

Universidade Federal de Pelotas  
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



**Tese**

**Resposta do arroz irrigado à deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento da planta**

**Jaqueline Trombetta da Silva**

**Pelotas, 2018**

**Jaqueline Trombetta da Silva**

**Resposta do arroz irrigado à deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento da planta**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa

Co-orientador (es): Pesq. Dr. José Maria Barbat Parfitt

Pesq. Dra. Walkyria Bueno Scivittaro

Pelotas, 2018

Jaqueline Trombetta da Silva

Tese apresentada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 13/09/2018

Banca examinadora:

---

Professor Dr. Rogério Oliveira de Sousa (Presidente)  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

---

Pesquisador Dr. Germani Concenço  
Embrapa Clima Temperado

---

Professor Dr. Ledemar Carlos Vahl  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

---

Pós Doutoranda Juliana Britto Teixeira  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel

## **Agradecimentos**

À Deus em primeiro lugar, motivo da minha fé, por estar comigo em todos os momentos dessa caminhada e por tudo o que me concedeste.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo. E a Embrapa Clima temperado, pelas oportunidades, concessão da área experimental e equipe técnica.

Ao professor Rogério Oliveira de Sousa, pela disponibilidade e apoio de sempre, orientação, amizade, ensinamentos e experiências transmitidas durante o doutorado. E aos demais professores do PPG-MACSA pelos ensinamentos e atenção dedicados a todos os alunos.

À Drª Walkyria Bueno Scivittaro, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, pela co-orientação, ensinamentos, incentivo e pelo apoio e suporte de sempre e sua equipe de laboratório e campo, sempre dispostos a ajudar e por todo o suporte com a análise do material. E aos demais pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, que de uma maneira ou outra auxiliaram neste trabalho.

Ao também pesquisador da Embrapa Clima Temperado, José Maria Barbat Parfitt, um dos meus maiores incentivadores, pela recepção, incentivo, ajuda, ensinamentos e apoio de sempre, assim como pelos mates e conversas compartilhadas.

Ao técnico agrícola da Embrapa Clima Temperado Mikael Bueno, e aos funcionários de campo: Jayme Damasceno, Beto Lima, Moacir Furtado, Paulo Marques e Seu Ivo que foram fundamentais durante estes três anos de coleta de dados.

Aos meus orientadores de Doutorado Sanduíche Dr. Josephy Massey e Arline Advento Borbe pela recepção, carinho, cuidado e ensinamentos transmitidos durante o período que estive no USDA-Jonesboro/Arkansas. Assim, como ao time do USDA-Jonesboro/Arkansas, que tive o prazer de conviver e tê-los como amigos.

Aos amigos Josephy Massey e Karen Massey, Dalmo e Clenir e Timm Burcham e Joan pela hospitalidade, carinho e amizade durante os 6 meses de estadia nos EUA para o desenvolvimento do Doutorado Sanduíche.

À amiga Mara Ghros, que tive o prazer de conviver nos EUA e que me proporcionou momentos de descontração e leveza durante meu período nos EUA.

À Baixinha e Leda, fundamentais na reta final de doutorado e em uma fase desafiadora, pelos cuidados, hospitalidade, momentos de descontração e amizade e por dividirem sua família comigo, pessoas especiais que gosto muito.

Aos colegas de doutorado e da pós-graduação, do PPG-MACSA, pelo convívio, companheirismo, estudos e troca de experiências.

Aos colaboradores, bolsistas de iniciação científica da UFPel e da Embrapa, Victor, João, Rafael, Rodrigo, Cristiano, Charles e Thayse, pela amizade, convívio e ajuda na execução dos experimentos. E aos funcionários do Departamento de Solos, pela amizade, companheirismo e auxílio técnico, em especial a Rosane, Dona Ana e seu Paulo.

À Alexssandra Daiane Soares dos Santos e Pâmela Timm pela amizade e ajuda durante os anos de trabalho.

Aos amigos verdadeiros que a pós-graduação me proporcionou e também aos que não são do convívio acadêmico, pelo companheirismo e amizade, assim como, pelos momentos compartilhados. Em especial, as amigas Jaque, Marcia, Juliana, Marília e Renata, e ao amigo Xico e Antoniony pelos momentos de descontração e amizade.

Às minhas ex-colegas de apartamento e também amigas, Tuane, Thais, Bruna, Daiana e Claudia, por dividirem um lar comigo, assim como pelo respeito e amizade.

A minha irmã Janaina, pela amizade, cumplicidade, paciência, incentivo, e amor dispensados a mim sempre e ao meu cunhado Francis, pelo apoio. Também ao meu irmão Lucas, pelo apoio, carinho e amor.

Aos meus sobrinhos e afilhados Pedro e Miguel, presentes verdadeiros e lindos que Deus nos deu, pelos prazerosos momentos de alegria sincera e descontração.

Aos meus pais, Angela e Joacir, pelos ensinamentos de vida passados a mim e também pelo amor e cuidado incondicional, confiança depositada e grande incentivo. Vocês são exemplos de determinação e luta, foram fundamentais e importantes em todos os momentos. Minha gratidão sempre.

Às demais pessoas, amigos e familiares e colegas, não citados, que contribuíram de alguma forma nessa caminhada, muito obrigada.

## Resumo

**SILVA, Jaqueline Trombetta da. Resposta do arroz irrigado à deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento da planta.** 2018. 85p. Tese (Doutorado em Ciência) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Considerando as limitações atuais e cenários futuros de deficiência hídrica, a redução no uso da água é uma das prioridades do setor orizícola do Rio Grande do Sul, Brasil. Consequentemente, técnicas alternativas de manejo de água para a cultura, como a irrigação por inundação intermitente, têm sido propostas. Neste sistema de irrigação, a lavoura de arroz não é mantida continuamente inundada, de forma que o solo é submetido à alternância entre ciclos de umedecimento e secagem, até certo nível de déficit hídrico. Este trabalho teve por objetivo avaliar a adaptação do arroz à intermitência da irrigação nas fases vegetativa e reprodutiva e seu reflexo sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pela cultura. Para atingir este objetivo o trabalho foi dividido em dois capítulos. O objetivo do capítulo I foi determinar o efeito de níveis de deficiência no solo em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura sobre o desempenho agronômico e produtivo e a qualidade de grãos do arroz de três cultivares de arroz irrigado recomendadas para o estado do RS; e o capítulo II teve por objetivo caracterizar o acúmulo de matéria seca e dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) do arroz cultivado sob irrigação por inundação contínua e sob condição de deficiência hídrica no solo nas fases vegetativa e reprodutiva. O experimento foi realizado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, situada no município do Capão do Leão, RS, nas safras agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, utilizando-se, respectivamente, as cultivares de arroz irrigado BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL e BRS Pampa. No estudo I, foram avaliados quatro manejos da irrigação para o arroz: irrigação por inundação contínua com manutenção de lâmina de água média de 7,5 cm; irrigação com fornecimento intermitente de água, mantendo-se o solo saturado (0 kPa ou levemente superior); e dois níveis de déficit hídrico no solo, até 10 e até 40 kPa nos períodos vegetativo (V5 – R0), reprodutivo I (R1 – R4 + 10 dias) e reprodutivo II (R4 + 10 dias – R7). No estudo II, compararam-se os tratamentos com irrigação por inundação contínua ao longo do ciclo e com déficit hídrico de até 40 KPa aplicado nos períodos vegetativo (V5 – R0), reprodutivo I (R1 – R4 + 10 dias) e II (R4 + 10 dias – R7). No Capítulo I concluiu-se que as cultivares de arroz BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL e BRS Pampa são afetadas negativamente pela deficiência hídrica no solo de até 40 kPa imposta na fase vegetativa e no período inicial da fase reprodutiva, no entanto, a resposta é semelhante quando o estresse hídrico ocorre no período final da fase reprodutiva, sem influência negativa nos componentes de rendimento e consequentemente no rendimento de grãos. A deficiência hídrica no solo de até 40 kPa não influenciou a qualidade de grãos das três cultivares estudadas. No Capítulo II concluiu-se que a resposta das cultivares são distintas a deficiência hídrica no solo de até 40 kPa quando comparadas aos tratamento de irrigação contínua – Lâmina. O acúmulo de matéria seca foi influenciado negativamente pela deficiência hídrica na cultivar BRS Pampa, já na cultivar Puitá INTA-CL, ocorre quando a deficiência hídrica é imposta, no período reprodutivo, que compreende a fase de floração. Na

cultivar BRS Sinuelo e Pampa, quando o déficit hídrico ocorreu no final do período reprodutivo, maturação, houve aumento da produção de biomassa. As cultivares Puitá INTA-CL e BRS Pampa acumularam menores quantidades de nitrogênio quando o déficit hídrico ocorreu no período vegetativo. O fósforo e o potássio tem a absorção comprometida quando o estresse hídrico ocorre no período vegetativo, respectivamente nas cultivares Puitá INTA-CL e BRS Pampa e BRS Pampa, nos demais períodos de desenvolvimento não se observou efeito do déficit hídrico. De maneira geral, o ponto de máxima taxa de acúmulo de N e P foram diferentes para as cultivares e variaram em função do período em que ocorre a deficiência hídrica.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L., irrigação por inundação intermitente, tensão de água no solo, estado nutricional, qualidade do grão.

## Abstract

SILVA, Jaqueline Trombetta da. **Response of irrigated rice to water deficit in different stages of plant development.** 2018. 85p. Thesis (Doctorate in Science) - Graduate Program in Soil and Water Management and Conservation. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Considering the current limitations and future scenarios of water scarcity, the reduction in water consumption is one of the priorities of the rice industry in Rio Grande do Sul, Brazil. Therefore, alternative techniques of crop water management, such as intermittent flood irrigation, have been proposed. In this irrigation system, the rice crop is not kept continuously flooded so that the soil can be subjected to an alternation between wetting and drying cycles up to a certain level of water deficit. The objective of this work was to evaluate the adaptation of rice to intermittent irrigation in a vegetative and reproductive phases and its impact on the nutritional status and nutrient uptake by the crop. To reach this goal, this work was divided in two chapters. The objective of the first chapter was to determine the effect of levels of soil deficiency at different crop development over the agronomic and productive performance and rice grain quality of three irrigated rice cultivars recommended for the state of Rio Grande do Sul; the objective of the second chapter was to characterize the accumulation of dry matter and nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) of rice cultivated under continuous flood irrigation and under soil water deficiency conditions in the vegetative and reproductive phases. The experiment was carried out at Embrapa Clima Temperado Experimental Station, (ETB) located in the municipality of Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, in the agricultural crops 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017, respectively, using cultivars of irrigated rice BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL and BRS Pampa. In the first study, four rice irrigation managements were evaluated: continuous flood irrigation with maintenance of average water depth of 7.5 cm; irrigation with intermittent water supply, keeping the soil saturated (0 kPa or slightly higher); and two levels of soil water deficit, up to 10 and up to 40 kPa in the vegetative (V5 - R0), reproductive I (R1 - R4 + 10 days) and reproductive II (R4 + 10 days - R7) periods. In the second study, treatments with continuous flood irrigation along the cycle were compared to treatments with water deficit of up to 40 KPa applied in the vegetative (V5 - R0), reproductive I (R1 - R4 + 10 days) and II (R4 + 10 days - R7). In Chapter I, it was concluded that BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL and BRS Pampa rice cultivars are negatively affected by soil water deficiency of up to 40 kPa imposed in the vegetative phase and in the initial period of the reproductive phase; however, the response is similar when water stress occurs in the final period of the reproductive phase, without exerting negative influence on yield components and, consequently, on grain yield. Soil water deficiency up to 40 kPa did not influence the grain quality of the three cultivars studied. In Chapter II, it was concluded that the response of the cultivars is distinct to soil water deficiency up to 40 kPa when compared to the continuous irrigation treatment - Blade. Dry matter accumulation was negatively influenced by the water deficit in the BRS Pampa cultivar, while cultivar Puitá INTA-CL was affected when the water deficit was imposed during the reproductive period, which includes the flowering phase. As to the cultivar BRS Sinuelo and Pampa, there was an increase in the production of biomass when the water deficit occurred at the end of the reproductive period (maturation). The cultivars Puitá INTA-CL and BRS Pampa

accumulated lower amounts of nitrogen when the water deficit occurred in the vegetative period. Phosphorus and potassium absorption is compromised when water stress occurs in the vegetative period, respectively, for cultivars Puitá INTA-CL and BRS Pampa and BRS Pampa. In the other development periods, no effect caused by water deficit was observed. In general, the point of maximum accumulation rate of N and P was different for the cultivars and varied according to the period in which water deficiency occurs.

**Keywords:** *Oryza sativa L.*, intermittent flood irrigation, soil water stress, nutritional status, grain quality.

## **Lista de figuras**

### **Capítulo I**

Figura 1. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação acumulada, a cada sete dias, durante o Período Vegetativo (a), Reprodutivo I (b) e Reprodutivo II (c), na safra 2014/2015, cultivar BRS Sinuelo CL. Capão do Leão....26	
Figura 2. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação pluvial acumulada, a cada sete dias, durante os Períodos Vegetativo (a), Reprodutivo I (b) e Reprodutivo II (c), na safra 2015/2016, cultivar Puitá INTA-CL. Capão do Leão, RS. ....27	
Figura 3. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação pluvial acumulada, a cada sete dias, durante o Período Vegetativo – PV (a), Reprodutivo I – PRI (b) e Reprodutivo II – PRII (c), na safra 2016/2017, cultivar BRS Pampa. Capão do Leão, RS. ....29	
Figura 4. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e a estatura de plantas (cm) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS. ....30	
Figura 5. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e o número de grãos por panícula (unidade) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS. ....31	
Figura 6. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e a esterilidade de espiguetas (%) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II – PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c),	

respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.....	32
Figura 7. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média de água no solo (kPa) e o peso de 1000 grãos (g) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II – PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.....	34
Figura 8. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.....	35

## Capítulo II

Figura 1. Intervalo de confiança (95%) da produção de matéria seca (MS) em $\text{kg ha}^{-1}$ na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação continua – Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE). .....	56
Figura 2. Produção de biomassa (matéria seca) em $\text{kg ha}^{-1}$ na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação continua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE). .....	58
Figura 3. Produção de biomassa (matéria seca) em $\text{kg ha}^{-1}$ na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação continua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE). .....	60
Figura 4. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em $\text{kg ha}^{-1}$ na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação continua -	

Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	62
Figura 5. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	64
Figura 6. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	65
Figura 7. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	67
Figura 8. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	69
Figura 9. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	70
Figura 10. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE) .....	72

Figura 11. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE).....	74
Figura 12. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em kg ha <sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE).....	75

## **Lista de tabelas**

### **Capítulo I**

Tabela 1. Operações de manejo realizadas na condução dos experimentos nas três safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.....	21
Tabela 2. Número de irrigações nos diferentes manejos da água nas cultivares BRS Sinuelo CL, Puitá INTA CL e BRS Pampa e a precipitação acumulada (mm) nos períodos PV, PRI e PRII. Capão do Leão, RS. ....	24
Tabela 3. Percentuais de grãos inteiros (%) e quebrados (%) de arroz em função da tensão de água no solo nos períodos: vegetativo - PV, reprodutivo I – PRI e reprodutivo II – PRII, das cultivares de arroz BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL e BRS Pampa, respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS. ....	37

### **Capítulo II**

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo da área experimental nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.....	49
Tabela 2. Operações de manejo realizadas na condução dos experimentos nas três safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.....	51
Tabela 3. Tensão média de água (kPa) no solo atingida durante os períodos de desenvolvimento: vegetativo – PV, reprodutivo I – PRI e reprodutivo II – PRII para as três safras avaliadas.....	55

## **Sumário**

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. CAPÍTULO I - RESPOSTA DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES NÍVEIS E PERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA .....	17
2.1 Introdução .....	17
2.2 Material e métodos .....	19
2.2.1 Caracterização da área experimental .....	19
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	19
2.2.3 Implantação e condução do experimento.....	19
2.2.4 Controle da irrigação e monitoramento da tensão de água no solo.....	21
2.2.5 Amostragem e coleta de dados .....	22
2.2.6 Análise estatística.....	23
2.3 Resultados e discussão .....	24
2.3.1 Número de irrigações nas três safras agrícolas .....	24
2.3.2 Comportamento da tensão média de água no solo nas três safras agrícolas.....	25
2.3.3 Altura de planta .....	30
2.3.4 Componentes de rendimento e rendimento de grãos .....	31
2.3.4.1 Número de grãos por panícula .....	31
2.3.4.2 Esterilidade de espiguetas .....	32
2.3.4.3 Peso de 1000 grãos .....	33
2.3.4.4 Rendimento de grãos .....	34
2.3.5 Qualidade de grãos .....	37
2.4 Conclusões.....	39
2.5 Referências bibliográficas .....	40
3 CAPÍTULO II - ACÚMULO DE BIOMASSA E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NPK EM CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO, COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA NO SOLO ..	45
3.1 Introdução .....	45

3.2 Material e métodos .....	48
3.2.1 Caracterização da área experimental .....	48
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	49
3.2.3 Implantação e condução do experimento .....	50
3.2.4 Controle da irrigação e monitoramento da tensão de água no solo .....	51
3.2.5 Amostragem e coleta de dados .....	52
3.2.6 Análise estatística .....	53
3.3 Resultados e discussão .....	54
3.3.1 Deficiência hídrica ocorrido no solo .....	54
3.3.2 Matéria seca acumulada e marcha de absorção de NPK .....	55
3.3.2.1 Matéria seca acumulada .....	55
3.3.2.2 Marcha de absorção de Nitrogênio .....	61
3.3.2.3 Marcha de absorção de fósforo .....	66
3.3.2.4 Marcha de absorção de Potássio .....	71
3.4 Conclusões .....	77
3.5 Referências bibliográficas .....	78
4 Referências Bibliográficas .....	83

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é o alimento básico para mais de 3,5 bilhões de pessoas (MUTHAYA et al., 2014). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, 95% da população brasileira consomem arroz, sendo o Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR) os principais estados produtores de arroz do País, correspondendo a aproximadamente 1,26 milhões hectares de arroz, atingindo quase 10 mil toneladas produzidas (CONAB, 2016).

A quase totalidade das áreas cultivadas com arroz nesses dois estados são irrigadas por inundação contínua, utilizando elevados volumes de água (PINTO et al., 2016), em muitas situações, mais de  $10\text{ mil m}^3\text{ ha}^{-1}$ , para um período de irrigação de 80 a 100 dias (SOSBAI, 2016). Porém, diante do atual cenário e perspectivas futuras de limitação na disponibilidade de recursos hídricos, sistemas alternativos e mais eficientes de irrigação, em comparação à inundação contínua, têm sido propostos e avaliados quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental. Nesse sentido, um sistema promissor é a irrigação por inundação intermitente, também conhecido como pela sigla em inglês AWD - Alternate Wetting and Drying. Este sistema prevê a melhoria do aproveitamento da água da chuva, visto que pressupõe o fornecimento intermitente de água e ausência de inundação contínua da lavoura, estabelecendo ciclos alternados de secagem do solo por um ou mais dias, até um certo nível, após o desaparecimento da lâmina de água, quando a lavoura é irrigada novamente (LAMPAYAN et al., 2015).

O sistema AWD tem-se mostrado eficiente quanto à redução no uso de água pelo arroz em várias regiões do mundo (QUN et al., 2017; DASGUPTA et al., 2015; SARVESTANI et al., 2008), apresentando potencial de utilização nas principais regiões produtoras do Rio Grande do Sul, uma vez que favorece o melhor aproveitamento da água da chuva, em relação à inundação contínua, já que precipitação média nestas regiões equivale a 46% da evapotranspiração total da cultura, a qual se situa em torno de 650 mm (MOTA et al., 1990).

Apesar da substancial economia de água, os resultados relativos ao efeito do AWD sobre o rendimento de grãos do arroz são variáveis, sendo que alguns autores relatam incremento ou manutenção deste (NORTON et al., 2017; HOWELL et al., 2015) e outros, alguma redução do rendimento (QUN et al., 2017; DASGUPTA et al., 2015; SARVESTANI et al., 2008). Essa variabilidade de resultados está associada

ao fato de que vários fatores influenciam a resposta do arroz à deficiência hídrica, particularmente o tipo de solo, a intensidade e frequência da deficiência hídrica (CARRIJO et al., 2017), a fase do desenvolvimento da cultura em que a mesma ocorre (SARVESTANI et al., 2008) e a cultivar utilizada (ABBASI & SEPASKHAH, 2010). Assim, o conhecimento do nível de deficiência hídrica que a planta de arroz é capaz de suportar ao longo de seu ciclo de desenvolvimento torna-se fundamental.

