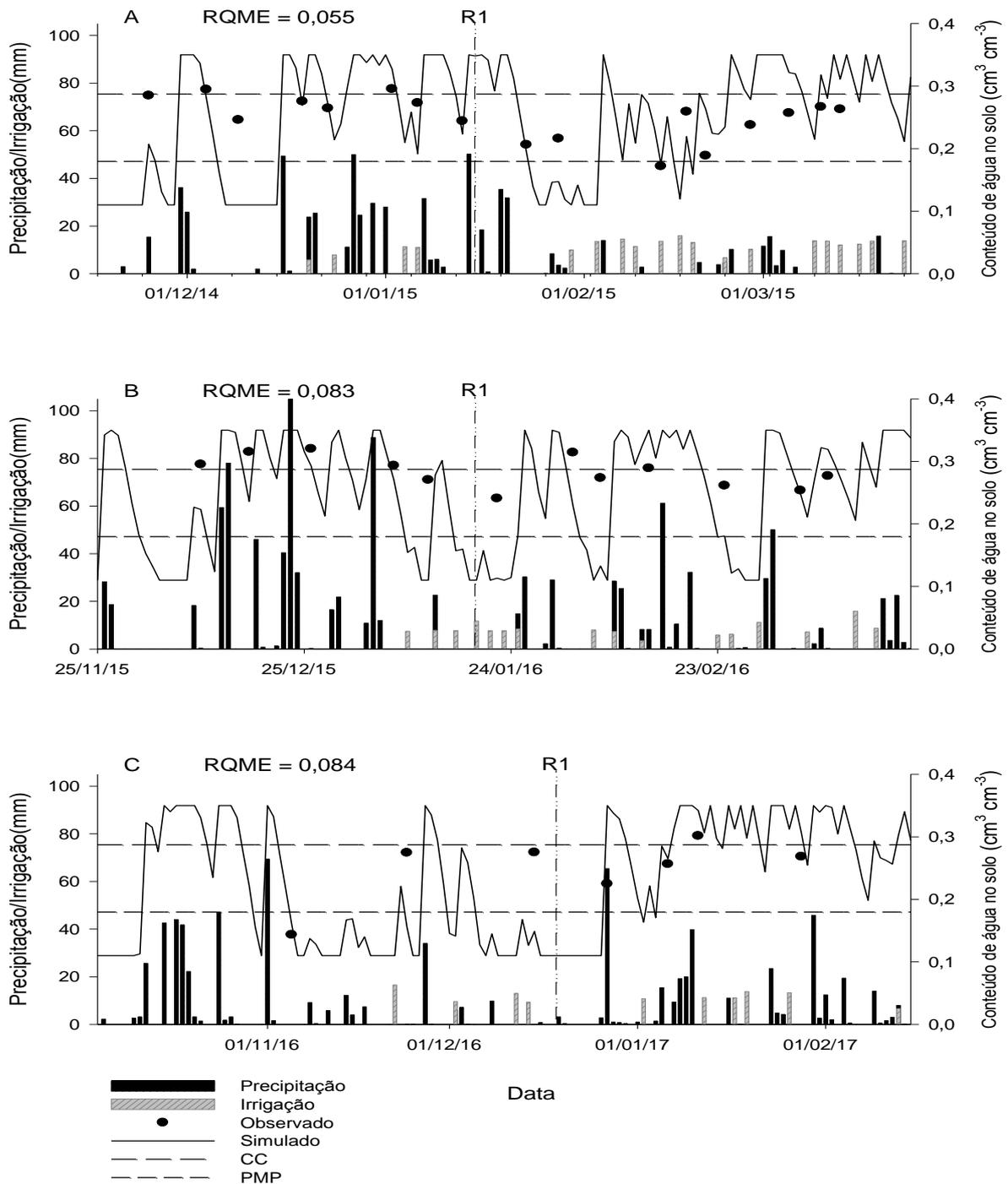


Figura 6: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 100% da ETc no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

A lâmina de 150% da ET<sub>c</sub> teve valores de RQME variando nos anos 2014/15 (0,066 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), 2016/2017 (0,059 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e 2015/16 (0,085 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) (Figura 7).