Adicionalmente, a substituição da irrigação por inundação contínua pela irrigação intermitente (AWD) traz mudanças ao ambiente e ao sistema de cultivo do arroz, o que certamente exige adequações no manejo da cultura. Uma delas diz respeito ao manejo da adubação, uma vez que a inundação do solo interfere na disponibilidade de nutrientes. O efeito mais característico é o aumento da disponibilidade de fósforo e potássio para a cultura do arroz que, segundo Sousa (2010), ocorre devido ao desencadeamento de uma série de alterações físicas, químicas e biológicas, provocadas pelo ambiente anaeróbio. Contrariamente, o nitrogênio pode ter sua disponibilidade reduzida, especialmente na forma nítrica, onde ocorrem perdas por desnitrificação (VAHL & SOUSA, 2004), porém, na forma amoniacial, é mantido no solo após a submersão (BEYROUTY et al., 1994).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a adaptação do arroz à intermitência da irrigação nas fases vegetativa e reprodutiva e seu reflexo sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pela cultura. Para atingir este objetivo o trabalho foi dividido em dois capítulos. O objetivo do capítulo I foi determinar o efeito de níveis deficiência no solo em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura sobre o desempenho agronômico e produtivo e a qualidade de grãos do arroz de três cultivares de arroz irrigado recomendadas para o estado do RS; e o capítulo II teve por objetivo caracterizar o acúmulo de matéria seca e dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) no arroz cultivado sob irrigação por inundação contínua e sob condição de deficiência hídrica no solo nas fases vegetativa e reprodutiva.

## **2. CAPÍTULO I - RESPOSTA DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES NÍVEIS E PERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA**

### **2.1 Introdução**

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz, com uma produção média próxima das 12,9 milhões de toneladas de arroz na safra 2016/2017. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) deste total, 82% foram produzido sob irrigação em áreas de terras baixas, concentradas nos estados de Santa Catariana (SC) e do Rio Grande do Sul (RS) (FAGERIA et al., 2014). Assim como nos principais países produtores, no Rio Grande do Sul predomina o sistema irrigado por inundação contínua (AZAMBUJA, et al., 2004), requerendo a aplicação de volumes elevados de água.

No sistema irrigado por inundação contínua, para se produzir 1 kg de arroz são utilizados, aproximadamente, 1.200 L de água (BOUMAN, 2009), o que corresponde entre duas e três vezes mais água do que é necessária para a produção de outros cereais irrigados. Do total de água utilizada pela lavoura de arroz, 100% provêm da irrigação, ou seja, o sistema de irrigação atual não permite o aproveitamento da água da chuva. Isso gera diversos questionamentos sobre a eficiência do uso da água e o impacto ambiental da lavoura de arroz, trazendo à pesquisa e ao setor produtivo a necessidade de buscar sistemas produtivos mais eficientes quanto ao uso da água.

Nos últimos 20 anos, grandes esforços estão sendo realizados no intuito de desenvolver técnicas com foco na redução do uso da água pela lavoura de arroz (LAMPAYAN et al., 2015), avaliando-se sua adaptação e a viabilidade de incorporação ao sistema produtivo. Dentre as técnicas avaliadas, encontram-se a irrigação por aspersão (PINTO et al., 2016; KATO et al., 2009) e por inundação intermitente, ou seja, o sistema que alterna períodos de inundação e de solo aerado (Alternate Wetting and Drying – AWD) (NORTON et al., 2017, QUN et al., 2017, SHAIBU et al., 2015, AFIFAH et al., 2015; KIMA et al., 2014).

Sistemas como o AWD favorecem um melhor aproveitamento da água da chuva, devendo, pois, ser promissores nas regiões arrozeiras do estado do Rio Grande do Sul no que diz respeito à redução do uso da água. Esta afirmação

baseia-se nos resultados obtidos por Mota et al. (1990), os quais determinaram que as regiões arrozeiras do RS apresentam, durante o período de irrigação do arroz, precipitação pluvial correspondente, em média, a 46% da evapotranspiração total da cultura, a qual se situa em torno de 650 mm, indicando uma possibilidade real de aproveitamento da água da chuva para suprir a demanda hídrica do arroz.

Porém, as técnicas de redução do uso da água pelo arroz devem, também, manter ou incrementar a produtividade da cultura (NORTON et al., 2017). Todavia, para Bouman & Tuong (2001) e Price et al. (2013), a maior barreira à adoção generalizada da irrigação por inundação intermitente reside no fato de que os efeitos sobre o rendimento de grãos (positivos ou negativos) variam com o tipo de solo, clima, cultivar e as demais práticas de manejo. Já para Carrijo et al. (2017), o principal fator interferente na produtividade do arroz sob sistema de irrigação intermitente (AWD) é o limite do déficit hídrico no solo, bem como pela frequência e duração deste (BELDER et al., 2004).

Para Belder et al. (2004), a sensibilidade da planta de arroz ao déficit hídrico está relacionada com o estádio de desenvolvimento da planta, uma vez que a demanda de água da cultura varia de acordo com o mesmo. Quando o déficit hídrico ocorre na fase vegetativa, pode reduzir o número de perfis e, consequentemente, de panículas (WOPEREIS, 1996). Porém, os períodos críticos ao estresse causado pela falta de água correspondem, especialmente, aos estádios de iniciação da panícula (R0), floração (R4) e na fase inicial de enchimento de grãos (R5-R7) (AKRAM et al., 2013; DAVATGAR et al., 2009; SARVESTANI et al., 2008). Na floração e na fase de enchimento de grãos, o déficit hídrico pode causar esterilidade de espiguetas e, consequentemente, reduzir o número de grãos cheios (O'TOOLE, 1982). Após a floração, os principais prejuízos estão associados à redução no enchimento de grãos e à ocorrência de grãos gessados (CAI et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de níveis de deficiência no solo em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura sobre o desempenho agronômico e produtivo e a qualidade de grãos do arroz de três cultivares de arroz irrigado recomendadas para o estado do RS.

## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado sob condições de campo na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, RS. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008), característico das terras baixas onde se cultiva arroz irrigado por inundação do solo. O clima local é classificado como subtropical úmido com verões quentes, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual de 17,8°C e precipitação média anual de 1366,9 mm (normais climatológicas relativas ao período de 1971 a 2000) (EMBRAPA, 2016).

### 2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os fatores avaliados foram: estádio de desenvolvimento da planta de arroz e o nível de deficiência hídrica no solo. O fator estádio de desenvolvimento foi disposto nas parcelas principais (dimensões: 20 m x 4,6 m) e o fator nível de deficiência hídrica no solo, nas subparcelas (dimensões: 4,6 m x 3,5 m).

Os estádios de desenvolvimento da planta de arroz foram os seguintes: período vegetativo - PV (V5 - R0), período reprodutivo I - PRI (R1 a R4+10 dias) e período reprodutivo II - PRII (R4+10 dias a R7). Por sua vez, os níveis de deficiência hídrica do solo ao qual a cultura do arroz foi submetida foram: irrigação por inundação, com manutenção de lámina de água média de 7,5 cm (sempre tensão de 0 kPa); irrigação com manutenção do solo saturado (tensão de água no solo de 0 kPa ou levemente superior); e déficits hídricos no solo com tensões de água no solo até 10 e 40 kPa.

### 2.2.3 Implantação e condução do experimento

Os experimentos foram estabelecidos em sistema convencional de preparo do solo, que compreendeu operações de aração e gradagem, nas safras agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Na primeira safra, utilizou-se a cultivar BRS

Sinuelo CL, na segunda, a cultivar Puitá INTA CL e, na terceira, a cultivar BRS Pampa. A semeadura do arroz foi realizada de forma mecanizada, utilizando densidade de semeadura de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  nas três safras, com espaçamento de 0,175 m entre linhas. A adubação básica de semeadura e as duas adubações nitrogenadas em cobertura foram estabelecidas com base nos resultados da análise química de solo e considerando uma expectativa alta de resposta da cultura à adubação (REUNIÃO..., 2014). As doses e datas de aplicação dos fertilizantes constam na Tabela 1. Visando minimizar a interação do efeito do manejo do nitrogênio e da deficiência hídrica no solo, as adubações nitrogenadas em cobertura foram realizadas nos estádios de quatro folhas (V4) e iniciação da panícula (R0), e após as mesmas, as parcelas permaneceram com lâmina de água por um período de quatro dias, possibilitando a absorção do nutriente pela planta de arroz, para posteriormente serem drenadas.

Para o acompanhamento dos estádios fenológicos da planta de arroz, utilizou-se, como referência, a escala de Counce et al. (2000). Para a estimativa dos estádios de diferenciação da panícula (R1), foi utilizado o método de graus-dia (STEINMETZ et al., 2010) e de iniciação da panícula (R0), considerou-se que este ocorre com quatro dias de antecedência da diferenciação da panícula (CARLI et al., 2014).

As principais operações de campo realizadas durante a condução dos experimentos e os dados referentes ao desenvolvimento da cultura estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Operações de manejo realizadas na condução dos experimentos nas três safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.

		Data	Atividades
Safra	11/11/2014	Semeadura: Adubação de base: 250 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-20-30	
2014/2015	17/11/2014	Emergência	
Cultivar	09/12/2014	V4 – Adubação nitrogenada: (60 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
Sinuelo	10/01/2015	R0 - Adubação nitrogenada: (47,5 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
CL	06/02/2015	R4 – Floração	
	20/03/2015	Colheita	
Safra	16/11/2015	Semeadura: Adubação de base: 260 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-20-20	
2015/2016	29/11/2015	Emergência	
Cultivar	19/12/2015	V4 – Adubação nitrogenada: (55 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
Puitá	19/01/2016	R0 - Adubação nitrogenada: (55 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
INTA CL	17/02/2016	R4 – Floração	
	28/03/2016	Colheita	
Safra	08/11/2016	Semeadura: Adubação de base: 330 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-25-25	
2016/2017	21/11/2016	Emergência	
Cultivar	09/12/2016	V4 – Adubação nitrogenada: (60 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
BRS	17/01/2017	R0 - Adubação nitrogenada: (50 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
Pampa	05/02/2017	R4 – Floração	
	14/03/2017	Colheita	

#### 2.2.4 Controle da irrigação e monitoramento da tensão de água no solo

Para monitorar a tensão de água no solo, com exceção do tratamento com manutenção de lâmina de água contínua, foram instalados dois sensores (Watermark™ electro-tensiometers, Irrometer Co) por subparcela, na profundidade

de 10 cm. As leituras horárias da tensão de água no solo durante o período experimental foram armazenadas em dataloggers.

Todas as subparcelas foram dotadas de sistema individualizado de abastecimento de água e de drenagem, permitindo-lhes manejo da água independente. Para a efetivação dos tratamentos de irrigação com manutenção do solo saturado e de déficit hídrico programado, procedeu-se à drenagem das subparcelas experimentais no início dos períodos vegetativo: PV (V5) e reprodutivo: PRI (R1) e PRII (R4+10 dias). A decisão da retomada da irrigação foi baseada na média das tensões de água no solo das subparcelas, ou seja, quando o solo atingia as tensões de 0, 10 e 40 kPa, essas eram irrigadas e mantidas com uma lâmina de água por 24 horas, de forma que a tensão de água no solo retornasse ao valor zero (solo saturado). Nos períodos de desenvolvimento em que a cultura não esteve sob tratamento de manejo da irrigação, as parcelas foram irrigadas por inundaçāo, mantendo-se uma lâmina de água contínua com altura média de 7,5 cm.

## **2.2.5 Amostragem e coleta de dados**

No final do ciclo de cultivo do arroz, por ocasião da maturação de colheita (estádio R9), em cada subparcela, foram realizadas as medidas de estatura de planta, sendo avaliadas 10 plantas escolhidas ao acaso, medindo-se desde a superfície do solo até o comprimento final da panícula com o auxílio de uma régua graduada. Também foram coletadas, aleatoriamente, 10 panículas para determinação, em laboratório, do número de grãos por panícula, da esterilidade de espiguetas e da massa de 1000 grãos. Os grãos foram retirados manualmente das panículas e separados em grãos cheios e chochos através de um equipamento com circulação forçada de ar. A esterilidade de espiguetas foi realizada a partir da relação entre o número de espiguetas chochas e totais, sendo expressas em porcentagem (%). A massa de 1000 grãos foi determinada a partir dos grãos cheios, previamente separados em um equipamento de sistema automático totalizador de grãos, em oito repetições de 100 grãos. Posteriormente, as repetições foram pesadas e os resultados convertidos em peso de 1000 grãos (g), de acordo com as Regras para análise de sementes - RAS do Ministério da Agricultura pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009).

Para a contagem do número de colmos e de panículas, foram coletadas as plantas de duas linhas de 0,5 m de comprimento. A determinação do rendimento de grãos foi realizada a partir da colheita de uma área de 3,5 m<sup>2</sup> de cada unidade experimental. A colheita foi realizada de forma mecanizada, na safra 2014/2015, com o auxílio de uma colhedora de parcelas WINTERSTEIGER. Já nas safras 2015/2016 e 2016/2017, a colheita foi realizada manualmente. Posteriormente à colheita, as amostras foram trilhadas, limpas e secas. Finalmente foram pesadas, calculando-se o rendimento de grãos considerando-se umidade de 13%.

A avaliação da qualidade de grãos foi realizada através da determinação do rendimento de engenho, obtido através da porcentagem de grãos inteiros e quebrados. Para tal, utilizou uma amostra de 100 g de grãos de arroz em casca, a qual foi passada em um engenho de prova (Suzuki) por 20 segundos para o processo de remoção da casca e 1 minuto o processo de polimento dos grãos. Posteriormente, a amostra foi passada no “trieur” por 30 segundos, para a separação dos grãos inteiros e quebrados.

## **2.2.6 Análise estatística**

Para avaliar o comportamento da deficiência hídrica no solo, ocorrida durante as três safras agrícolas, foi realizada, por tratamento, regressão localizada com intervalo de confiança de 95% (CLEVELAND et al., 1988). Já o efeito do déficit hídrico sobre as variáveis estatura de planta, rendimento de grãos, componentes de rendimento e qualidade de grãos foi ajustado a modelos de regressão linear simples estabelecido entre essas variáveis e a tensão média de água no solo. A tensão média correspondeu à média das tensões medidas nos dois sensores das subparcelas, durante o período do tratamento de deficiência hídrica. Os dados foram analisados no ambiente “R”.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Número de irrigações nas três safras agrícolas

Na cultivar Sinuelo, os períodos de desenvolvimento (PV; PRI e PRII) tiveram duração de 27, 32 e 17 dias; para a cultivar Puitá, esses foram de 27, 32 e 15 dias e, para a cultivar Pampa, de 32, 28 e 13 dias, respectivamente. Na Tabela 2 consta a quantidade de vezes em que foram necessárias irrigações dentro de cada período. De forma geral, verificou-se que, para todas as cultivares, houve necessidade de irrigação e mesmo que essa tivesse duração de 24 horas, o propósito do experimento foi atingido. O PRII requereu menor número de irrigações, uma vez que foi mais curto para todas as cultivares. Cabe ressaltar que, em termos práticos, a tensão de 40 kPa é atingida no solo em estudo (Planossolo Háplico) entre 4 a 5 dias após a saturação do solo (na saturação o solo não está com lâmina de água, mas está com tensão de 0 kPa) e a tensão de 10 kPa corresponde à tensão de água no solo na capacidade de campo (PINTO et al., 2016).

Tabela 2. Número de irrigações nos diferentes manejos da água nas cultivares BRS Sinuelo CL, Puitá INTA CL e BRS Pampa e a precipitação acumulada (mm) nos períodos PV, PRI e PRII. Capão do Leão, RS.

Períodos de desenvolvimento	Precipitação acumulada (mm)	Nº de irrigações		
		0 kPa	10 kPa	40 kPa
<b>BRS Sinuelo CL</b>				
PV (V5 – R0)	144.4	12	8	3
PRI (R1 – R4+10 dias)	173.1	11	10	6
PRII (R4+10 dias – R7)	61.6	7	3	1
<b>Puitá INTA CL</b>				
PV (V5 – R0)	168.0	9	6	3
PRI (R1 – R4+10 dias)	83.1	13	9	6
PRII (R4+10 dias – R7)	39.1	6	2	2
<b>BRS Pampa</b>				
PV (V5 – R0)	198.7	9	6	5
PRI (R1 – R4+10 dias)	41.8	12	10	4
PRII (R4+10 dias – R7)	87.6	6	3	1

### **2.3.2 Comportamento da tensão média de água no solo nas três safras agrícolas**

Na Figura 1 observa-se o comportamento da tensão média de água no solo diária e a precipitação acumulada, a cada sete dias, na safra 2014/2015, onde se cultivou a BRS Sinuelo CL nos três períodos de déficit hídrico avaliados. Para os PV e PRI (Figura 1a e 1b), as tensões médias de água no solo diferiram significativamente entre si, sendo que, no tratamento de tensão de água no solo de 40 kPa, a tensão média variou entre 15 e 25 kPa e, no tratamento de 10 kPa, essa foi praticamente constante, variando entre 5 e 10 kPa. No tratamento de 0 kPa, os valores de tensão média de água no solo ficaram bem próximos desse valor. Para o PRII (Figura 1c), pode-se observar maiores valores de tensão média a partir do sétimo dia de avaliação, especialmente do tratamento de déficit hídrico de 40 kPa, que atingiu valores próximos de 30 kPa, sendo a única ocasião em que a tensão de 40 kPa foi atingida (Tabela 2). O comportamento da tensão média dos tratamento 0 e 10 kPa foi semelhante, apresentando valores próximos, embora significativamente diferentes, como mostra o intervalo de confiança. A pequena variação observada pode estar associada à menor duração desse período.

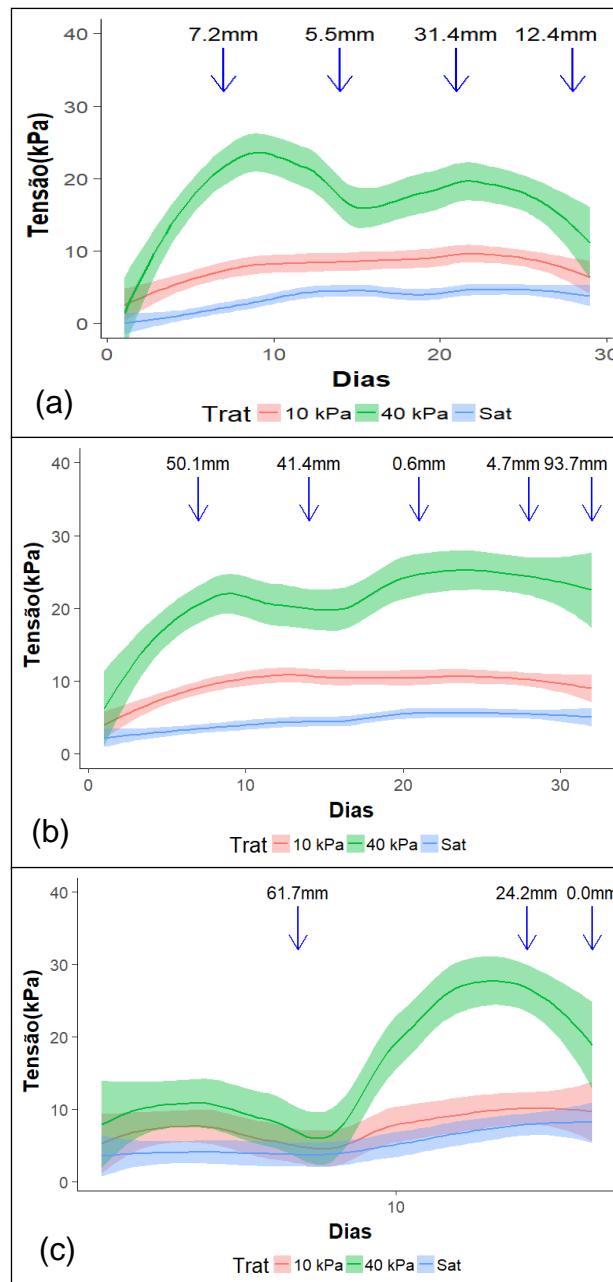


Figura 1. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação acumulada, a cada sete dias, durante o Período Vegetativo (a), Reprodutivo I (b) e Reprodutivo II (c), na safra 2014/2015, cultivar BRS Sinuelo CL. Capão do Leão.

Na safra 2015/2016, a tensão média de água no solo, no tratamento de 0 kPa, foi levemente superior durante os três períodos de tratamento, o que é esperado, já que é difícil manter a tensão em 0 kPa. Já no tratamento 10 kPa, ficou próxima a 5 kPa (Figura 2a). Por sua vez o tratamento 40 kPa variou entre 10 e 30 kPa, ao longo de todo o período de avaliação. No período PRI, as tensões dos diferentes tratamentos mostraram-se diferentes, principalmente na fase final. O tratamento com tensão média de água no solo de 0 kPa manteve-se próximo desse valor e o de

tensão 10 kPa, em torno de 5 kPa. O tratamento com tensão de 40 kPa variou entre 10 e 30 kPa. No PRII (Figura 2c), a tensão de 40 kPa foi atingida em duas ocasiões (Tabela 2), com tensão média de água no solo variando entre 10 e 20 kPa. No entanto, foi um período com precipitações intensas, que devem ter determinado os valores de tensão média medidos.

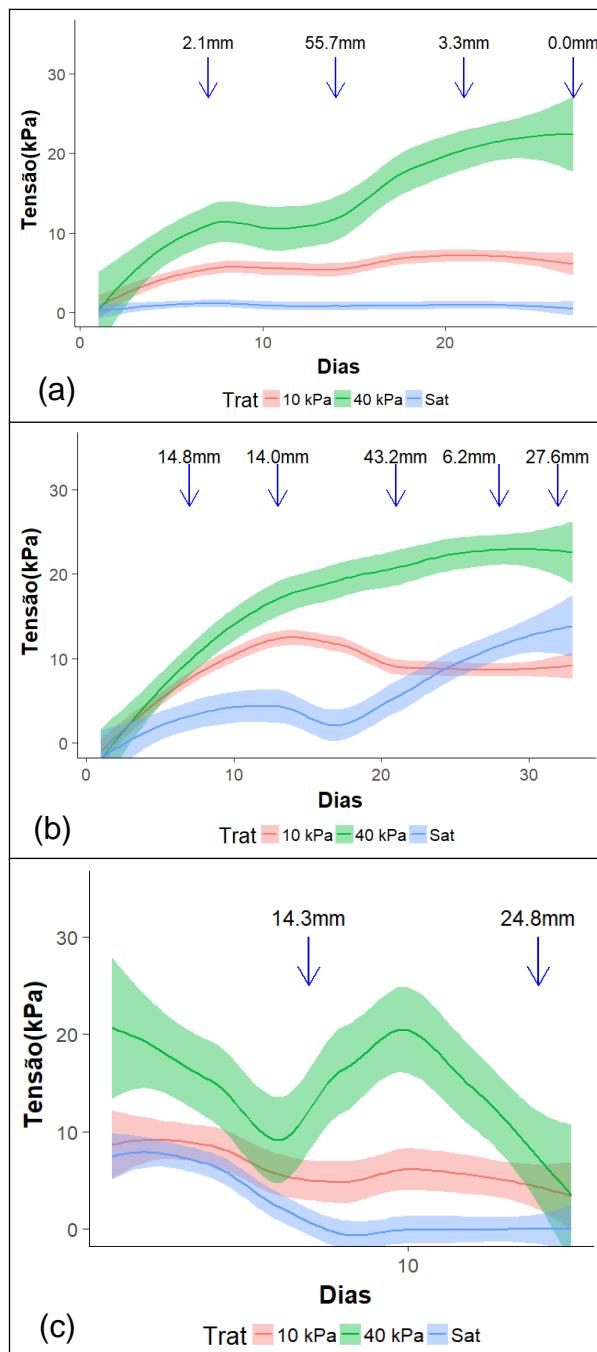


Figura 2. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação pluvial acumulada, a cada sete dias, durante os Períodos Vegetativo (a), Reprodutivo I (b) e Reprodutivo II (c), na safra 2015/2016, cultivar Puitá INTA-CL. Capão do Leão, RS.

Na safra 2016/2017, com a cultivar BRS Pampa, observa-se que, no PV (Figura 3a), a máxima tensão média de água no solo ficou em torno de 10 kPa, embora tenha atingido cinco vezes a tensão de 40 kPa (Tabela 2), ou seja, os tratamentos de 0, 10 e 40 kPa tiveram comportamento semelhante quanto à tensão média de água no solo, com valores próximos, embora o tratamento 40 e 0 kPa tenham sido, em grande parte do período de avaliação estatisticamente distintos. Atribui-se esse comportamento à elevada precipitação ocorrida durante o período. Já durante o PRI (Figura 3b), os tratamentos 0, 10 e 40 kPa diferiram entre si durante praticamente todo o período, sendo a tensão média de água no solo no tratamento de 40 kPa superior, quando comparada ao PV (Figura 3a), ficando próxima de 15 kPa. O PRII (Figura 3c) foi semelhante ao PV e as tensões médias de água no solo dos diferentes tratamentos não apresentaram diferenças significativas, sendo que permaneceram abaixo de 10 kPa na maioria dos dias. Cabe salientar que, para o tratamento 0 kPa, os valores de tensão média foram próximos de 5 kPa, muito embora devessem ser mais próximos possíveis de 0 kPa. Esta variação no valor do tratamento pode ser atribuída às leituras das tensões e às eventuais irrigações, as quais eram realizadas pela manhã e, dependendo das condições climáticas do dia, podem ter promovido significativa elevação da tensão de água do solo.

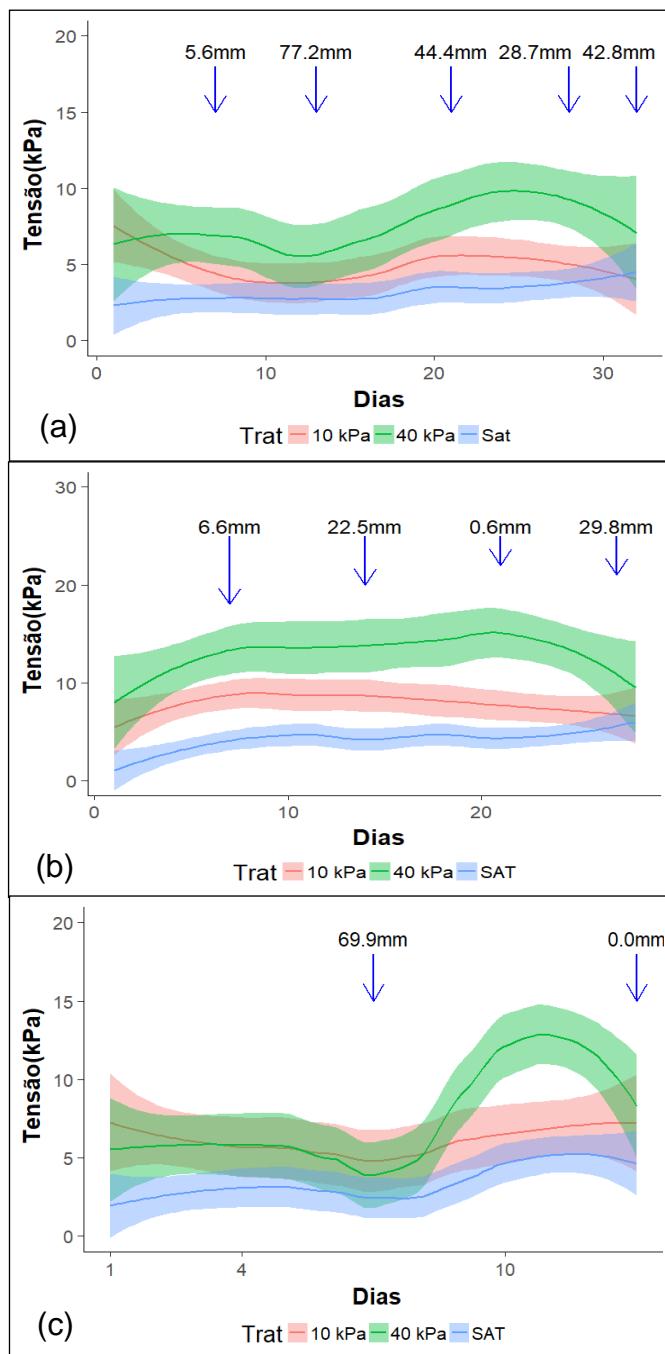


Figura 3. Comportamento da tensão média de água no solo em função do tempo, em cada tratamento, com intervalo de confiança de 95% e a precipitação pluvial acumulada, a cada sete dias, durante o Período Vegetativo – PV (a), Reprodutivo I – PRI (b) e Reprodutivo II – PRII (c), na safra 2016/2017, cultivar BRS Pampa. Capão do Leão, RS.

### 2.3.3 Altura de planta

A deficiência hídrica no solo influenciou a estatura das plantas de arroz da cultivar BRS Sinuelo CL nos períodos PV e PRI (Figura 4a), bem como em PRI, para a cultivar Puitá INTA-CL (Figura 4b). A cultivar Puitá INTA-CL apresenta elevado vigor inicial, característica que explica, parcialmente, o fato de a redução na estatura das plantas ocorrer apenas na fase inicial do período reprodutivo – PRI (Figura 4b). Na fase final do período reprodutivo – PRII não se observou efeito da deficiência hídrica em nenhuma das safras estudadas (Figura 1a, b e c).

Ao estudar o efeito do estresse hídrico na cultivar de arroz Hashemi, do tipo anã e tradicionalmente cultivada no Irã, nas fases de perfilhamento pleno, emborrachamento e 50% da floração, Davatgar et al. (2009) observaram redução da estatura das plantas decorrente de estresse hídrico severo, somente quando procedido no perfilhamento pleno. Por sua vez, Patel et al. (2010) verificaram redução na estatura do arroz resultante da redução na quantidade de água utilizada na irrigação nos estádios de iniciação da panícula (R0) e exserção da panícula (R3).

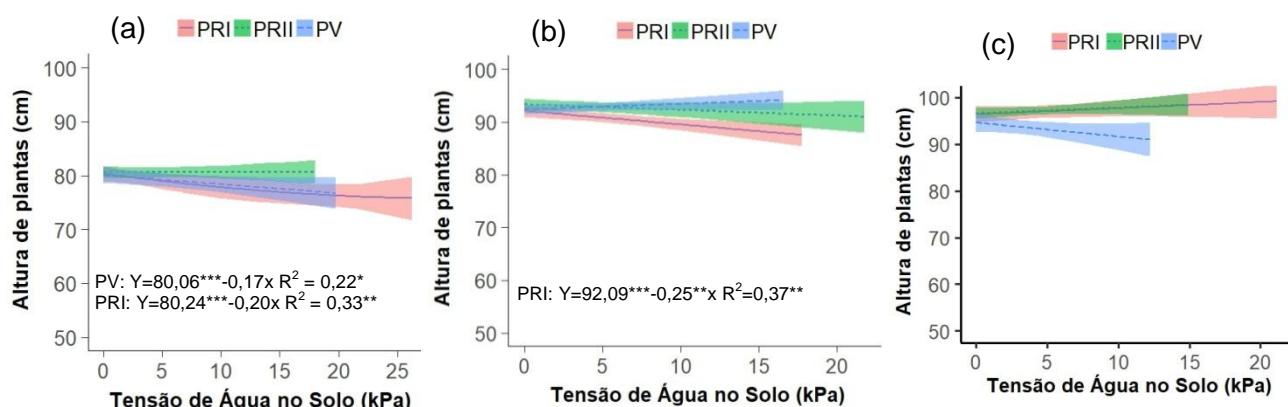


Figura 4. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e a estatura de plantas (cm) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

Em condições de déficit hídrico, normalmente as plantas apresentam desenvolvimento vegetativo reduzido. Esse estresse pode atrasar o desenvolvimento fenológico das plantas, com reflexo sobre a estatura (PATEL et al., 2010), uma vez que a deficiência hídrica inibe o alongamento ou a divisão celular (DAVATGAR et al., 2009). Ainda de acordo com Jones (1992), o déficit hídrico no

solos afeta a fotossíntese e a absorção de íons, reduzindo a taxa de crescimento, sendo essa redução uma característica adaptativa de sobrevivência das plantas.

### 2.3.4 Componentes de rendimento e rendimento de grãos

#### 2.3.4.1 Número de grãos por panícula

A deficiência hídrica no solo influenciou a variável número de grãos por panícula durante os períodos vegetativo (PV) e inicial da fase reprodutiva (PRI), para a cultivar Puitá INTA-CL (Figura 5) e durante o período vegetativo (PV), para a cultivar BRS Pampa (Figura 5c). Já, durante o PRII (Figura 5 a, b e c) não se observou efeito significativo sobre o número de grãos por panícula de nenhuma das cultivares estudadas.

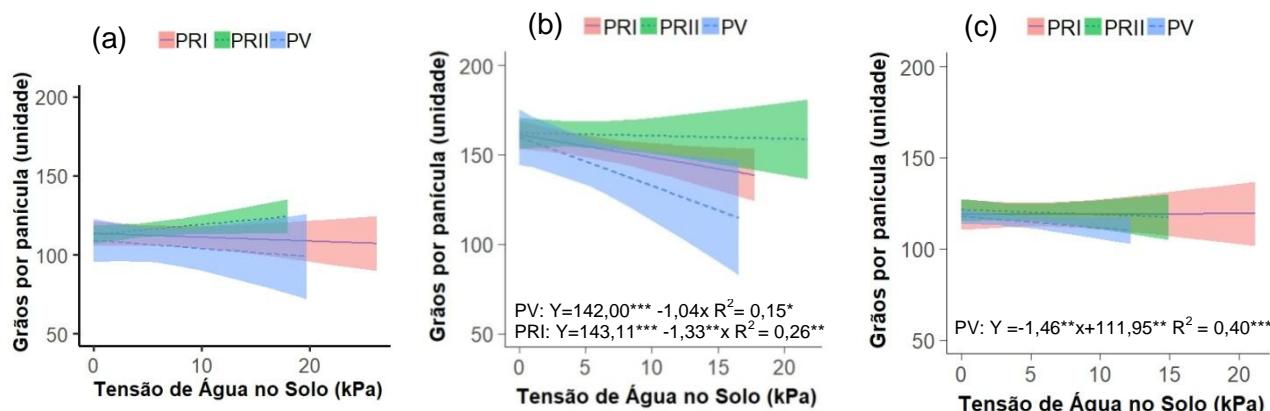


Figura 5. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e o número de grãos por panícula (unidade) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

Observa-se que a redução do número de grãos por panícula esteve associada ao aumento de tensão média de água no solo até os limites de 16,57 e 17,77 kPa, respectivamente, para os períodos PV e PRI (Figura 5). Fong et al. (2016) também observaram redução significativa, de aproximadamente 33%, do número de grãos por panícula na cultivar de arroz Koshihikari, cultivada de forma aeróbia, em relação a irrigação por inundação contínua.

Na cultura do arroz, o número de grãos por panícula é biologicamente definido no estádio de iniciação da panícula (GOMES & MAGALHÃES JÚNIOR, 2004), o que explica a redução nesse componente de rendimento verificada quando

o estresse hídrico ocorreu em PRI. No período vegetativo, porém, o efeito verificado pode estar associado ao fato de a planta de arroz armazenar grandes quantidades de substâncias de reserva.

#### 2.3.4.2 Esterilidade de espiguetas

A variável esterilidade de espiguetas foi significativamente influenciada pelo déficit hídrico no solo em PRI, para a cultivar BRS Sinuelo CL, e no PV, para a cultivar BRS Pampa, com aumento na esterilidade em resposta à elevação da intensidade da deficiência hídrica no solo (Figura 6a e 6b). No PRII, a deficiência hídrica no solo não afetou a esterilidade de espiguetas (Figura 6 a, b e c).

Na cultivar BRS Pampa, pode-se observar aumento de quase 10% (Figura 6a) e 20% (Figura 6b) na esterilidade de espiguetas decorrente do aumento da tensão média de água no solo até 26,22 kPa (Figura 6a) e 12,52 kPa (Figura 6b), comparativamente à condição de irrigação por inundação com manutenção de lâmina de água, ou seja, sem estresse hídrico. Fong et al. (2016) também observaram maior esterilidade de espiguetas em arroz cultivado sem irrigação, durante todo o ciclo da cultura, comparativamente aos manejos por inundação contínua durante todo o ciclo e com supressão da irrigação após a floração.

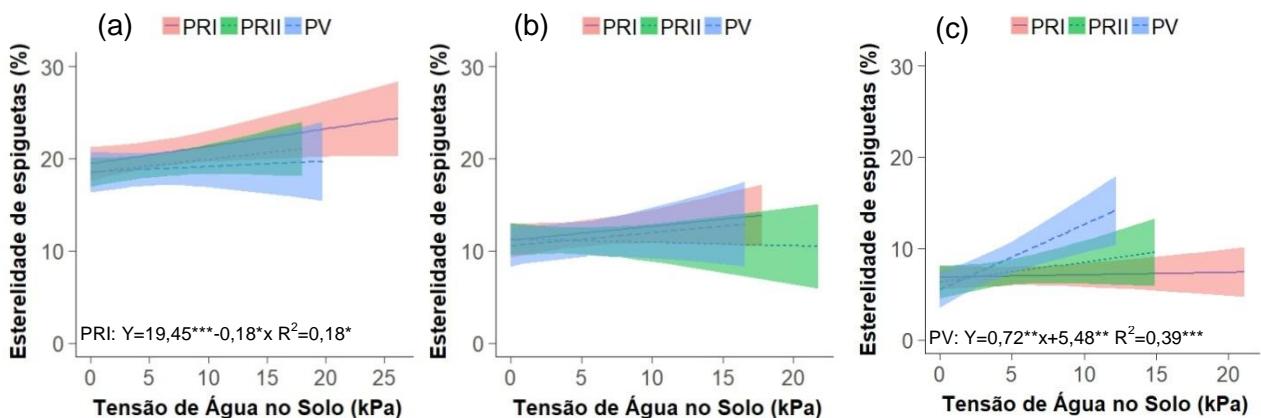


Figura 6. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e a esterilidade de espiguetas (%) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II – PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

No período reprodutivo, os cereais apresentam maior sensibilidade a estresses bióticos e abióticos (TAIZ & ZEIGER, 2009), como o déficit hídrico do solo e, consequente, o estresse hídrico na planta. Porém, o efeito da deficiência hídrica é

especialmente intenso por ocasião da iniciação da panícula e floração, quando pode ocasionar maior esterilidade de espiguetas, devido à diminuição do potencial de água na panícula (FAROQ et al., 2011) e aumento da resistência à transpiração das panículas (GARRITY et al., 1994). Da mesma forma, a ocorrência de temperaturas baixas durante a formação do grão de pólen (FARRELL et al., 2006) ou de temperaturas elevadas na antese, superiores a 35°C, podem diminuir a fertilidade de espiguetas em arroz (JAGADISH et al., 2007).

Cabe salientar que as tensões médias de água no solo durante a safra 2016/2017, quando se cultivou a cultivar BRS Pampa (Figura 3), atingiram valores próximos para todos os tratamentos, especialmente aqueles com tensão de água no solo 0 e 10 kPa, não diferindo estatisticamente entre si durante praticamente todo o período vegetativo (PV), razão pela qual não se esperaria diferenças entre os tratamento. Além disso, não há referências na literatura sobre o efeito de estresses abióticos, como estresse por excesso de calor ou frio ou estresse hídrico, ocorridos durante o período vegetativo como determinantes da esterilidade de espiguetas em arroz.

#### **2.3.4.3 Peso de 1000 grãos**

Quanto à variável peso de 1000 grãos, somente não se observou efeito do déficit hídrico no solo procedido em PRII nas três safras (Figura 7 a, b e c). O peso de 1000 grãos de arroz reduziu com o aumento da tensão de água no solo no PV, para a cultivar BRS Sinuelo CL (Figura 7a), safra 2014/2015. Para as cultivares Puitá INTA-CL (Figura 7b) e BRS Pampa (figura 7c), a redução no peso de 1000 grãos ocorreu no PRI e PRI e PRI, respectivamente. Segundo Sarvestani et al. (2008), o estresse hídrico em diferentes fases de desenvolvimento da cultura pode diminuir a translocação de assimilados para os grãos, reduzindo sua massa e aumentando a esterilidade de espiguetas. Alguns trabalhos indicam que a menor umidade do solo ou o estresse hídrico durante diferentes fases do ciclo biológico da planta podem inibir a fotossíntese e diminuir a translocação de assimilados para os grãos, reduzindo seu peso (LIU et al., 2008; RAHMAN, 2002), podendo, também, estar relacionados com a redução na capacidade do endosperma de acumular amido, tanto em termos de taxa como de duração (YANG & ZHANG, 2006).

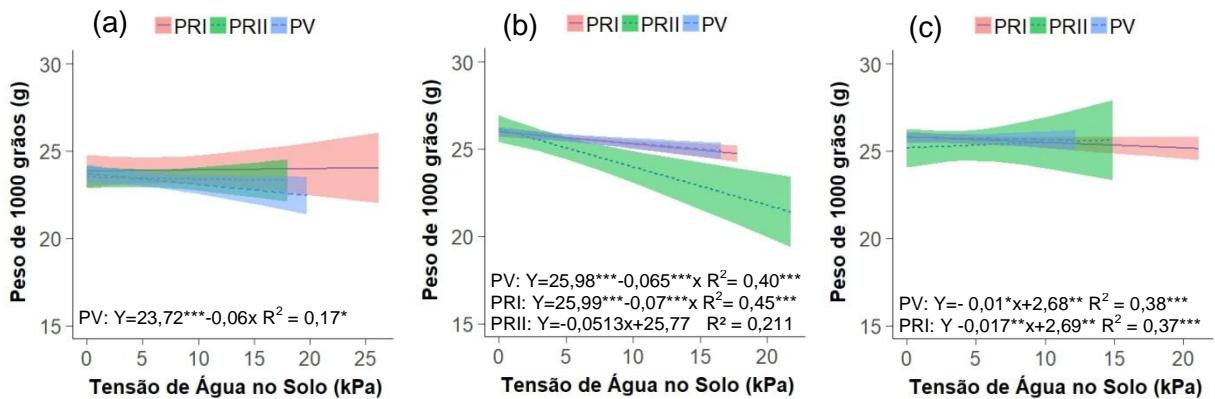


Figura 7. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média de água no solo (kPa) e o peso de 1000 grãos (g) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II – PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

#### 2.3.4.4 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos, das cultivares Puitá INTA-CL e BRS Pampa foram muito próximos e maiores que os determinados para a cultivar BRS Sinuelo CL, (Figura 8 a, b e c). A tensão média de água no solo influenciou o rendimento de grãos no período vegetativo, para as três cultivares estudadas, e no início do período reprodutivo (PRI) para as cultivares BRS Sinuelo CL e Puitá INTA-CL, sendo possível observar que, à medida que a tensão média de água no solo aumentou, o rendimento de grãos diminuiu (Figura 8 a, b, c). Já no PRII, não se observou efeito da tensão média de água no solo em nenhuma das três safras estudadas (Figura 8 a, b e c).