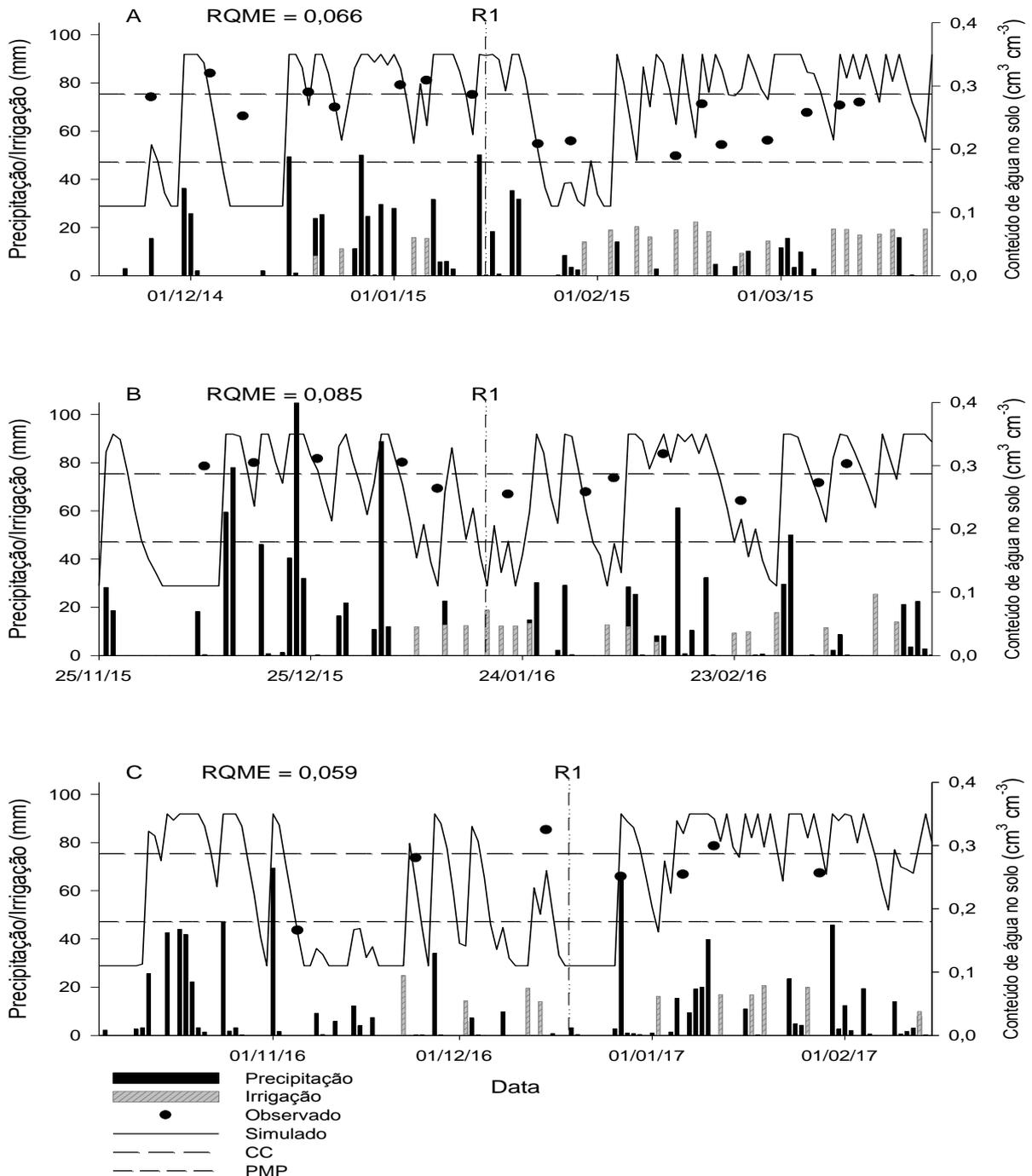


Figura 7: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), conteúdo de água no solo simulado (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), ponto de murcha permanente (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), capacidade de campo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 150% da ET<sub>c</sub> no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

A lâmina de 200% da ET<sub>c</sub> teve valores de RQME variando nos anos 2014/15 (0,053 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), 2016/2017 (0,059 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e 2015/16 (0,070 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) (Figura 8).

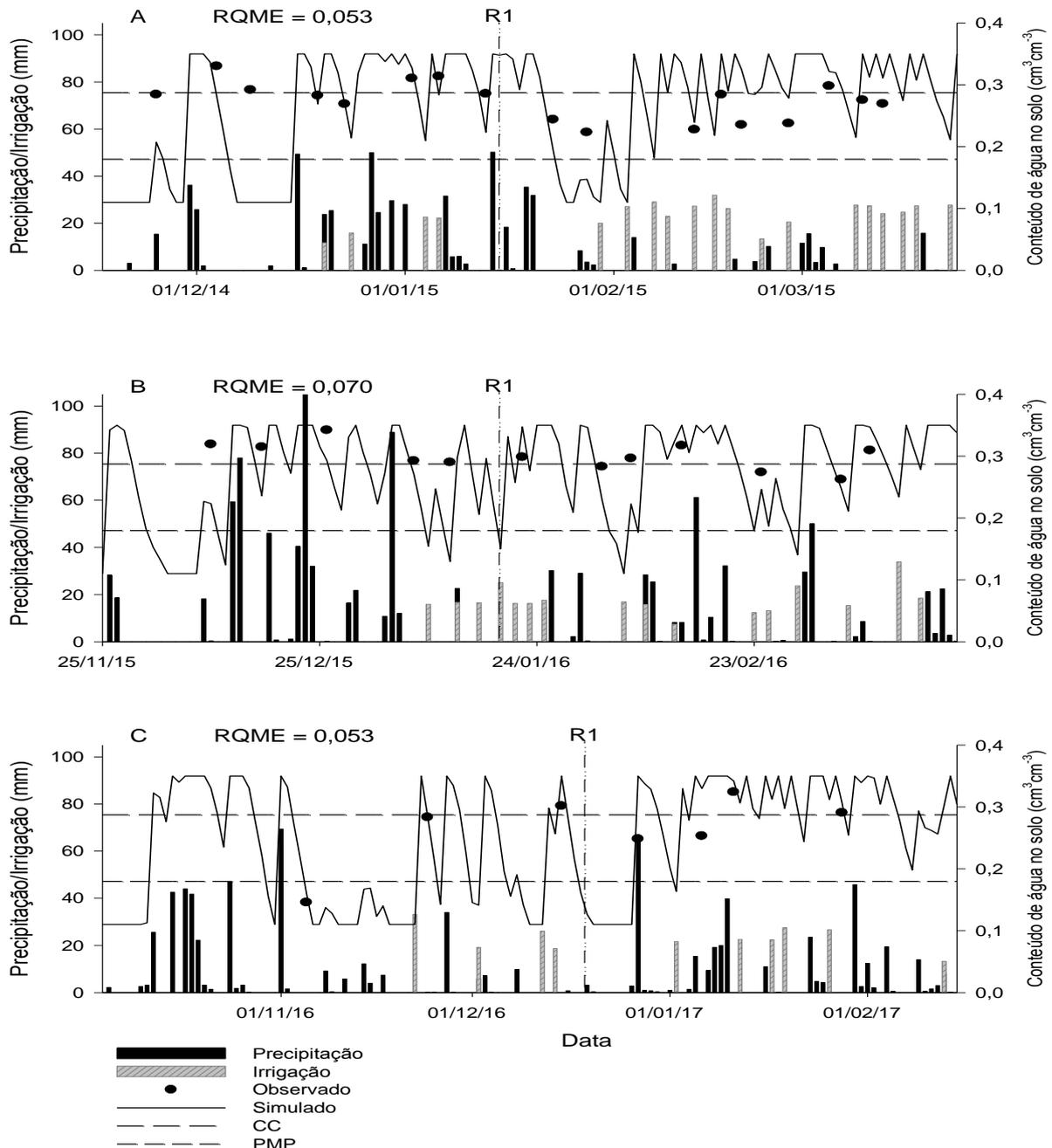


Figura 8: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), conteúdo de água no solo simulado (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), ponto de murcha permanente (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), capacidade de campo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 200% da ET<sub>c</sub> no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), em Itaqui, RS.