Para a cultivar BRS Sinuelo CL, na safra 2014/2015, as tensões médias máximas atingidas foram de 18,95 e 26,22 kPa, respectivamente, nos períodos PV e PRI (Figura 8a). Por sua vez, para a cultivar Puitá INTA-CL, na safra 2015/2016, de 16,57, no PV, e 17,77 kPa, no PRI (Figura 8b). Para a cultivar BRS Pampa, na safra 2016/2017, a tensão média máxima foi de 12,22 kPa, no PV (Figura 8c), sendo menor do que as tensões medidas nas safras anteriores.

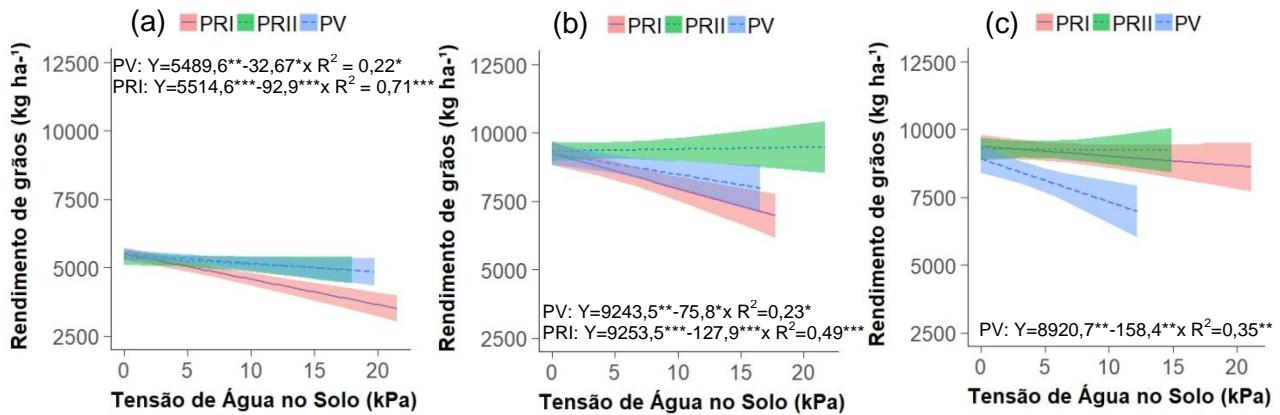


Figura 8. Análise de regressão linear e intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) entre a tensão média da água no solo (kPa) e o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arroz nos períodos de desenvolvimento: vegetativo - PV; reprodutivo I - PRI e reprodutivo II - PRII, para as cultivares BRS Sinuelo CL (a), Puitá INTA-CL (b) e BRS Pampa (c), respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

Com exceção da cultivar BRS Pampa, o período reprodutivo inicial (PRI) apresentou maior redução no rendimento de grãos, quando comparado ao PV (Figura 8 a, b). Esse resultado corrobora observações de Dasgupta et al. (2015) e Savestani et al. (2008), que também verificaram reduções no rendimento de grãos decorrente do estresse hídrico na fase reprodutiva, sendo que a redução pode chegar a 50% e 21%, quando o déficit hídrico é imposto nas fases reprodutiva e vegetativa, respectivamente. No entanto, é importante ressaltar que para a cultivar BRS Pampa não se observou efeito significativo da tensão média de água no solo sobre o rendimento de grãos mesmo no PRI, o que pode estar atribuído a diferenças entre as safras, já que as cultivares foram cultivadas em anos distintos.

Na cultivar BRS Pampa, o déficit hídrico no solo durante o PRI foi menos frequente, ou seja, a tensão de água no solo pré-determinada de 40 kPa foi atingida duas vezes menos que nas safras anteriores (Tabela 2), o que pode estar atribuído as variações climáticas que são distintas em cada safra. Esse resultado sugere que a cultivar BRS Pampa, que apresenta alto potencial produtivo e excelente qualidade de grãos (MAGALHÃES JÚNIOR, 2011), apresenta maior sensibilidade à deficiência hídrica na fase vegetativa. Essa informação é útil na indicação de manejo para a cultivar ao setor produtivo, especialmente quanto a técnicas para economizar água,

devendo-se para essa cultivar específica evitar períodos de déficit hídrico especialmente na fase vegetativa.

No entanto, há relatos na literatura de que o rendimento de grãos de arroz não é afetado quando a cultura é submetida a ciclos de intermitência da irrigação (AWD) durante praticamente todo o ciclo, com exceção da fase de floração (LAMPAYAN et al., 2014). Para Carrijo et al. (2017), que analisaram mais de 50 artigos sobre manejos alternativos de irrigação para o arroz, como o AWD, verificaram que a produtividade de grãos é fortemente influenciada pelo nível de déficit hídrico no solo. Para estes autores, quando a tensão de água no solo atinge valores médios, menores ou igual a 20 kPa, a produtividade de grãos não é afetada; contrariamente, quando essa atinge valores elevados, maiores que 20 kPa, a redução na produtividade de grãos é observada. Qun et al. (2017) também determinaram incremento e redução na produtividade de grãos com irrigação decorrente de manejo intermitente da irrigação para o arroz (AWD), com déficit hídrico no solo médio (tensão de água no solo de 15 kPa) e severo (tensão de água no solo de 30 kPa), respectivamente, comparativamente à irrigação por inundaçāo contínua.

O rendimento de grãos é determinado pela associação dos componentes número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula, esterilidade de espiguetas e peso de 1000 grãos (GOMES & MAGALHĀES JÚNIOR, 2004). Assim, na safra 2014/2015, a redução de produtividade verificada para a cultivar BRS Sinuelo CL esteve associada, especialmente, ao menor peso de grãos e ao aumento da esterilidade de espiguetas, durante o PRI, e à redução do peso de 1000 grãos, no PV. Já a cultivar Puitá INTA CL apresentou, além de menor peso de grãos, menor número de grãos por panícula, tanto no PV como no PRI, e a cultivar BRS Pampa apresentou maior esterilidade de espiguetas no PV e menor peso de grãos em PRI. Guimarães et al. (2008) relataram que, entre diversas características estudadas, o índice de colheita, o peso de 1000 grãos e a esterilidade de espiguetas são as que mais se correlacionam com a produtividade de grãos, ou seja, o aumento da produtividade se dá pelo aumento da massa de grãos e pela redução da esterilidade de espiguetas.

### 2.3.5 Qualidade de grãos

Os resultados de rendimento de engenho (percentuais de grãos inteiros e quebrados) das cultivares estudadas são apresentados na Tabela 3, não se tendo determinado efeito dos tratamentos para ambas as variáveis. Os valores médios de grãos inteiros e quebrados para a cultivar BRS Sinuelo CL, nos períodos PV, PRI e PRII foram, respectivamente, 64,5%, 64,3% e 64,3% e 5,39%, 5,64% e 5,58%. Para a cultivar Puitá INTA-CL, os valores médios determinados de grãos inteiros e quebrados nos períodos PV, PRI e PRII foram, respectivamente, 65,5%, 65,1% e 65,0% e 4,82%, 5,66% e 5,93%. Já para a cultivar BRS Pampa, os valores foram, respectivamente, 58,0%, 59,2%, 58,2% e 8,3%, 8,1% e 8,8%.

Tabela 3. Percentuais de grãos inteiros (%) e quebrados (%) de arroz em função da tensão de água no solo nos períodos: vegetativo - PV, reprodutivo I – PRI e reprodutivo II – PRII, das cultivares de arroz BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL e BRS Pampa, respectivamente, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Capão do Leão, RS.

PD	Trat.	BRS Sinuelo CL		Puitá INTA-CL		BRS Pampa	
		G. inteiros	G. quebrado	G. inteiros	G. quebrados	G. inteiros	G. quebrados
		%	%	%	%	%	%
PV	Lâm.	64,3 <sup>NS*</sup>	5,78 <sup>NS</sup>	64,7 <sup>NS*</sup>	5,19 <sup>NS</sup>	59,3 <sup>NS*</sup>	8,1 <sup>NS</sup>
	Sat.	63,7	5,58	66,1	4,70	57,5	8,5
	10 kPa	64,7	5,18	65,5	4,27	58,5	7,9
	40 kPa	65,5	5,05	65,5	5,12	57,9	8,4
	Média	64,5	5,39	65,5	4,82	58,0	8,3
PRI	Lâm.	65,3 <sup>NS</sup>	5,35 <sup>NS</sup>	64,8 <sup>NS</sup>	5,76 <sup>NS</sup>	59,3 <sup>NS</sup>	8,1 <sup>NS</sup>
	Sat.	63,8	5,45	65,1	5,67	59,6	7,9
	10 kPa	64,6	5,78	65,2	5,40	58,4	8,5
	40 kPa	63,6	6,00	65,6	5,81	59,7	7,9
	Média	64,3	5,64	65,1	5,66	59,2	8,1
PRII	Lâm.	64,5 <sup>NS</sup>	5,73 <sup>NS</sup>	63,9 <sup>NS</sup>	6,05 <sup>NS</sup>	59,3 <sup>NS</sup>	8,1 <sup>NS</sup>
	Sat.	64,2	5,78	65,2	6,18	58,8	8,6
	10 kPa	64,1	5,48	66,2	4,96	57,3	9,2
	40 kPa	64,4	5,33	64,9	6,51	58,5	8,7
	Média	64,3	5,58	65,0	5,93	58,2	8,8

\*Análise de regressão não significativa entre as tensões médias no período de estresse hídrico e os indicadores de qualidade de grãos dentro do período de desenvolvimento analisado. PD: período de desenvolvimento. Lâm. =Lâmina; Sat.=Saturado.

Observa-se que as cultivares BRS Sinuelo CL e Puitá INTA-CL apresentaram valores semelhantes (Tabelas 3). Entretanto, embora ainda com bons resultados, a cultivar BRS Pampa (Tabela 3) teve menor proporção de grãos inteiros e maior proporção de grãos quebrados do que as demais cultivares. Segundo Magalhães et

al. (2011), o rendimento industrial dos grãos de arroz em condições normais de manejo é superior a 61% de grãos inteiros polidos, com renda total de 69%; assim, verifica-se que os valores obtidos nesse experimento, mesmo tendo efeito de estresse hídrico, foram satisfatórios.

Da Tabela 3, pode-se verificar, também, que o déficit hídrico não influenciou a porcentagem de grãos inteiros e quebrados nas três cultivares e períodos de desenvolvimento avaliados, ou seja, não houve diferenças entre os períodos de desenvolvimento, diferindo do que foi observado por Xie et al. (2001), segundo os quais a ocorrência de déficit hídrico na fase de enchimento de grãos tem maior influência na qualidade de grãos do arroz.

Embora alguns trabalhos indiquem pontualmente que o estresse hídrico tem marcada influência negativa sobre a qualidade de grãos de arroz, principalmente quando o estresse ocorre durante a fase de enchimento de grãos (DINGKUHN et al., 1996), os dados relativos a três safras e três diferentes cultivares avaliadas neste estudo discordam com a informação supramencionada. Assim, acredita-se que os déficits hídricos ocorridos no solo ou na planta, nos estudos que encontraram efeito sobre a qualidade de grãos tenham ter sido mais severos do que os verificados neste trabalho, explicando as diferenças encontradas.

## 2.4 Conclusões

As cultivares de arroz BRS Sinuelo CL, Puitá INTA-CL e BRS Pampa são afetadas negativamente pela deficiência hídrica de até 40 kPa de tensão de água no solo, na fase vegetativa e reprodutiva inicial. No período final da fase reprodutiva, o déficit hídrico no solo não apresenta efeito negativo sobre as cultivares.

Na cultivar BRS Sinuelo CL a deficiência hídrica no solo, no período vegetativo, reduz a altura de plantas, o rendimento de grãos e peso de mil grãos. No início da fase reprodutiva, esse estresse afeta a esterilidade de espiguetas e o rendimento de grãos, sendo mais sensível ao estresse hídrico na fase reprodutiva que na vegetativa.

A deficiência hídrica no solo, durante a fase vegetativa, reduz o número de grãos por panícula e o peso de mil grãos, bem como o rendimento de grãos da cultivar Puitá INTA-CL. No início da fase reprodutiva, o déficit hídrico reduz o crescimento da planta, o número de grãos por panícula, o peso de mil grãos e o rendimento de grãos, sendo, a fase reprodutiva inicial a mais sensível a deficiência hídrica no solo.

A cultivar BRS Pampa mostra-se menos sensível à deficiência hídrica ao longo do ciclo. Na fase vegetativa, a deficiência hídrica afeta o peso de mil grãos e a esterilidade de espiguetas. Já no período inicial da fase reprodutiva, apenas o peso de mil grãos é reduzido, sendo, a deficiência hídrica no solo somente afeta o rendimento de grãos durante a fase vegetativa.

A ocorrência de déficit hídrico no solo de até 40 kPa, em diferentes fases do ciclo biológico do arroz não influencia o rendimento de engenho de cultivares de arroz desenvolvidas em programas de melhoramento de arroz para irrigação por inundação contínua.

## 2.5 Referências bibliográficas

- ABBASI, M. R.; SEPASKHAH, A. R. Response of different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) to water-saving irrigation in greenhouse conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 5, n. 1, p. 37-48, 2012.
- AFIFAH, A.; JAHAN, M. S.; KHAIRI, M.; NOZULAIIDI, M. Effect of various water regimes on rice production in lowland irrigation. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 2, p. 153, 2015.
- AKRAM, H. M., ALI, A., SATTAR, A., REHMAN, H. S. U.; BIBI, A. Impact of water deficit stress on various physiological and agronomic traits of three basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Journal of animal and Plant Sciences**, v. 23, n. 5, p. 1415-1423, 2013.
- AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI Jr., F. J.; MAGALHÃES Jr., A. M.. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 23-41, 2004.
- BELDER, P.; BOUMAN, B. A. M.; CABANGON, R. J.; LU, G., QUILANG, E. J. P.; LI, Y.; SPIERTZ, J.H.J.; TUONG, T. P., 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, v. 65, n. 3, p. 193-210, 2004.
- BOUMAN, B. A. M. How much water does rice use. **Rice Today**, v. 8, n. 2, p. 28-29, 2009.
- BOUMAN, B. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural water management**, v. 49, n. 1, p. 11-30, 2001.
- CAI, Y.; WANG, W.; ZHU, Z.; ZHANG, Z.; LANG, Y.; Zhu, Q. Effects of water stress during grain-filling period on rice grain yield and its quality under different nitrogen levels. **The journal of applied ecology**, v. 17, n. 7, p. 1201-1206, 2006.
- CARLI, C.; STEINMETZ, S.; STRECK, N. A.; MARCHEZAN, E.; da SILVA, M. R. **Determinação do número de dias e de graus-dia em que a iniciação da panícula (IP) antecede a diferenciação da panícula (DP) em cultivares de arroz irrigado**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2014. 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 156).
- 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.
- CLEVELAND, W. S.; DEVLIN, S. J. Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting. **Journal of the American Statistical Association**, v. 83, p. 596-610, 1988.

- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p. 436-443, 2000.
- DAVATGAR, N.; NEISHABOURI, M. R.; SEPASKHAH, A. R.; SOLTANI, A. F. S. H. I. N. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. **International Journal of Plant Production**, v. 3, n.4, p. 19-32, 2012.
- DASGUPTA, P.; DAS, B. S.; SEN, S. K. Soil water potential and recoverable water stress in drought tolerant and susceptible rice varieties. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 110-118, 2015.
- DINGKUHN, M.; LE GAL, P-Y. Effect of drainage date on yield and dry matter partitioning in irrigated rice. **Field Crops Research**, v. 46, n. 1-3, p. 117-126, 1996.
- EMBRAPA – EMBRAPA CLIMA TEMPERADO: **Laboratório de Agrometeorologia**. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>. Acesso em: 14 dez. 2017.
- FAGERIA, N. K.; WANDER, A. E.; SILVA, S. C. Rice (*Oryza sativa*) cultivation in Brazil. **Indian Journal of Agronomy**, v. 59, n. 3, p. 350-358, 2014.
- FAROOQ, M.; SIDDIQUE, K. H. M.; REHMAN, H.; AZIZ, T.; LEE, D. J.; WAHID, A.; Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. **Soil & Tillage Research**, v.111, n. 1, p. 87-98, 2011.
- FARRELL, T. C.; FOX, K. M.; WILLIAMS, R. L.; FUKAI, S. Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: screening with cold air and cold water. **Field Crops Research**, v. 98, n. 2-3, p.178-194, 2006.
- FONG, J. D. M.; MASUNAGA, T.; SATO, K. Assessment of the influence of water management on yield component and morphological behavior of rice at post-heading stage. **Paddy and water environment**, v. 14, n. 1, p. 211-220, 2016.
- GARRITY, D. P.; O'TOOLE, J. C. Screening rice for drought resistance at the reproductive phase. **Field Crops Research**, v. 39, n. 2-3, p. 99-110, 1994.
- GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899 p.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; NEVES, P. C. F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 12, p. 465-470, 2008.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso: 15 Jul., 2018.

- JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.7, p.1627-1635, 2007.
- JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2 ed. 1992. 428 p.
- KATO, Y.; OKAMI, M.i; KATSURA, Ke. 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.
- KIMA, A. S.; CHUNG, W. G.; WANG, Y. M.; TRAORÉ, S. Evaluating water depths for high water productivity in irrigated lowland rice field by employing alternate wetting and drying technique under tropical climate conditions, Southern Taiwan. **Paddy and Water Environment**, v. 13, n. 4, p. 379-389, 2015.
- LAMPAYAN, R. M.; REJESUS, R. M.; SINGLETON, G. R.; BOUMAN, B. A. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. **Field Crops Research**, v. 170, p. 95-108, 2015.
- LIU, K.; YE, Y.; TanG, C.; WANG, Z.; YANG, J. Responses of ethylene and ACC in rice grains to soil moisture and their relations to grain filling. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 2, n. 2, p. 172-180, 2008.
- MAGALHÃES JR., A. M.; FAGUNDES, P. R. R.; FRANCO, D.; FERNANDES, A. A.; RANGEL, P. H.; MORAIS, O. P. de; NETO, F. M. de; SEVERO, A. C. M. **'BRS Sinuelo CL': Cultivar de Arroz Irrigado para o Sistema Clearfield**. Pelotas: Embrapa, (Comunicado Técnico), 2010.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. BRS Pampa: cultivar de arroz agulhinha incrementa produtividade no Sul. **A Lavoura**. v.114, p.44-45, 2011.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.
- MOTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p.3-6, 1990.
- NORTON, G. J.; SHAFAEI, M.; TRAVIS, A. J.; DEACON, C. M.; DANKU, J.; POND, D.; DODD, I. C. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. **Field Crops Research**, v. 205, p. 1-13, 2017
- O'TOOLE, J. C. Adaptation of rice to drought-prone environments. In: Drought Resistance in Crops, with Emphasis on Rice. International Rice Research Institute, Philippines, 1882, p. 195-213.
- PATEL, D. P.; DAS, A.; MUNDA, G. C.; GHOSH, P. K.; BORDOLOI, J. S.; KUMAR, M. Evaluation of yield and physiological attributes of high-yielding rice varieties under

aerobic and flood-irrigated management practices in mid-hills ecosystem. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1269-1276, 2010.

PINTO, M. A. B.; PARFITT, J. 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.

PRICE, A. H.; NORTON, G. J.; SALT, D. E.; EBENHOEH, O.; MEHARG, A. A.; MEHARG, C. Alternate wetting and drying irrigation for rice in Bangladesh: Is it sustainable and has plant breeding something to offer?. *Food and Energy Security*, v. 2, p. 120-129, 2013.

QUN, Z. H. O. U.; JU, C. X.; WANG, Z. Q.; ZHANG, H.; LIU, L. J.; YANG, J. C.; ZHANG, J. H. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 5, p. 1028-1043, 2017.

RAHMAN, M. S.; YOSHIDA, S. Effect of water stress on grain filling in rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 31, n. 4, p. 497-511, 1985.

SARVESTANI, Z. T.; PIRDASHTI, H.; SANAVY, S. A. M. M.; BALOUCHI, H. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 11, n. 10, p. 1303-1309, 2008.

SHAIBU, Y. A.; BANDA, H. M.; MAKWIZA, C. N.; MALUNGA, J. C. Grain yield performance of upland and lowland rice varieties under water saving irrigation through alternate wetting and drying in sandy clay loams of Southern Malawi. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 2, p. 313-326, 2015.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 2016. 200 p.