Nas lâminas de 150 e 200% da  $ET_c$  foram encontrados os maiores valores de RQME no ano de 2015/16. Durante 2015/16 ocorreram as maiores precipitações e menores valores de  $ET_o$ . A umidade observada do solo não diminuía conforme o modelo contabilizava a evapotranspiração da cultura, devido principalmente as condições de umidade relativa do ar, ser elevada, e a temperatura do ar e a radiação solar ser menor durante o cultivo do arroz em 2015/16.

Devido a maior diferença das umidades observadas e simuladas nas lâminas de 150% e 250% da  $ET_c$ , em 2015/16 ocorreu, maiores valores de RQME. Porém nos anos 2014/15 e 2016/17, os valores tiveram pontos observados e simulados, próximos, proporcionando baixos valores de RQME.

A lâmina de 250% da  $ET_c$  obteve valor de RQME de  $0,038 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no anos 2016/17 (Figura 9). O comportamento das lâminas de irrigação de 150%, 200% e 250% da  $ET_c$ , foram similares em 2016/17, mantendo o conteúdo de água no solo próxima a CC durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura do arroz.

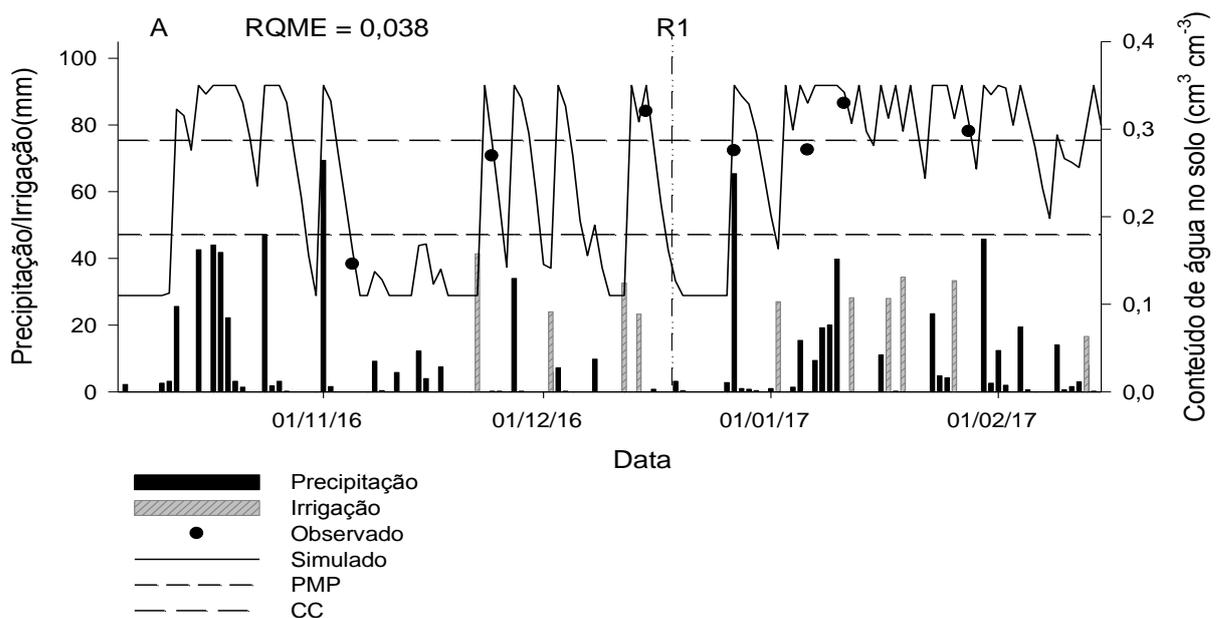


Figura 9: Precipitação pluviométrica (mm), irrigação (mm), conteúdo de água no solo observado ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), conteúdo de água no solo simulado ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e ocorrência do estágio R1 (COUNCE et al., 2000) na lâmina de 250% da  $ET_c$  no período de emergência à colheita do arroz irrigado por aspersão nos anos 2016/17 (A), em Itaqui, RS.

O menor valor de RQME ( $0,038 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) encontrado na lâmina de 250% da ETc ocorreu devido o conteúdo de água no solo ficar aproximada a saturação do solo ( $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), e com isso as umidades observadas e simuladas foram próximas, diminuindo valores de RQME.

Os menores valores de RQME foram encontrados em 2014/15, variando de  $0,043 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 0% a  $0,066 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 150% da ETc. O modelo utilizado apresentou comportamento diferente na fase reprodutiva e vegetativa da cultura. Na fase vegetativa as lâminas apresentaram comportamento similar entre os valores observados e simulados, porém na fase reprodutiva ocorreu a tendência do modelo em superestimar o conteúdo real de água no solo em todas lâminas de irrigação.

A hipótese é de que o modelo superestime o conteúdo real de água no solo a partir de R1 devido ao Kc utilizado por Allen et al. (1998) para irrigação de arroz, não foi suficiente para elevar o conteúdo de água no solo durante o período reprodutivo, devido a exigência hídrica das plantas, nesse período, ser mais elevada quando comparado ao período vegetativo.

No ano agrícola 2015/16 encontraram-se os maiores valores de RQME entre lâminas nos anos estudados, os valores variaram de  $0,058 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 200% a  $0,085 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 150% da ETc. Devido às altas precipitações durante o período vegetativo, o comportamento entre as lâminas de irrigação foram similares entre os valores observados e simulados, mantendo o conteúdo de água no solo próximo a capacidade de campo, na maioria dos pontos observados. Durante o período reprodutivo pode-se observar a maior diferença entre as lâminas de irrigação, sendo a de 0% e 50% da ETc, com vários pontos de umidade próximos ao PMP.

O modelo de água no solo teve maior variação entre os dados observados e simulados no ano agrícola 2016/17, variando o RQME de  $0,038 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 250% a  $0,084 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na lâmina de 100% da ETc. O conteúdo de água no solo observado no dia 15/12/2016, e o valor simulado, foram distantes nas lâminas de 50%, 100% e 150% da ETc. Porém as lâminas de 200% e 250% da ETc, teve proximidade nos pontos observados/simulados. O conteúdo de água no solo não diminuiu conforme o modelo indicava, porém com adição de maior volume de água, o modelo teve maior precisão.

Conforme Oliveira (2004), a água facilmente disponível para as plantas está entre a CC e o PMP. Porém Richards e Waldleigh (1952) já haviam constatado que ocorre redução na disponibilidade da água para as plantas com a diminuição do conteúdo de água no solo, e a planta sofre deficiência hídrica e posterior redução do crescimento antes de alcançar o ponto de murcha. Reichard e Timm (2004), afirmam que é muito difícil de estabelecer um conceito ideal entre o intervalo da CC e o PMP, e que o mesmo é variável de acordo com a cultura que se está trabalhando.

Allen et al. (1998), classificam o arroz como sendo uma cultura de bastante susceptibilidade ao estresse hídrico, isso foi observado por Bartz et al. (2017), onde a redução da disponibilidade hídrica diminuiu a taxa de desenvolvimento, acarretando maior duração da fase vegetativa e aumentou a duração do ciclo de desenvolvimento das cultivares de arroz de terras baixas.

Lâminas de irrigação de 0%, 50% e 100% da ETc (Figuras 4, 5 e 6 respectivamente) não são recomendáveis, pois ocorrem muitos pontos de umidades próximos ou até menores que o PMP, principalmente na fase reprodutiva, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

O modelo simples utilizado neste trabalho para caracterizar o balanço de água no solo demonstrou bom desempenho, porém o mesmo têm limitações, principalmente considerando a biologia da planta. Modelos de balanço de água no solo, como de Campbell & Diaz (1998), levam em consideração a área foliar e o crescimento radicular da planta durante o ciclo de desenvolvimento, estimando com maior precisão a evapotranspiração da cultura. Porém, a utilização de modelos mais complexos é dificultada em nível de produtor rural, devido à falta de informações para sua utilização.

Com a utilização do modelo de balanço de água no solo, produtores rurais poderão fazer uso dessa ferramenta para auxiliar no manejo da irrigação em arroz de terras baixas irrigado por aspersão. Porém, mais estudos devem ser realizados adaptando o modelo à biologia da planta e suas fases de desenvolvimento. Estudos sobre o coeficiente da cultura também são necessários, uma vez que foram identificadas exigências hídricas diferentes no estágio vegetativo comparado ao reprodutivo, com identificação de necessidade hídrica maior no período reprodutivo.