STEINMETZ, S., de MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; FAGUNDES, P.; SCIVITTARO, W.; de ALMEIDA, I. R.; REISSER JUNIOR, C.; da SILVA, M. F. **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, RS: Embrapa Clima Temperado, 2010. 75 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121).

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. In: **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. p. 37-121.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4<sup>º</sup>ed. Porto Alegre: Artmed, p. 570-604, 2009.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying. **New phytologist**, v. 169, n. 2, p. 223-236, 2006.

WOPEREIS, M. C. S.; KROPFF, M. J.; MALIGAYA, A. R.; TUONG, T. P. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. **Field Crops Research**, v. 46, n. 1, p. 21-39, 1996.

XIE, G-H.; YANG, J.-C.; WANG, Z.-Q. Grain filling characteristics of rice and their relationships to physiological activities of grains. **Acta Agronomica Sinica**, v. 27, n. 5, p. 557-565, 2011.

### **3 CAPÍTULO II - ACÚMULO DE BIOMASSA E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NPK EM CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO, COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA NO SOLO**

#### **3.1 Introdução**

O arroz é alimento básico para quase metade da população mundial (FAO, 2016), especialmente em países como a América Latina, África e Ásia (FAGERIA et al., 2014). Dentre os países da América Latina, o Brasil é o principal produtor com produção superior a 11 milhões de toneladas de arroz ao ano, desse total 70 % advêm de lavouras do Rio Grande do Sul (RS) (SOSBAI, 2016).

Áreas de arroz no RS, assim como nos principais países produtores, são predominantemente irrigadas por inundação, utilizando elevados volumes de água (PINTO et al., 2016). No entanto, limitações atuais nos recursos hídricos, podem ameaçar a sustentabilidade da atividade orizícola. Perante esta situação, estratégias para aumentar a eficiência de uso da água pela cultura têm sido estudadas, especialmente no que diz respeito a sistemas alternativos à irrigação convencional.

Uma técnica promissora é o sistema de irrigação intermitente AWD – Alternate Wetting and Drying (NORTON et al., 2017, QUN et al., 2017, SHAIBU et al., 2015, KHAIRI et al., 2015), onde a lavoura não fica continuamente inundada, em vez disso, o solo é deixado secar por um ou mais dias após o desaparecimento da lâmina de água, e após esta fase de secagem a lavoura é irrigada novamente (LAMPAYAN et al., 2015).

Apesar da economia considerável de água em comparação ao sistema de irrigação contínuo, de até 40%, técnicas como AWD causam redução no rendimento de grãos, em até 40% (QUN et al., 2017; DASGUPTA et al., 2015; SARVESTANI et al., 2008). Assim, a frequência com que ocorre a deficiência hídrica e especialmente sua intensidade são fatores que devem ser considerados criteriosamente, para que não haja diminuição da produtividade.

A substituição da irrigação convencional com lâmina de água contínua por irrigação intermitente traz mudanças ao ambiente e ao sistema de cultivo do arroz, exigindo adequações no manejo da cultura, o que pode contribuir para a manutenção da produtividade. Uma das adequações necessárias está relacionada com o manejo da adubação, já que a flutuação nas condições do solo de anaeróbio

para aeróbio e períodos de deficiência hídrica, o qual provoca estresse na planta, traz consequências para a disponibilidade de nutrientes essenciais, afetando a absorção e utilização dos nutrientes e eficiência da prática de fertilização (SINGH & SINGH, 2017).

A condição de solo inundado altera a dinâmica dos elementos e compostos presentes no solo, devido ao desencadeamento de uma série de alterações físicas, químicas e biológicas, que faz com que alguns nutrientes tenham sua disponibilidade aumentada em ambiente inundado (SOUZA, 2010).

Esse efeito é muito importante para o fósforo e o potássio, razão pela qual a resposta do arroz irrigado à adubação é menor relativamente a culturas de sequeiro no mesmo solo (SCIVITTARO & GOMES, 2004). O fósforo tem sua disponibilidade relacionada às reações do ferro, que ocorre pela redução dos compostos férricos para formas ferrosas liberando o fósforo para a solução do solo. Quanto ao potássio, a maior disponibilidade sob inundação é explicada pelo aumento da difusão, deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  (MACHADO, 1985) e liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS & MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999).

As formas de nitrogênio presentes, tanto o que se encontra no solo quanto o aportado via fertilização, são dependentes das condições de aerobiose ou anerobiose do solo. Com o alagamento do solo, o nitrogênio que se encontrava na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sob condições aeróbicas, é desnitrificado, sendo perdido para a atmosfera na forma de N gasoso ( $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ ). Por outro lado, sob condições inundadas, o N do solo continua a ser mineralizado e juntamente com o N aplicado via fertilizantes, embora possa ser nitrificado em zonas aeróbias e perdido, permanecem na grande maioria disponível como  $\text{NH}_4^+$  para uso da planta, em vez de ser nitrificado e perdido via desnitrificação (SINGH & SINGH, 2017).

Considerando o exposto acima e visando aprimorar o manejo da adubação em sistema de irrigação por inundação intermitente (AWD), que alternam períodos de deficiência hídrica com períodos de condições ideais, estudos vêm sendo realizados, em sua grande maioria, no que se refere ao nitrogênio e sua eficiência agronômica (BELDER et al., 2005; ZHANG et al., 2012; NAKLANG et al., 2006), considerando doses e fracionamento de aplicação. No entanto, quantificar a quantidade acumulada de nutrientes sob deficiência hídrica no solo em diferentes

períodos de desenvolvimento do ciclo da cultura e compará-la a irrigação convencional por inundação contínua constitui conhecimento básico importante para o manejo da adubação nessa condição hídrica. Para tal, o estudo do acúmulo de biomassa (matéria seca) e da marcha de absorção de nutrientes faz-se necessário, pois nos permite conhecer as consequências do ponto de vista nutricional do arroz submetido a estresses hídricos em diferentes períodos do ciclo fenológico, de forma que permitam estabelecer adequações na fertilização da cultura. Além disso, estudos da marcha de absorção de nutrientes existentes para a cultura do arroz foram realizados a mais de quarenta anos e em terras altas (GARGANTINI & BLANCO, 1965; FAGERIA, 1976) e mais recentemente Marques Neto (2014), no entanto, este autor considerou a marcha de absorção de nitrogênio em diferentes cultivares submetidas a níveis de adubação N.

Além dos fatores externos, fatores internos inerentes à própria planta também devem ser considerados, e a cultivar utilizada é um deles. Isso por que, há diferenças quanto a quantidade de nutrientes acumulada e além disso, algumas variedades apresentam maior habilidade para acumular matéria seca por unidade de nutrientes absorvidos, enquanto outras apresentam menor eficiência na utilização de nutrientes.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar o acúmulo de matéria seca e caracterizar a marcha de absorção de absorção dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na parte aérea de três cultivares de arroz sob irrigação convencional por inundação contínua e sob condição de deficiência hídrica no solo.

### **3.2 Material e métodos**

Para atingir o objetivo proposto foram realizados três experimentos a campo em três safras agrícolas e três cultivares diferentes em cada safra, com estresse hídrico no solo em diferentes períodos fenológicos do arroz.

#### **3.2.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi realizado na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, RS. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008), característico das terras baixas onde se cultiva arroz irrigado por inundação do solo. O clima local é classificado como subtropical úmido com verões quentes, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual de 17,8°C e precipitação média anual de 1366,9 mm (normais climatológicas relativas ao período de 1971 a 2000) (EMBRAPA, 2016).

Antecedendo cada safra, foi realizada a caracterização química do solo (Tabela 1), a qual serviu de base para o estabelecimento das recomendações de adubação para o arroz. Para ambas as safras, o pH SMP mostrou-se acima de 6,0, já dentro dos valores ideais. Os teores de P foram de 21,7, 15,8 e 46,17 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente para as safras 14/15, 15/16 e 16/17 são, de acordo com a recomendação, considerados como muito alto, assim como, os valores de potássio de 68, 47 e 83 mg dm<sup>-3</sup> considerados, respectivamente, alto, médio e alto. Quanto à porcentagem de M.O.%, nas safras 14/15 e 15/16, ficou abaixo de 2% e na safra 16/17 acima.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo da área experimental nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.

Atributos	Safra 2014/2015	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017
pH (H <sub>2</sub> O)	5,8	5,6	5,8
pH (SMP)	6,7	6,1	6,4
H+AI (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,0	3,1	2,7
AI (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0	0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,8	3,5	2,5
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,8	1,3	1,7
P (mg dm <sup>-3</sup> )	22	16	46
K (mg dm <sup>-3</sup> )	68	47	83
CTCe (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,2	4,9	4,1
CTCpH7 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,2	8,0	6,8
V (%)	62	61	64
Classe textural	4	4	4
Argila (%)	16	18	17
MO (%)	0,9	1,6	2,9

### 3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os fatores avaliados foram: estádio de desenvolvimento da planta de arroz e manejo da água de irrigação. O fator estádio de desenvolvimento foi disposto nas parcelas principais (dimensões: 20 m x 4,6 m) e o fator manejo da água nas subparcelas (dimensões: 4,6 m x 3,5 m).

Os estádios de desenvolvimento da planta de arroz foram os seguintes: período vegetativo - PV (V5 - R0), período reprodutivo I - PRI (R1 a R4+10 dias) e período reprodutivo II - PRII (R4+10 dias a R7). Por sua vez, os manejos da água de irrigação: irrigação por inundação, com manutenção de lâmina de água média de 7,5 cm (sempre tensão de 0 kPa) e déficit hídrico com tensão de água no solo de até 40 kPa.

### **3.2.3 Implantação e condução do experimento**

Os experimentos foram estabelecidos em sistema convencional de preparo do solo, que compreendeu operações de aração e gradagem, nas safras agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Na primeira safra, utilizou-se a cultivar BRS Sinuelo CL, na segunda, a cultivar Puitá INTA CL e, na terceira, a cultivar BRS Pampa. A semeadura do arroz foi realizada de forma mecanizada, utilizando densidade de semeadura de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  nas três safras, com espaçamento de 0,175 m entre linhas. A adubação básica de semeadura e as duas adubações nitrogenadas em cobertura foram estabelecidas com base nos resultados da análise química de solo e considerando uma expectativa alta de resposta da cultura à adubação (SOSBAI, 2016). As doses e datas de aplicação dos fertilizantes constam na Tabela 2. Visando minimizar a interação do efeito do manejo do nitrogênio e da deficiência hídrica no solo, as adubações nitrogenadas em cobertura foram realizadas nos estádios de quatro folhas (V4) e iniciação da panícula (R0), e após as mesmas, as parcelas permaneceram com lâmina de água por um período de quatro dias, possibilitando a absorção do nutriente pela planta de arroz, para posteriormente serem drenadas.

Para o acompanhamento dos estádios fenológicos da planta de arroz, utilizou-se, como referência, a escala de Counce et al. (2000). Para a estimativa dos estádios de diferenciação da panícula (R1), foi utilizado o método de graus-dia (STEINMETZ et al., 2010) e de iniciação da panícula (R0), considerou-se que este ocorre com quatro dias de antecedência da diferenciação da panícula (CARLI et al., 2014).

As principais operações de campo realizadas durante a condução dos experimentos e os dados referentes ao desenvolvimento da cultura estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Operações de manejo realizadas na condução dos experimentos nas três safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.

		Data	Atividades
Safra 2014/2015	11/11/2014	Semeadura: Adubação de base: 250 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-20-30	
	17/11/2014	Emergência	
	09/12/2014	V4 – Adubação nitrogenada: (60 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
	10/01/2015	R0 - Adubação nitrogenada: (47,5 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
	06/02/2015	R4 – Floração	
	20/03/2015	Colheita	
	16/11/2015	Semeadura: Adubação de base: 260 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-20-20	
	29/11/2015	Emergência	
	19/12/2015	V4 – Adubação nitrogenada: (55 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
	19/01/2016	R0 - Adubação nitrogenada: (55 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
Safra 2015/2016	17/02/2016	R4 – Floração	
	28/03/2016	Colheita	
	08/11/2016	Semeadura: Adubação de base: 330 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula NPK 5-25-25	
	21/11/2016	Emergência	
	09/12/2016	V4 – Adubação nitrogenada: (60 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio) e entrada da água	
	17/01/2017	R0 - Adubação nitrogenada: (50 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio)	
	05/02/2017	R4 – Floração	
Safra 2016/2017	14/03/2017	Colheita	

### 3.2.4 Controle da irrigação e monitoramento da tensão de água no solo

Para monitorar a tensão de água no solo, com exceção do tratamento com manutenção de lâmina de água contínua, foram instalados dois sensores (Watermark™ electro-tensiometers, Irrrometer Co) nas subparcelas com deficiência

hídrica, na profundidade de 10 cm. As leituras horárias da tensão de água no solo durante o período experimental foram armazenadas em dataloggers.

Todas as subparcelas foram dotadas de sistema individualizado de abastecimento de água e de drenagem, permitindo-lhes manejo da água independente. Para a efetivação dos tratamentos de irrigação com déficit hídrico programado, procedeu-se à drenagem das subparcelas experimentais no início dos períodos vegetativo: PV (V5) e reprodutivo: PRI (R1) e PRII (R4+10 dias). A decisão da retomada da irrigação foi baseada na média das tensões de água no solo das subparcelas, ou seja, quando o solo atingia a tensão 40 kPa, essas eram irrigadas e mantidas com uma lâmina de água por 24 horas, de forma que a tensão de água no solo retornasse ao valor zero (solo saturado). Nos períodos de desenvolvimento em que a cultura não esteve sob tratamento de manejo da irrigação, as parcelas foram irrigadas por inundação, mantendo-se uma lâmina de água contínua com altura média de 7,5 cm.

### **3.2.5 Amostragem e coleta de dados**

Para a obtenção dos dados de acumulação de massa seca e de nutrientes pela planta de arroz, foram coletadas, ao acaso, amostras de material vegetal de cada unidade experimental. As amostras foram formadas pelas plantas contidas em 0,5 m de linha de cada unidade experimental.

Na cultivar BRS Sinuelo CL foram realizadas amostragens aos 21, 36, 51, 66, 81, 94 e 117 dias após emergência (DAE). Na cultivar Puitá INTA CL foram realizadas amostras aos 22, 43, 60, 80, 102 e 120 DAE. Já na cultivar BRS Pampa as amostras foram realizadas aos 17, 32, 47, 61, 77, 93 e 109 DAE. O material vegetal colhido era separado em colmos e folhas e panículas com grãos (no caso das coletas realizadas após a floração) e posteriormente eram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, até atingir massa constante. Após, as amostras eram pesadas, moídas e analisadas, para determinação da concentração de NPK no tecido vegetal, segundo método descrito por Freire (2001).

Com os resultados obtidos realizou-se a regressão entre o acúmulo da matéria seca (MS) e os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e

os dias após a emergência (DAE) utilizando-se um modelo sigmoidal, com três parâmetros conforme equação 1:

$$\text{Equação 1: } y = y_{\max} / (1 + \exp(-(x - x_0)/b))$$

onde:  $y$  é a matéria seca ou a quantidade do nutriente na parte aérea da planta de arroz, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;  $x$ , dias após emergência (DAE);  $y_{\max}$  = parâmetro que delimita o ponto máximo da curva (maior  $y$ );  $x_0$  = valor de  $x$ , em DAE para inflexão da curva; e  $b$  = amplitude no valor de  $x$ , em DAE, em que ocorre a maior variação de  $f$ . Os parâmetros  $a$ ,  $x_0$  e  $b$  foram estimados utilizando-se o software SigmaPlot® v.13.

### 3.2.6 Análise estatística

Para avaliar o comportamento relativo do crescimento por meio da produção da biomassa (MS) e absorção de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das três cultivares de arroz, com e sem deficiência hídrica no solo, foi utilizado o intervalo de confiança a 95% de probabilidade obtida das regressões realizadas no software. Assim, quando os intervalos de confiança entre duas marchas de absorção se sobrepõem significa que elas não diferem entre si ao nível de significância de 5% ou vice-versa se elas não se sobrepõem. Também foi analisado o comportamento do coeficiente  $x_0$  da equação 1, o qual indica o ponto de inflexão da função, isto é, onde ocorre a taxa máxima de acúmulo do atributo considerado.

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Deficiência hídrica ocorrido no solo

Na tabela 3 constam os valores das tensões médias de água no solo verificadas durante os períodos de estresse hídrico no solo nas fases fenológicas estudadas: período vegetativo – PV (V5 – R0); período reprodutivo inicial - PRI (R1 – R4 + 10 dias) e; período reprodutivo final – PRII (R4 + 10 dias – R7). A precipitação acumulada durante os períodos de estresse na cultivar BRS Sinuelo CL foi de 379,1 mm, com 144,1, 173,1 e 61,6 mm divididos respectivamente para cada um dos três períodos. Na cultivar Puitá INTA-CL o a precipitação total atingiu 290 mm, divididos em 168,0, 83,1 e 39,1 mm nos períodos PV, PRI e PRII respectivamente. Já na cultivar BRS Pampa a precipitação acumulada foi de 328,1 mm, divididos em 198,7, 41,8 e 87,6 mm, nos três períodos.

Os valores observados da tensão média de água no solo foram inferiores aos esperados, isto por que, a tensão a campo, não se altera rapidamente. Este fato fez com que, na prática, adotássemos um período de 24 h de submersão das parcelas com água (com lámina de água de 7,5 cm) para que, assim, a tensão baixasse a 0 kPa, após a mesma ter atingido valor de 40 kPa ou superior para somente depois drená-las novamente e assim, estabelecer um novo período de secagem. Isto fez com que a tensão em alguns dias ficasse muito próxima de zero, o que reduziu a tensão média, o que contribuiu para que valores inferiores ocorressem. Além disso, como visto anteriormente, o volume de chuva incidente na área experimental foi elevado, o que apresenta grande influência sobre a variação da tensão, especialmente quando se deseja alcançar tensões elevadas, como a estabelecida pelo experimento, de 40 kPa, e que leva aproximadamente 4 dias em condições de tempo seco. A associação dos fatores descritos acima refletiu nos valores baixos das tensões médias. Porém, cabe ressaltar, que o comportamento da umidade de modo geral, permitiu alcançar plenamente o objetivo proposto.

Tabela 3. Tensão média de água (kPa) no solo atingida durante os períodos de desenvolvimento: vegetativo – PV, reprodutivo I – PRI e reprodutivo II – PRII para as três safras avaliadas.

Cultivar	Períodos fenológicos		
	PV	PRI	PRII
Safra 2014/2015 BRS Sinuelo CL	18,04	21,61	15,95
Safra 2015/2016 Puitá INTA-CL	14,57	14,49	14,54
Safra 2016/2017 BRS Pampa	11,42	17,33	11,20

### 3.3.2 Matéria seca acumulada e marcha de absorção de NPK

A matéria seca acumulada da parte aérea e a marcha de absorção de N, P, e K tiveram ajuste significativo à equação sigmoidal proposta (equação 1), com nível de significância de 1% e valores altos de  $R^2$ , sempre superior a 95%.

#### 3.3.2.1 Matéria seca acumulada

##### BRS Sinuelo CL

Na Figura 1 constam os gráficos dos intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, do acúmulo da biomassa da cultivar BRS Sinuelo CL em função dos manejos de irrigação por inundação contínua - Lâmina e com estresse hídrico no PV, PRI e PRII. Nas figuras 1a e 1b encontra-se o gráfico da figura 1 ampliado, para melhor visualização do comportamento dos tratamentos, onde se pode observar a diferença entre o tratamento Lâmina e os tratamentos com estresse hídrico no solo no PV e PRII.

As plantas de arroz apresentaram um crescimento inicial lento, o que é demonstrado pelos baixos valores de massa de matéria seca acumulada nos primeiros 40 dias após emergência (DAE). Após esse período o crescimento é acelerado, aumentando exponencialmente o acúmulo de matéria seca até próximo ao final do ciclo das plantas. A partir dos 85 DAE, praticamente já na fase de maturação dos grãos, ocorreu uma desaceleração no crescimento, com exceção do tratamento com estresse hídrico no PRII que ocorreu a partir dos 110 DAE, e

praticamente toda a matéria seca se acumulou até os 106 DAE, onde inicia a maturação. Os resultados mostram conformidade com os dados encontrados na literatura, os quais também relatam que a quinta parte da matéria seca total é acumulada nos estádio V2 e V3, a metade é atingida até a etapa de florescimento, ou seja, do estádio V4 ao R4 e a outra metade durante a formação do grão (YOSHIDA, 1981; FERNÁNDEZ et al., 1985; MURAYAMA, 1995), considerando que a quantidade total de massa de matéria seca acumulada varia em função da variedade cultivada, de fatores ambientais e da disponibilidade de nutrientes (ALVAREZ et al., 2006).

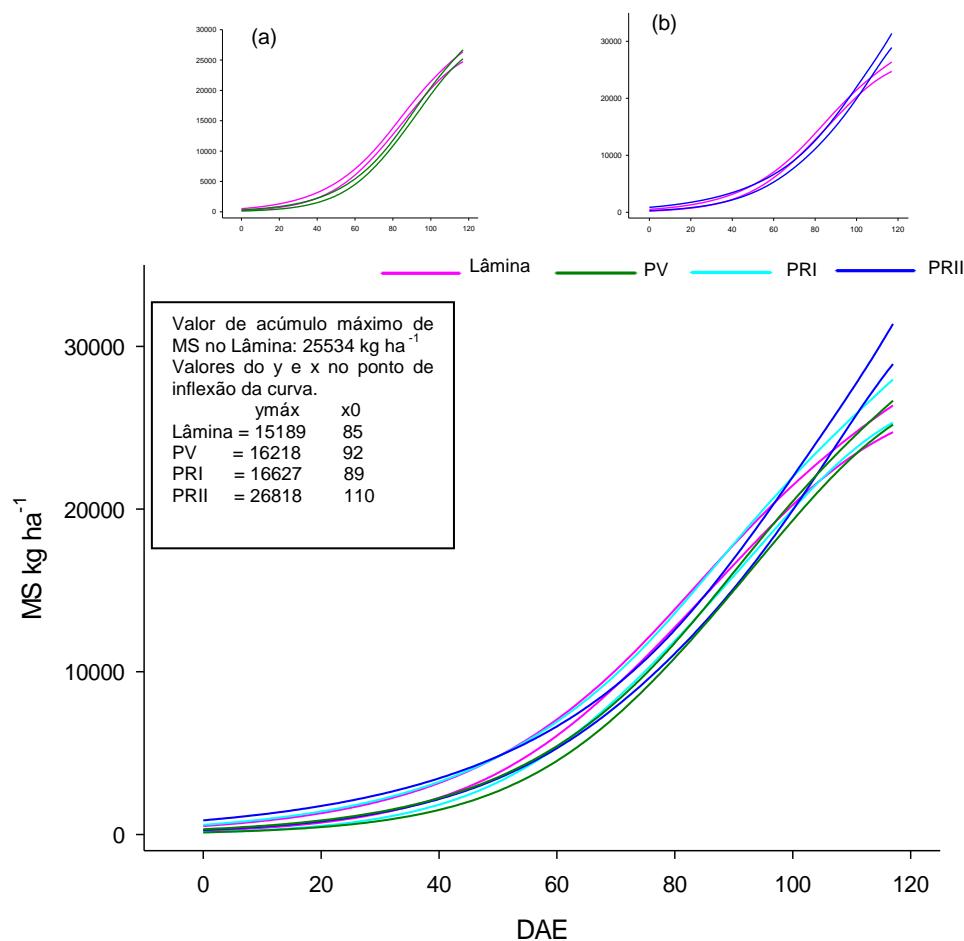


Figura 1. Intervalo de confiança (95%) da produção de matéria seca (MS) em kg ha<sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação continua – Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE).

A aplicação do estresse hídrico de até 40 kPa de tensão de água no solo no PV (DAE entre 25 e 54) causou uma diminuição da massa de matéria seca acumulada ao longo de praticamente todo o ciclo, quando comparado ao tratamento

Lâmina (Figura 1A). Entretanto, ao final do ciclo, não houve diferença de acúmulo de massa de matéria seca, o que demonstra uma capacidade de recuperação das plantas, demonstrando que essa cultivar poderia suportar essa magnitude de estresse provavelmente sem grandes prejuízos no rendimento de grãos da mesma. Trabalhos de pesquisa mostraram que a água é um fator ambiental importante, pois está envolvida em vários processos na planta, dentre eles o crescimento celular, através da turgescência celular (MAUAD et al., 2011). Assim, períodos de estresse hídrico no perfilhamento podem reduzir a altura de plantas e o número e tamanho de folhas (CAKIR, 2004), o que consequentemente prejudica o processo de fotossíntese.

Quando o estresse hídrico ocorreu no período PRI o acúmulo de MS não diferiu significativamente do tratamento lâmina (Figura 1a). Entretanto quando o estresse hídrico ocorreu no período PRII, ou seja, no período de enchimento de grãos observou-se aumento significativo do acúmulo de matéria seca ao final do ciclo, diferindo dos tratamentos com deficiência hídrica e também do tratamento Lâmina (Figura 1b).

Em relação ao ponto de inflexão da curva, o qual indica o dia em que ocorreu a maior taxa de acúmulo de MS, pode-se verificar que o estresse hídrico, nesta cultivar, em geral retarda a ocorrência da taxa máxima de acúmulo, entretanto, somente no período PRII foi possível observar mudança significativa em comparação ao tratamento Lâmina, ou seja, no tratamento de irrigação por inundação contínua - Lâmina ocorreu aos 85 DAE e no tratamento de estresse hídrico no PRII aos 110 DAE (Figura 1), o qual está de acordo com o observado em relação ao aumento do acúmulo de MS.

### **Puitá INTA-CL**

A massa de matéria seca acumulada da cultivar Puitá e Sinuelo foi de 21,1 (Figura 1) e 25,5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2), sendo que, embora tenham sido cultivadas em anos distintos o ciclo foi semelhante, o que nos remete dizer, que o acúmulo de matéria seca pode variar em função especialmente de fatores abióticos.

Quanto ao acúmulo de matéria seca no tratamento com estresse hídrico no PV, embora tenha provocado um atraso no crescimento das plantas, é possível

observar que ocorreu uma recuperação até o final do ciclo da cultivar. Já, quando o estresse hídrico ocorreu no PRI e PRII, verificou-se que em um primeiro momento houve aumento no crescimento e acúmulo de matéria seca, no entanto, logo após, mesmo com o retorno da lâmina de água no PRI e início do tratamento no PRII, verificou-se estabilização do acúmulo de matéria seca até o final do ciclo, sendo que ambos apresentaram menores acúmulos máximos ao final do ciclo.

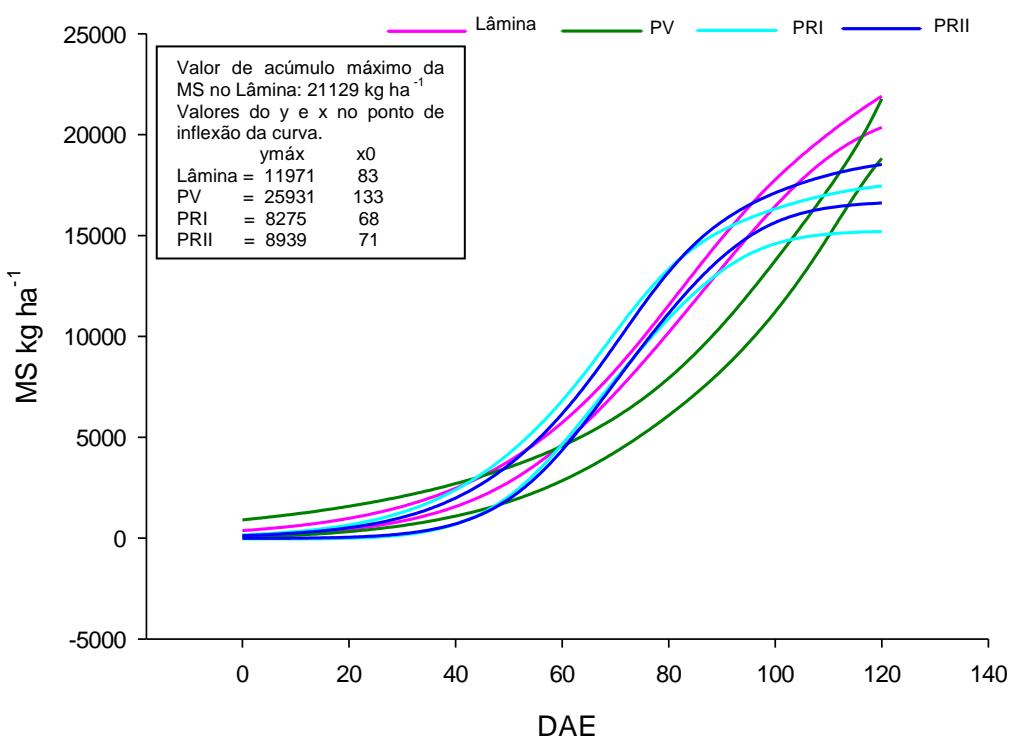


Figura 2. Produção de biomassa (matéria seca) em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE).

Com relação ao ponto de inflexão da curva, onde ocorre desaceleração da taxa de acumulação, podemos verificar que o estresse hídrico no PV provocou alteração no crescimento das plantas fazendo com que a taxa de máximo acúmulo se prolongasse, ocorrendo praticamente ao final do ciclo (Figura 2). No entanto, quando o estresse hídrico ocorreu no PRI e PRII, o contrário ocorre, ou seja, teve antecipação desta data, o que pode ser explicado pela alteração do padrão da marcha de acúmulo de biomassa.

## BRS Pampa

O acúmulo de matéria seca na cultivar BRS Pampa atingiu o valor de 23,7 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o estresse hídrico no PV afetou negativamente o acúmulo de matéria seca nesta cultivar (Figura 3).

O menor acúmulo de matéria seca neste tratamento ocorreu em praticamente todo o ciclo, diferindo estatisticamente do tratamento irrigação por inundaçāo contínua - Lâmina e do tratamento de estresse hídrico no PRI e PRII. Beyrouty et al. (1994), em estudo realizado em Arkansas (EUA), verificaram redução significativa, de até 37%, de matéria seca da parte aérea da cultivar Tebonnet, quando manejada sob irrigação através de ciclos de molhamento (quando o solo atingisse entre 30 e 50 kPa de tensão de água no solo) da emergência até a 30 dias depois da elongação elongação da panícula (emborrachamento) em comparação a irrigação por inundaçāo contínua. De acordo com Jama & Ottman (1993) o déficit hídrico nos períodos iniciais reduz a taxa de acumulação de matéria seca também nos demais estádios de desenvolvimento, até mesmo no estádio de grāo leitoso, ou como observado por MURTY (1982), que verificou uma baixa produção de panículas normais de arroz em plantas que sofreram estresse hídrico no período vegetativo.

Entretanto quando o estresse hídrico foi PRI o acúmulo da biomassa não diferiu estatisticamente da testemunha (Figura 3). Em relação ao PRII podemos observar que a partir de aproximadamente 90 DAE o crescimento e consequentemente o acúmulo de matéria seca foi significativamente maior em relação aos demais tratamentos. Isto pode estar associado ao fato de que este tratamento é o mais próximo do tratamento Lâmina, ou seja, permaneceu com lâmina de água e sem estresse hídrico até 10 dias depois da floração.

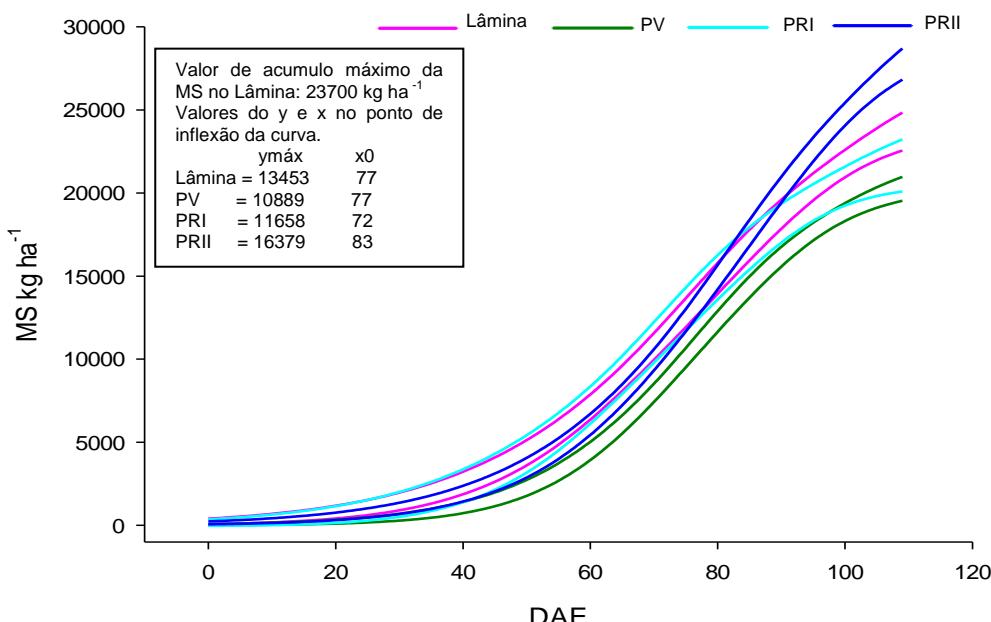


Figura 39. Produção de biomassa (matéria seca) em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo – PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE).

### Acúmulo de biomassa – análise conjunta das três cultivares

De forma resumida, podemos verificar que o acúmulo de biomassa das cultivares estudadas ficou entre 25,5 e 21,1 t  $\text{ha}^{-1}$  de matéria seca, sendo que a cultivar BRS Sinuelo CL acumulou 25,5 t  $\text{ha}^{-1}$  e a cultivar Puitá INTA-CL apresentou, 21,1 t  $\text{ha}^{-1}$  de matéria seca, ficando a cultivar BRS Pampa com valores acumulados de 23,7 t  $\text{ha}^{-1}$  de matéria seca. O ponto de maior taxa de acumulação de biomassa para as cultivares Sinuelo e Puitá foram, respectivamente, de 85 dias contra 83 dias, sendo que a cultivar Pampa alcançou este ponto aos 77 dias.

No que diz respeito ao efeito da deficiência hídrica no solo nos diferentes períodos de desenvolvimento do ciclo pode-se constatar que quando o mesmo ocorreu no período vegetativo (PV) as cultivares Sinuelo e Puitá foram afetadas, entretanto, apresentaram, ao final do ciclo, a mesma quantidade de matéria seca do tratamento Lâmina, o que não ocorreu com a cultivar Pampa.

Quando o estresse hídrico ocorreu no período reprodutivo (PRI) pode-se observar que as cultivares Sinuelo e Pampa não mostraram efeito negativo quanto ao acúmulo da biomassa, já a cultivar Puitá foi afetada negativamente. Em relação ao estresse ocorrido no final do período reprodutivo (PRII), ao final do ciclo,

verificou-se que as cultivares Sinuelo e Pampa tiveram o acúmulo de biomassa aumentado quando comparado com o tratamento Lâmina. Já a cultivar Puitá teve o acúmulo da biomassa afetado negativamente. Em relação ao ponto que ocorreu a taxa de máximo acúmulo vemos que na cultivar Sinuelo o estresse hídrico, no PRII, fez com esta ocorresse mais tarde. Na cultivar Puitá, quando o estresse hídrico ocorreu no PV o acúmulo de matéria seca foi negativamente afetado, tendo a taxa de máximo acúmulo ocorrida quase ao final do ciclo, mais tarde do que quando o estresse hídrico ocorreu no PRI e PRII. Já na cultivar Pampa não houve efeito significativo da deficiência hídrica no ponto de maior taxa de acúmulo de matéria seca.

### **3.3.2.2 Marcha de absorção de Nitrogênio**

#### **BRS Sinuelo CL**

No início do ciclo do arroz, a absorção de nitrogênio foi baixa, intensificando-se a partir do perfilhamento pleno, sendo que a máxima taxa de acúmulo ocorreu aos 58, 72, 61 e 74 DAE respectivamente para o tratamento Lâmina, PV, PRI e PRII (Figura 4), o que evidencia que o estresse hídrico nos diferentes períodos do ciclo da cultura provoca atraso no pico da absorção do N. Em relação ao acúmulo final de N não houve diferenças significativas entre os tratamentos. A máxima taxa de acúmulo de N ocorreu antes do período de floração em todos os tratamentos e embora mais tarde que o tratamento Lâmina, estando de acordo com os relatos de Malavolta (1978) e Fornasieri Filho & Fornasieri (1993), tendo estes últimos autores verificado que até o florescimento a planta absorve mais de 75% da quantidade total de N. Além disso, os maiores incrementos de nitrogênio ocorreram durante o período reprodutivo, dos 55 DAE aos 80 DAE ou antes, ou seja, a partir da iniciação da panícula até a floração plena. Beyrouty et al. (1994) também observaram que os maiores incrementos de nitrogênio acumulado ocorrem entre a iniciação da panícula e o emborrachamento, especialmente sob sistema de irrigação convencional, com inundação contínua.

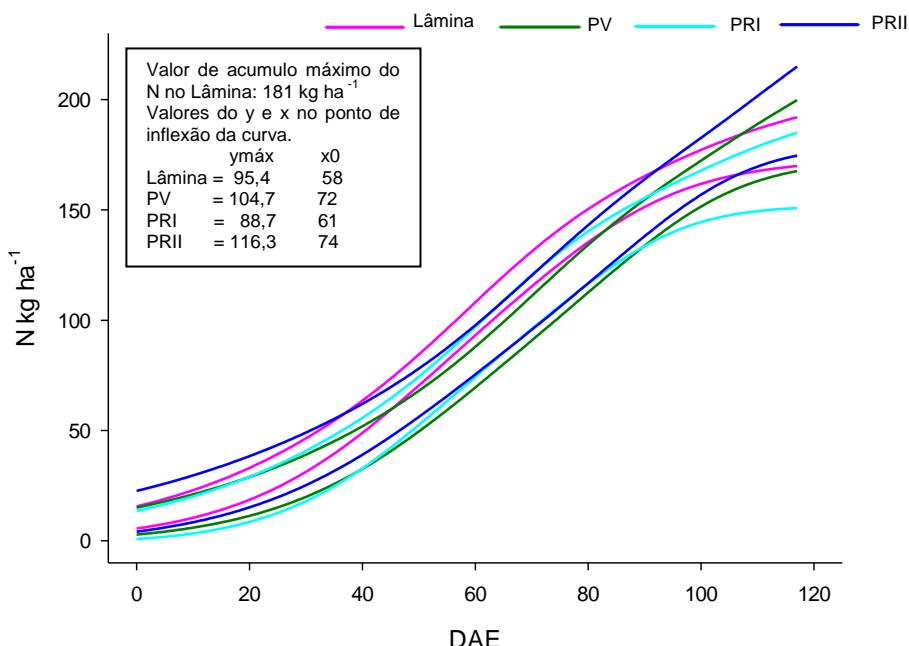


Figura 4. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação continua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE).

Quanto aos resultados, esperava-se encontrar maior absorção de nitrogênio no tratamento Lâmina em comparação ao tratamento PV e PRI (Figura 4), já que o manejo do nitrogênio na lavoura de arroz apresenta forte interação com a prática de irrigação (SOSBAI, 2016), ou seja, é com o estabelecimento da lâmina de água que se assegura uma maior eficiência da adubação nitrogenada. A não observância de diferenças quanto ao acúmulo de nitrogênio pode estar associado ao fato de que após a aplicação da adubação em cobertura, nos tratamentos de estresse hídrico PV e PRI, nos estádio V4 e R0, o solo foi mantido com lâmina de água, por 5 dias, para evitar perdas adicionais de nitrogênio, o que ocorre, de acordo com Xu et al. (2012) pela redução das perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, a partir da manutenção da lâmina de água. Entretanto, Ye et al. (2013) também não observaram diferença significativa no acúmulo de nitrogênio no final do ciclo ao compararem irrigação por inundação continua com AWD, iniciando 10 dias após o transplante, durante todo o ciclo, com exceção de uma semana, durante o período de floração ativa. Carbognon et al. (2004), ao avaliarem a absorção de nitrogênio em dois manejos de irrigação, CF (inundação contínua) e AWD, também não verificaram

diferença estatística na absorção de N entre os tratamentos, embora, tenham observado redução entre 0,2 a 20% em AWD.

### **Puitá INTA-CL**

A cultivar Puitá INTA-CL apresentou sua máxima taxa de absorção aos 56,6, 44, 45 e 49 DAE respectivamente para o tratamento Lâmina, PV, PRI e PRII (Figura 5), ocorrendo mais precocemente, para os tratamentos de estresse hídrico no PV, PRI e PRII, que na cultivar BRS Sinuelo CL (Figura 4), entretanto para o tratamento Lâmina a taxa máxima de acúmulo ocorreu no mesmo DAE. O menor acúmulo de N no final do período vegetativo e início do reprodutivo pode também estar relacionada à redução da disponibilidade de N contido no solo devido as perdas ocasionadas pela alternância das condições de oxirredução do solo devido ao s períodos de déficit hídrico, como sugerido por Moore et al. (1981). Além disso, pode-se observar que mais da metade do nitrogênio acumulado até o final do ciclo é acumulado antes dos 60 DAE, para os tratamentos com déficit hídrico no PV e PRI, ou seja, durante o período vegetativo e início do período reprodutivo, momento de maior demanda (SOSBAI, 2016).