## 5 CONCLUSÃO

Lâminas de irrigação menores que 100% acarretam em conteúdo de água no solo próximo ou abaixo do ponto de murcha permanente, causando estresse hídrico às plantas, portanto sua utilização não é indicada.

O modelo utilizado teve maior correlação com dados observados de conteúdo de água no solo nas lâminas de 0 e 250% da evapotranspiração da cultura.

O modelo pode ser utilizado por agricultores, extensionistas e pesquisadores para monitoramento do conteúdo de água no solo durante o ciclo de desenvolvimento de arroz irrigado e programar irrigações, porém são necessárias melhorias para que se tenha maior precisão.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília: Embrapa, p.528, 2008.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, p. 300, 1998.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; CRUSCIOL, C. A. C. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao preparo do solo e à irrigação por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p. 871-879, 2001.
- BARTZ, A. C., MUTTONI, M., ALBERTO, C. M., STRECK, N. A., MACHADO, G. A., GIACOMELI, R. e da SILVA MOURA, D. Soma térmica em arroz de terras baixas irrigado por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.7, p. 475-484. 2017.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352p.
- BOSCO, L. C.; GRIMM, E. L.; STRECK, N. A. Crescimento e desenvolvimento genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não alagado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, p.796-804, 2009.
- BRIGGS, L.J.; SHANTZ, H.L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington DC. United States: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries, p. 83, 1912.
- CASA, R.; RUSSELL, G.; LO CASCIO, B.; ROSSINI, F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. **European Journal of Agronomy**, p. 267–278, 1999.
- CAMPBELL, G.S. & DIAZ, R. **Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration**. In: BIDINGER, F.R.; JOHANSEN, C. Drought research priorities for the dryland tropics. Parancheru, ICRISAT, p.15-26, 1988.
- COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, p.436-443, 2000.
- CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; MACHADO, J. R. Manejo de irrigação por aspersão com base no Kc e adubação mineral na cultura de arroz de terras altas. **Bragantia**, p.465-475, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 3ed. p.353, 2013.

FESSEHAZION, M. K. et al. Evaluating of soil water balance (SWB-Sci) model for water and nitrogen interactions in pasture: Example using annual ryegrass. **Agricultural Water Management**, p. 238-248, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Informações das culturas permanentes e temporárias do Brasil: IBGE, 2016.

ISMAEL, F.A.; BORGES P. F.; ARAÚJO L. S.; PEREIRA R.A.; LIMA E. M. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. **Gaia Scientia**, p. 62–66, 2015.

JANSSEN, P.H.M. & HEUBERGER, P.S.C. **Calibration of process-oriented models. Ecological Modelling**. v.8, p.55-56, 1995.

NASCIMENTO, P. S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. da S.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MANIERI, J. M. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga, Botucatu**. p. 193-207, 2010.

NOAA, Historical El Niño / La Niña episodes (1950 - present). [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)  
Acesso em 07/05/2018.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. p. 327-336, 2004.

PANTUWAN, G.; FUKAI, S.; COOPER, M.; RAJATASEREEKUL, S.; O'TOOLE, J.C. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowland. Plant factors contributing to drought resistance. **Field Crops Res**. p.181–200, 2002.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Campinas: FUNDAG, p. 323, 2013.

PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E. A. **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. Embrapa Informação Tecnológica, p.75-95. 2004.

REICHARDT, K. e TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, p.477, 2004.

RICHARDS, L. A. E WALDLEIG, C. H. Soil water and plant growth. In: Soil physical conditions and plant growth. **Madison, American Society of Agronomy**, p.31. 1952.

SILVA, E. F. dos; ASSIS JUNIOR, R. N. de; SOUZA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 389-396, 2005.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A. C.D.; GONDIM, P. S.S; SOUZA, E.S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira Ciência Solo**, p.147-157, 2014.

SOSBAI - Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas, SOSBAI, p.189, 2016.

SPANU, A., MURTAS, A., e BALLONE, F. Water use and crop coefficients in sprinkler irrigated rice. **Italian Journal of Agronomy**, v.4, p. 7-58, 2009.

SUL, Regional. **Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS, SC**. Porto Alegre. 10ª Edição, 2004.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; 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 Floresta, p. 336, 2011.