O tratamento com estresse hídrico no PV, que ocorreu dos 25 aos 52 DAE, apresentou menor acúmulo total de N ( $69,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ), diferindo estatisticamente do tratamento Lâmina ( $133,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e do tratamento com estresse hídrico no PRII ( $107 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo que começaram a diferir a partir dos 75 e 65 DAE, respectivamente (Figura 5). Assim como para os demais tratamentos, o acúmulo de N no tratamento com estresse hídrico no PV acompanhou os menores acúmulos de matéria seca (Figura 2), quando comparado aos demais tratamentos, dos 50 DAE até praticamente o final do ciclo. O acúmulo de nitrogênio está relacionado tanto ao teor do elemento na matéria seca quanto a quantidade de matéria seca acumulada, a qual é dependente também da quantidade de nutriente absorvido, o que pode ter ocorrido neste estudo. Beyrouty et al. (1994) também observaram diferença na absorção de nitrogênio em arroz quando comparou irrigação por inundação contínua com irrigação por molhamento, o qual apresentou menor absorção de N, sendo esta atribuída ao menor acúmulo de matéria seca, já que não observaram diferença na

concentração de nitrogênio na parte aérea, a qual ficou dentro os níveis satisfatórios para o crescimento das plantas.

Os tratamentos com estresse hídrico PRII, que ocorreu dos 92 aos 102 DAE, apresentou menores quantidades de N acumulado ao final do ciclo ( $107 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quando comparado ao tratamento Lâmina ( $133,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ), entretanto não diferiram estatisticamente, sendo que ambos seguiram a tendência do acúmulo de matéria seca. A não observância de diferença no acúmulo de N entre o PRII e Lâmina é esperada, já que o estresse hídrico em PRII começou 10 dias depois da floração, ou seja, posterior à fase maior acúmulo de N.

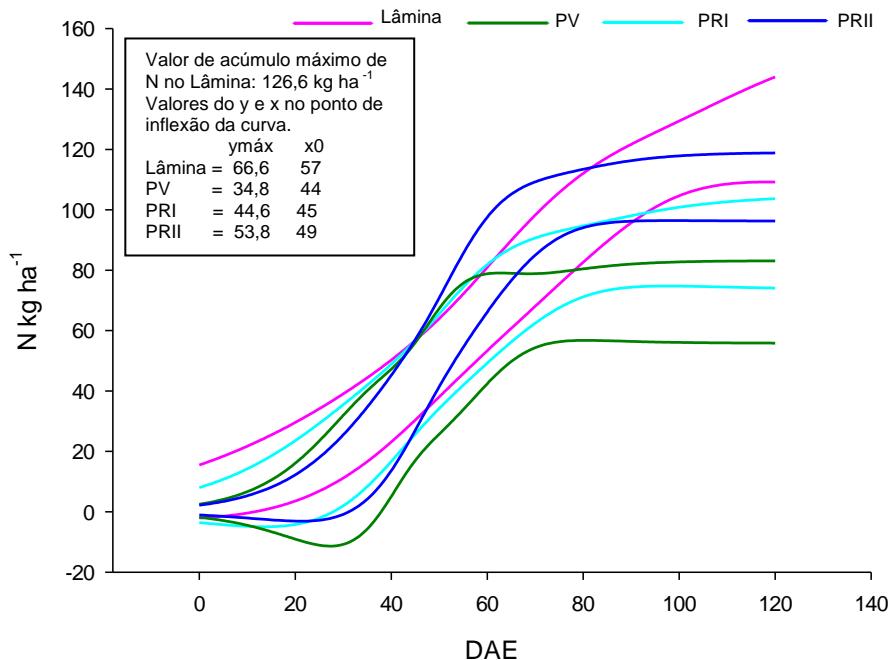


Figura 5. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação continua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE).

## BRS Pampa

No que se refere à taxa de máximo acúmulo de N ( $x_0$ ) na parte aérea da cultivar BRS Pampa pode-se observar que, assim como nas demais cultivares, BRS Sinuelo CL (Figura 4) e Puitá INTA-CL (Figura 5), ocorreu entre o final do período vegetativo e inicio do período reprodutivo, ou seja, aos 46, 58, 39 e 71 DAE respectivamente para os tratamentos Lâmina, estresse hídrico no PV, no PRI e no

PRII (Figura 6), demonstrando mais uma vez que até 75% do N é acumulado até o estádio de floração.

Quanto à marcha de absorção de N, verifica-se que o acúmulo de N, durante todo o ciclo, seguiu o comportamento da marcha de acúmulo de matéria seca, ou seja, variando a quantidade de N acumulada (Figura 6), em relação à variação da quantidade de matéria seca acumulada (Figura 3), sendo que o tratamento com estresse hídrico no PV acumulou menores quantidades de N, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos em praticamente todo o ciclo. Segundo (SINGH & SINGH, 2017) a disponibilidade adequada de N durante o rápido início do crescimento (perfilhamento) desempenha um papel importante para um bom crescimento e produção final. De acordo com SOSBAI (2016) a disponibilidade de N durante o período vegetativo influencia o número de colmos e, consequentemente, o número de panículas (SOSBAI, 2016) e consequentemente a produção de matéria seca. Com o aumento da matéria seca da cultura do arroz, o conteúdo de N no tecido das plantas diminui devido ao efeito de diluição, enquanto a absorção total de N aumenta com o aumento da matéria seca (SINGH & SINGH, 2017).

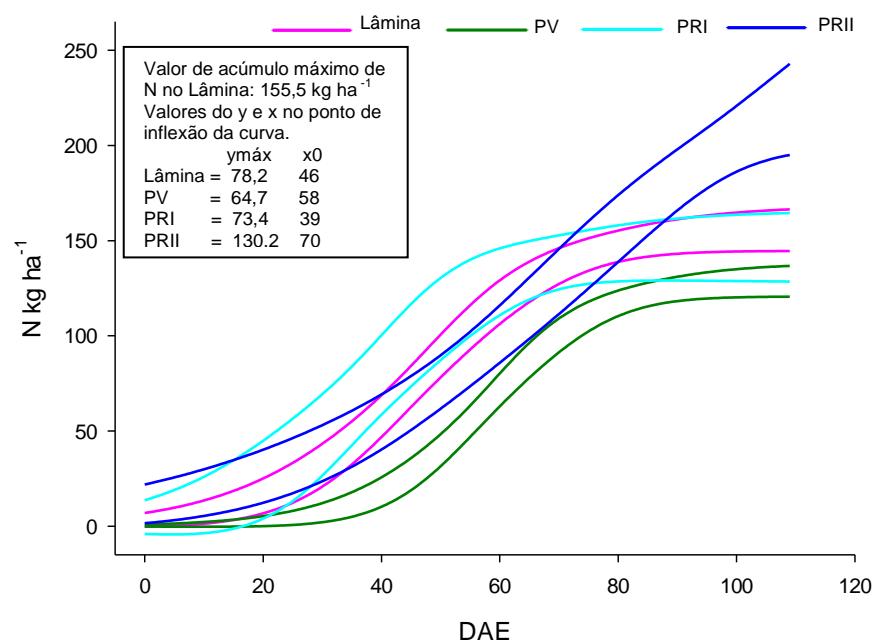


Figura 6. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Nitrogênio (N) em kg ha<sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE).

Já o tratamento com estresse hídrico durante o PRI (Figura 6), que ocorreu dos 61 a 87 DAE, embora tenha acumulado menores quantidades de N ( $129 \text{ kg ha}^{-1}$ ), não diferiu estatisticamente do tratamento Lâmina ( $126,45 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em todo o ciclo, e com estresse hídrico no PRII até aproximadamente 85 DAE, sendo que ao final do ciclo o PRII acumulou maiores quantidades de N ( $260,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) diferindo estatisticamente dos demais, inclusive do PV, especialmente por ter acumulado maior quantidades de matéria seca. Isto demonstra que mesmo com estresse hídrico no PRI, a planta consegue aproveitar o nitrogênio aplicado. Isto por que a maior parte do N é absorvida antes do final do PRI e, além disso, após a aplicação do N em cobertura, se manteve uma lâmina de água por um período de 5 dias, a partir daí foi realizada a drenagem nas parcelas e iniciado o tratamento de estresse, o que pode ter permitido acúmulo de nitrogênio semelhante ao tratamento Lâmina.

Corroborando com os resultados observados para a cultivar Puitá INTA-CL, percebe-se que o nitrogênio advindo do solo e da adubação tem baixo aproveitamento quando o arroz é submetido a estresse hídrico durante o PV, informação esta importante quando se busca manejos alternativos como o AWD, ou seja, manejos distintos em relação a adubação utilizada no sistema de irrigação por inundaçāo contínua – Lâmina devem ser realizados quando adubação nitrogenada.

### 3.3.2.3 Marcha de absorção de fósforo

#### BRS Sinuelo CL

Em relação à absorção de fósforo (Figura 7) a taxa de máximo acúmulo ocorreu aos 79,3 DAE, o que coincide com o estádio de R4 (floração, 82 DAE), já nos tratamentos com estresse hídrico no PV, PRI e PRII as taxas de máximo acúmulo ocorreram aos 87, 81 e 107 respectivamente. De maneira geral, em todos os tratamentos, a taxa de absorção de fósforo pelo arroz foi bastante elevada e constante a partir do final da fase de perfilhamento, 54 DAE, até a maturação de colheita, especialmente nos tratamento Lâmina e com estresse hídrico no PV e PRI, assim como a absorção e acumulação de fósforo na parte aérea das plantas de arroz acompanharam, basicamente, a variação na produção de matéria seca decorrente do manejo da água, com exceção do tratamento com estresse hídrico no

PRI. Beryouty et al. (1994) também atribuíram a menor absorção de fósforo na matéria seca da parte aérea de plantas de arroz, em manejo de água feito por molhamento (da emergência até 30 dias depois do emborragamento) em comparação a irrigação convencional, ao menor acúmulo de matéria seca.

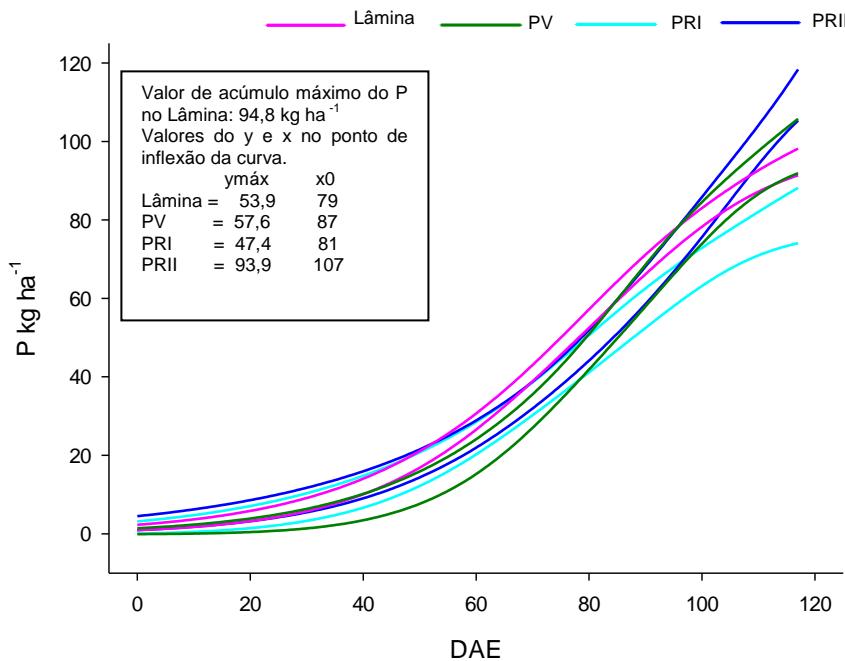


Figura 7. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE).

O estresse hídrico no PV (Figura 7) influenciou a marcha da absorção de P durante o período em que ocorreu o estresse, dos 24 aos 54 DAE, no entanto, apresentou recuperação do acúmulo ao final do ciclo. Isto pode estar atrelado a não permanência de lâmina de água sobre o solo durante este período de estresse hídrico, o que pode ter feito com que a disponibilidade de fósforo decorrente da redução do solo, nas primeiras semanas, não tenha ocorrido (SOUZA et al., 2006), entretanto, após o retorno da lâmina de água, o processo de redução se estabeleceu e se pode observar recuperação da absorção de fósforo até o final do ciclo.

Já, quando o estresse hídrico ocorreu no PRI, observa-se influência significativa do mesmo mais ao final do ciclo da cultura, embora o acúmulo de matéria seca (Figura 3) não tenha sido diferente neste mesmo período, o que demonstra que esta cultivar não teve capacidade de recuperação. Sob condições de

saturação/inundação do solo, não existe limitação à absorção de fósforo pelo arroz, especialmente durante a fase reprodutiva, em razão do aumento da disponibilidade do nutriente decorrente da redução do solo (SOUSA et al., 2006), no entanto é durante a fase reprodutiva que ocorre a translocação do fósforo acumulado para os grãos, os quais removem uma proporção significativamente grande da absorção total de P durante o período de crescimento da cultura (SINGH & SINGH, 2017).

### **Puitá INTA-CL**

A taxa de absorção de fósforo nos primeiros 40 DAE foi baixa para todos os tratamentos estudados, entretanto, após este período, a partir da fase final do período vegetativo (V10) a taxa foi bastante elevada e constante até o início do período reprodutivo, 59 DAE, próximo de onde ocorreram as taxas de acúmulo máximo de P, aos 58, 58, 59 e 59 DAE respectivamente para os tratamentos Lâmina, com estresse hídrico no PV, PRI e PRII (Figura 8). No entanto, embora as taxas de acúmulo tenham ocorrido em DAE próximos, o tratamento com estresse hídrico no PV teve um menor acúmulo máximo de P ( $31,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ), diferindo do tratamento Lâmina ( $40,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e com estresse hídrico no PRII ( $44,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 8). Este resultado mostra que, sob condições de saturação/inundação do solo, não existe limitação à absorção de fósforo pelo arroz, especialmente durante a fase reprodutiva, em razão do aumento da disponibilidade do nutriente decorrente da redução do solo (SOUSA et al., 2006). A absorção de P pelo solo por variedades de arroz de alta produtividade pode se aproximar de  $60 \text{ kg P ha}^{-1}$ , mas mais comumente varia de 25 a  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  com 60 a 75% do planta total P contida nas panículas na maturidade (FAGERIA et al. 2003). Entretanto, quanto mais próximo de valores com  $50/60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P mais eficiente é o aproveitamento do fósforo disponibilizado via adubação mineral.

De modo geral, a absorção e acumulação de fósforo na parte aérea das plantas de arroz acompanharam, basicamente, a variação na produção de matéria seca, especialmente para os tratamentos com estresse hídrico no PRI e PRII e também no Lâmina, embora este tenha diferido em acúmulo máximo de matéria seca dos demais tratamentos (Figura 8).

Quanto ao estresse hídrico ocorrido no PV, observa-se que a partir dos 60 DAE o acúmulo de matéria seca (Figura 2) foi consideravelmente menor, o que se seguiu até praticamente o final do ciclo, 100 DAE. Assim, é provável, que os menores acúmulos de P observados neste tratamento estejam associados às menores quantidades de matéria seca acumulada e também às menores quantidades de P absorvido ou teor deste nutriente na matéria seca, já que ao final do ciclo a cultivar recuperou a quantidade de matéria seca acumulada, não diferindo dos demais tratamentos, o que não foi observado para o acúmulo de fósforo.

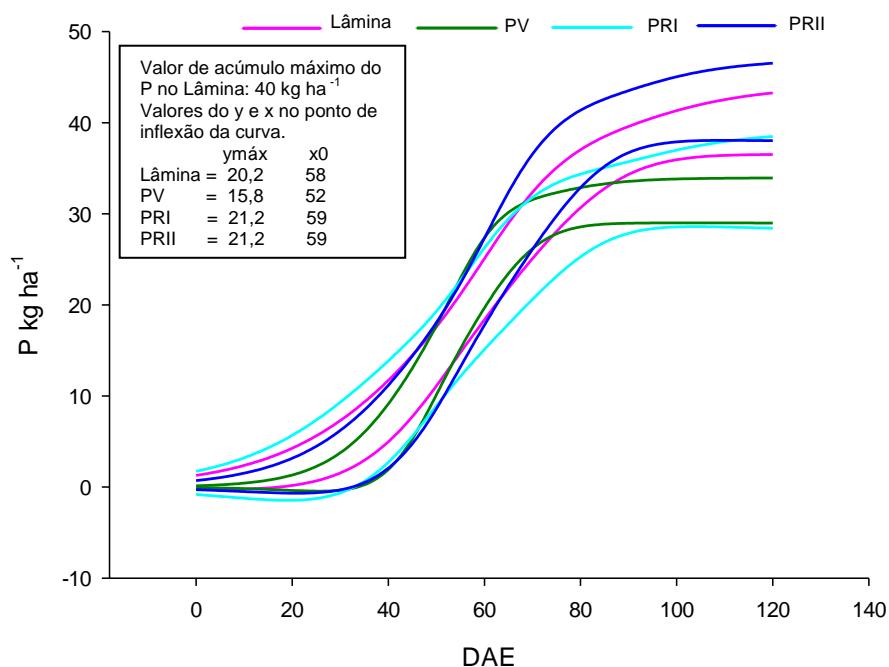


Figura 8. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE).

### BRS Pampa

Assim como para a cultivar BRS Sinuelo CL, a absorção e acumulação de fósforo na parte aérea acompanharam o acúmulo de matéria seca, ou seja, as marchas de acúmulo de P e de matéria seca apresentaram o mesmo comportamento, em todos os tratamentos estudados, sendo que os tratamentos com estresse hídrico no PV e PRI apresentaram os menores valores quanto ao máximo acumulado de P, 53,2 e 64,2  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente (Figura 9).

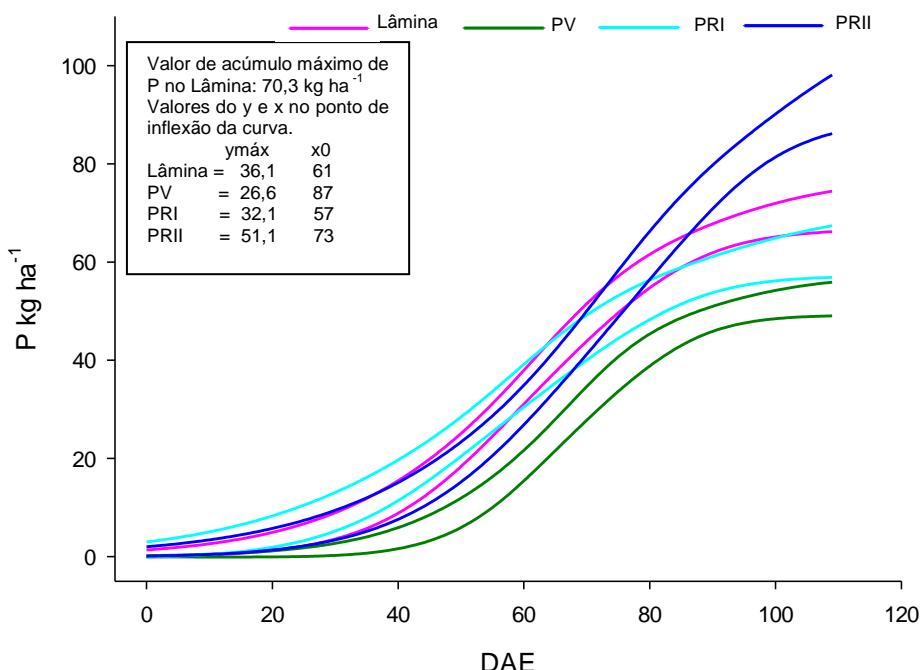


Figura 910. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Fósforo em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE).

Entretanto, o tratamento com estresse hídrico no PV, que ocorreu dos 26 aos 57 DAE, diferiu dos demais tratamentos tanto quanto a absorção quanto ao acúmulo de P ao longo de praticamente todo o ciclo, sendo que até os 40 DAE, praticamente não acumulou P, com valores muito próximos de zero, sendo que a taxa de máximo acúmulo de fósforo foi de  $26,6 \text{ kg ha}^{-1}$ , e ocorreu aos 87 DAE, aproximadamente dez dias após o estádio reprodutivo de floração. Além disso, os menores acúmulos de fósforo (Figura 9) também acompanharam os menores acúmulos de matéria seca (Figura 3). Scivittaro et al. (2012) também observaram que o acúmulo de P foi menor em arroz cultivado (cultivar BRS Querência) por aspersão e que este menor acúmulo estava relacionada ao menor acúmulo de matéria seca, já que a concentração do nutriente praticamente não se alterou em função dos manejos de irrigação.

Para o estabelecimento do estresse hídrico de 40 kPa de tensão de água no solo no PV, as parcelas foram drenadas no período vegetativo V5, e permaneceram a maior parte do tempo sem lâmina de água. Assim, a disponibilidade do fósforo pode ter sido fortemente reduzida neste período, uma vez que a mesma está atrelada às reações do ferro, que ocorre pela redução dos compostos férricos para

formas ferrosas, após um período sob condições anaeróbicas do solo (SOUSA, 2010). Já o tratamento com déficit hídrico no PRI também mostrou menores quantidades máximas de fósforo acumulado, que diferiram do tratamento Lâmina e com estresse hídrico no PRII, o que demonstra que condições de estresse hídrico, especialmente durante os períodos vegetativo e reprodutivo acumulam menores quantidades matéria seca e também de fósforo, o que pode comprometer o rendimento da cultura.

### **Marcha de absorção do Fósforo – análise conjunta das três cultivares**

A cultivar Sinuelo foi a que teve maior absorção final de P, com 94,8 kg ha<sup>-1</sup> acumulado, seguido pela cultivar Pampa com 70,3 kg ha<sup>-1</sup> e finalmente a cultivar Puitá com absorção de 40 kg ha<sup>-1</sup>. O ponto de máxima absorção ocorreu nas cultivares Sinuelo, Puitá e Pampa aos 79, 58 e 61 DAE respectivamente.

Com relação à absorção do fósforo durante os períodos de estresse hídrico observou-se que quando este ocorreu no PV afetou negativamente as cultivares Puitá e Pampa. É possível que isto se deva a falta de redução do solo (Sousa, 2010). Com relação aos DAE que ocorreu a máxima taxa de absorção pode-se notar que na cultivar Sinuelo houve um atraso, na cultivar Puitá não houve efeito e na Cultivar Pampa ocorreu variação, conforme o período que ocorreu o estresse hídrico, sendo que ocorreu mais tarde nos PV e PRII e adiantou no PRI.

#### **3.3.2.4 Marcha de absorção de Potássio**

##### **BRS Sinuelo CL**

A absorção e acúmulo de K durante o ciclo não se mostrou sensível ao déficit hídrico ao longo de praticamente todo o ciclo, não se observando diferença estatística dos tratamentos com déficit hídrico em relação ao tratamento Lâmina (Figura 10), com exceção do tratamento com estresse hídrico no PV, 25 aos 54 DAE, que apresentou menores acúmulos de K, até 40 dia após este período de estresse hídrico, quando comparado ao tratamento Lâmina (Figura 10), no entanto, esse menor acúmulo seguiu basicamente o menor acúmulo de matéria seca neste mesmo período (Figura 1).

De acordo com Singh & Singh (2017), o potássio não tem um efeito pronunciado no perfilhamento de arroz, no entanto, aumenta o número de espiguetas por panícula, porcentagem de grãos e peso de 1000 grãos, assim, uma baixa absorção de potássio no período vegetativo pode refletir em menor acúmulo de matéria seca no período reprodutivo, embora, segundo Dobermann et al. (1998), mais de 80% do K absorvido permanece nas folhas e é incorporado novamente após a colheita.

Entretanto, a cultivar BRS Sinuelo CL não se mostrou sensível ao estresse hídrico quanto ao acúmulo máximo de K (Figura 10), já que nenhum dos tratamentos diferiu estatisticamente do tratamento Lâmina ( $326,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo que tanto a acumulação máxima de K na parte aérea das plantas de arroz seguiu, basicamente, a variação na produção de matéria seca, onde o acúmulo máximo também não foi diferente (Figura 1).

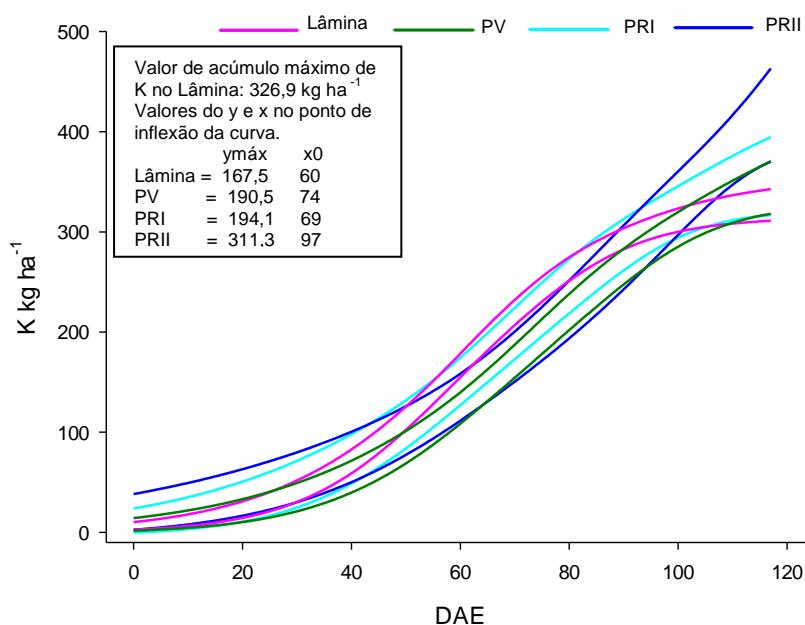


Figura 1011. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz BRS Sinuelo CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-54 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (58-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (91-106 DAE), em dias após a emergência (DAE).

### Puitá INTA-CL

A demanda de potássio foi alta já no início do ciclo do arroz, tendo a taxa de máximo acúmulo ocorrida aos 49, 58, 46 e 47 DAE respectivamente para os

tratamentos Lâmina e estresse hídrico no PV, PRI e PRII, ou seja, antes do final do período vegetativo, com exceção do tratamento com estresse hídrico no PV (Figura 11), o que demonstra que a não manutenção do solo sob condição de submersão durante o PV, pode atrasar a máxima taxa de absorção de K. De maneira geral, os tratamentos não diferiram estatisticamente quanto a absorção e acúmulo de potássio ao longo de todo o ciclo e embora a taxa de máximo acúmulo tenha ocorrido mais tarde no PV, os máximos acumulados foram muito próximos, não se observando diferença estatística em relação ao Lâmina, assim como, dos demais tratamentos de estresse hídrico em relação ao Lâmina (Figura 11).

De maneira geral, poderia se esperar maior acúmulo de K no tratamento Lâmina, já que em solos de cultivo de arroz, se observa maior disponibilidade de potássio após a inundação, o que ocorre pelo aumento da difusão, deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  (MACHADO, 1985) e liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural do solo (CASTILHOS & MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999). Entretanto, antes de iniciar a drenagem das parcelas para inicio do tratamento de estresse hídrico no PV, as mesmas permaneceram com Lâmina de água, por aproximadamente 5 dias, para permitir um melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, e além disso, quanto a tensão de 40 kPa era atingida, as parcelas eram inundação e solo permanecia com lâmina de água por 24 horas, para que a tensão retornasse a 0 kPa, o que pode facilitado a disponibilidade de K, já que o equilíbrio entre a solução do solo e o K adsorvido nos sítios de troca ocorre rapidamente, geralmente é concluído dentro horas (FAGERIA et al., 1991).

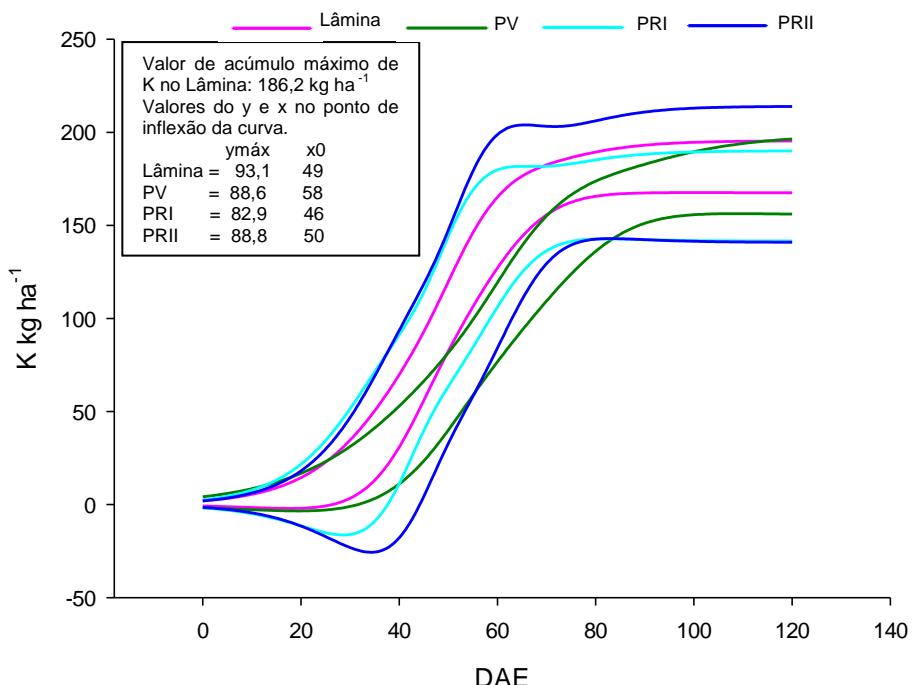


Figura 121. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em  $\text{kg ha}^{-1}$  na cultivar de arroz Puitá INTA-CL na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (25-52 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (59-91 DAE) e período reprodutivo final – PRII (92-108 DAE), em dias após a emergência (DAE).

### BRS Pampa

De maneira geral, as quantidades de K acumuladas (Figura 12) foram elevadas em comparação ao acúmulo de N (Figura 6) e P (Figura 9). De acordo com Singh & Singh (2017) a extensão da resposta do arroz à aplicação de K é menor que a observada para N e P, embora o teor de K acima do solo seja igual ou maior que o teor de N da planta e maior que todos os outros nutrientes essenciais. Além disso, o arroz, por apresentar sistema radicular fasciculado, é altamente eficiente em absorver potássio disponível no solo (DOBERMANN et al. 1998).

Assim como na cultivar Puitá INTA-CL, a taxa de máximo acúmulo de K ocorreu entre os 50 e 60 DAE, para todos os tratamentos, ou seja, ao final do período vegetativo (59 DAE), sendo que o estresse hídrico no PV foi o que apresentou mais tarde a taxa de máximo acúmulo, aos 61 DAE (Figura 12). Quando o estresse hídrico ocorreu no PV, a absorção de K diferiu estatisticamente ao longo de praticamente todo o ciclo, especialmente em comparação ao tratamento Lâmina, e do PRI e PRII em praticamente todo o período de estresse hídrico no vegetativo. No entanto, este baixo acúmulo de K ocorreu em função do baixo

acúmulo de matéria seca neste mesmo tratamento (Figura 3), assim como, pode ter ocorrido um incremento na absorção de K.

Este incremento pode ter ocorrido em função da submersão do solo, a partir do fim período vegetativo. Segundo Singh & Singh (2017) o K é rapidamente liberado dos sítios de troca após a submersão, o que pode ter ocorrido neste tratamento, além disso, a submersão do solo aumenta as perdas por lixiviação, que podem ser de até 22 do K aplicado (FAGERIA et al., 1991), assim, ao final do ciclo, os tratamentos Lâmina, PRII e PRI podem ter extraído todo o K durante os períodos submergidos e provocarem redução da disponibilidade de K no solo.

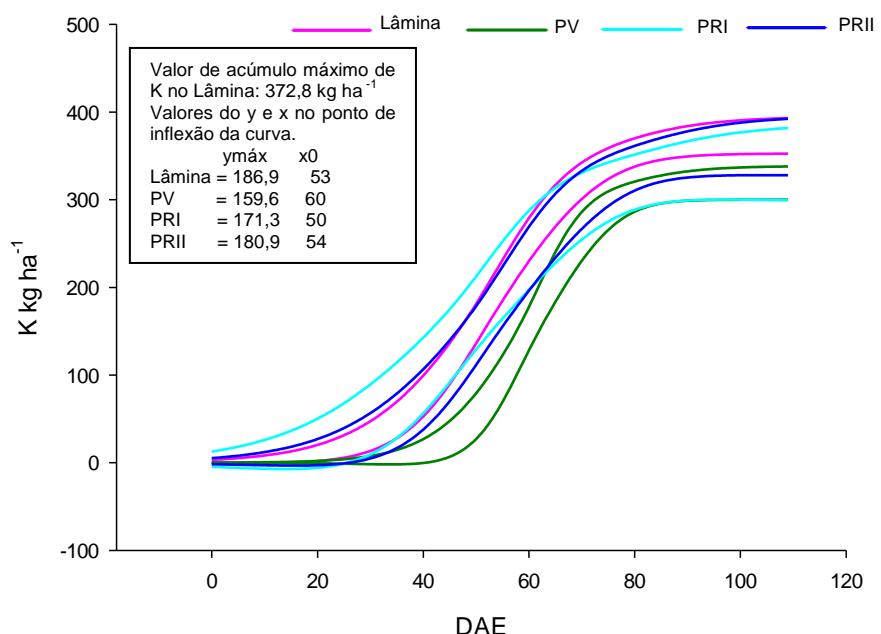


Figura 1213. Intervalo de confiança (95%) do acúmulo de Potássio em kg ha<sup>-1</sup> na cultivar de arroz BRS Pampa na condição de irrigação por inundação contínua - Lâmina, com estresse hídrico no solo até 40 kPa no período vegetativo - PV (26-57 DAE), período reprodutivo inicial – PRI (61-87 DAE) e período reprodutivo final – PRII (88-101 DAE), em dias após a emergência (DAE).

### **Marcha de absorção do Potássio – análise conjunta das três cultivares**

De maneira geral, as quantidades de K encontradas na parte aérea do arroz foram elevadas, superando, nas cultivares BRS Sinuelo CL e BRS Pampa, aquelas normalmente fornecidas à cultura, via adubação, indicando que parte considerável dos nutrientes utilizados pelo arroz são supridos pelo meio de cultivo, incluindo solo, água de irrigação e resíduos de cultivos anteriores. Segundo Scivittaro & Machado

(2004) a manutenção da palhada restitui ao solo entre 80% e 90% do potássio absorvido pelo arroz.

Quanto à acumulação de K, a cultivar Pampa teve os maiores valores alcançados, 372,8 kg ha<sup>-1</sup>, seguida pela cultivar Sinuelo com 326,9 kg ha<sup>-1</sup> e a pela cultivar Puitá com 186,2 kg ha<sup>-1</sup>. Em relação ao ponto com maior taxa de acúmulo, na cultivar Sinuelo ocorreu aos 60 DAE, na Puitá 49 DAE e na Pampa 53 DAE. Isto significa que a máxima taxa de acúmulo de K ocorre em torno da iniciação do primórdio floral, um pouco depois na Sinuelo e antes na Puitá e na Pampa.

Com relação ao efeito do estresse hídrico na absorção do K pode-se observar que somente quando o estresse hídrico ocorre no PV pode causar problemas na absorção deste macronutriente. Isto ocorreu nas três cultivares estudadas, entretanto somente na cultivar Pampa esse efeito foi observado até o final do ciclo, o que demonstra mais uma vez que o estresse hídrico neste período do ciclo afeta negativamente esta cultivar. Quando o estresse hídrico ocorreu no PRI e no PRII a absorção do K não foi afetada. Já, em relação ao ponto de taxa máxima de absorção não houve grande efeito do estresse hídrico sobre essa variável, com exceção do Sinuelo na fase PRII que retardou o mesmo.

### 3.4 Conclusões

Durante o período vegetativo e reprodutivo inicial, que compreende a fase de floração mais 10 dias até o início da maturação, a deficiência hídrica no solo diminui a biomassa acumulada, respectivamente, na cultivar BRS Pampa e na cultivar Puitá INTA-CL.

A deficiência hídrica no solo, no período vegetativo, diminui a absorção de nitrogênio, em todas as cultivares, de fósforo nas cultivares Puitá INTA-CL e BRS Pampa e de potássio na cultivar BRS Pampa. Deficiências hídricas em outras fases fenológicas, como no período reprodutivo inicial e final não afetam a absorção destes nutrientes.

A deficiência hídrica no solo no período vegetativo e período reprodutivo final, período de maturação, atrasa o ponto de máxima taxa de absorção de nitrogênio na cultivar BRS Sinuelo CL e BRS Pampa. Na cultivar Puitá INTA-CL, a deficiência hídrica no solo, em qualquer período de desenvolvimento, adianta o ponto de máxima taxa de absorção.

A deficiência hídrica no período vegetativo e período reprodutivo final, período de maturação, atrasa o ponto de máxima taxa de absorção de fósforo na cultivar BRS Sinuelo CL e BRS Pampa e adianta na cultivar Puitá INTA-CL quando ocorre no período vegetativo e atrasa no período reprodutivo inicial e final.

### 3.5 Referências bibliográficas

- ALVAREZ, R. D. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, v. 34, n. 2, p. 162-169, 2006.
- BELDER, P. B. A. M.; BOUMAN, J. H. J.; SPIERTZ, S.; PENG, CASTANEDA, A. R.; VISPERAS, R. M. Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. **Plant and Soil**, v. 273, n. 1-2, p. 167-182, 2005.
- BEYROUTY, C. A.; GRIGG, B. C.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R. Nutrient uptake by rice in response to water management. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n.1, p. 39-55, 1994.
- CAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, v. 89, n. 1, p. 1-16, 2004.
- CABANGON, R. J.; TUONG, T. P.; CASTILLO, E. G.; BAO, L. X.; LU, G., WANG, G.; WANG, J. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China. **Paddy and Water Environment**, v. 2, n. 4, p. 195-206, 2004.
- CARLI, C.; STEINMETZ, S.; STRECK, N. A.; MARCHEZAN, E.; da SILVA, M. R. **Determinação do número de dias e de graus-dia em que a iniciação da panícula (IP) antecede a diferenciação da panícula (DP) em cultivares de arroz irrigado.** Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2014. 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 156).
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Formas de potássio em solos do RS, cultivados com arroz irrigado. In: I Congresso brasileiro de arroz irrigado; XXII Reunião da cultura do arroz irrigado, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 326-329, 1999a.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. In: I Congresso brasileiro de arroz irrigado; XXII Reunião da cultura do arroz irrigado, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 334-337, 1999b.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Minerais fontes de potássio em dois planossolos do RS. In: I Congresso brasileiro de arroz irrigado; XXII Reunião da cultura do arroz irrigado, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 330-333, 1999.
- COUCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- DASGUPTA, P.; DAS, B. S.; SEN, S. K. Soil water potential and recoverable water stress in drought tolerant and susceptible rice varieties. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 110-118, 2015.

DOBERMANN, A.; CASSMAN, K.G.; MAMARIL, C. P.; SHEEHY, J. E. Management of phosphorus, potassium and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. **Field Crops Research**, v. 56, n. 1-2, p. 113-138, 1998.

EMBRAPA – EMBRAPA CLIMA TEMPERADO: **Laboratório de Agrometeorologia**. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>. Acesso em: 14 dez. 2017.

FAOSTAT (2016). Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FAGERIA, N. K.; WANDER, A. E.; SILVA, S. C. Rice (*Oryza sativa*) cultivation in Brazil. **Indian Journal of Agronomy**, v. 59, n. 3, p. 350-358, 2014.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, 2003.

FAGERIA, N. K. Response of rice to fractional applied potassium in Brazil. **Better Crops International**, v. 7, n. 2, 1991.

FAGERIA, N. K. Effect of P, Ca, and Mg concentrations in solution culture on growth and uptake of these ions by rice. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 726-732, 1976.

FENÁNDEZ, F.; VERGARA, B. S.; YAPIT, N.; GARCIA, O. Crescimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. In: TASCÓN, J.E.; GARCIA, D. E. (Ed.). **Arroz: investigación y producción**. Cali: CIAT, p. 83-101, 1985.

FORNASIERI, F. D.; FORNASIERI, J. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funepe. 1993.

FREIRE, C. J. da S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. 2.ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 201 p., 2001.

GARGANTINI, H.; BLANCO, G. **Absorção de nutrientes pela cultura do arroz**. Bragantia, v. 24, n. 38, p. 515-528, 1965.

JAMA, A. O.; OTTMAN, M. J. Timing of the first irrigation in corn and water stress conditioning. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 6, p. 1159-1164, 1983.

KHAIRI, M.; NOZULAIIDI, M.; JAHAN, Md. S. Effects of different water levels on physiology and yield of salinity rice variety. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 2, p.339-345.2015.

LAMPAYAN, R. M.; REJESUS, R. M.; SINGLETON, G. R.; BOUMAN, B. A. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. **Field Crops Research**, v. 170, p. 95-108, 2015.

- MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA-CPATB. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargil, p.129-179, 1985.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro**. São Paulo: Ultrafértil, 36p., 1978.
- MARQUES NETO, G. C. **Curva de crescimento e marcha de absorção de nitrogênio das cultivares de arroz IRGA 417 e IRGA 424 submetidas a níveis de adubação nitrogenada**. 2014. 63f. Dissertação (Doutorado em Ciência) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.; ALEXANDRE, C.; GRASSI FILHO, H. Produção de massa seca e nutrição de cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 939-947, 2011.
- MOORE, P. A.; GILMOUR, J. T.; WELLS, B. R. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 5, p. 875-87, 1981.
- MURTY, P. S. S; MURTY, K. S. Spikelet sterility in relation to nitrogen and carbohydrate contents in rice. **Indian Journal Plant Physiology**, v. 25, p. 40-48, 1982.
- NAKLANG, K.; HARNPICHITVITAYA, D.; AMARANTE, S. T.; WADE, L. J.; HAEFELE, S. M. Internal efficiency, nutrient uptake, and the relation to field water resources in rainfed lowland rice of northeast Thailand. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1-2, p. 193-208, 2006.
- NORTON, G. J.; SHAFAEI, M.; TRAVIS, A. J.; DEACON, C. M.; DANKU, J.; POND, D.; DODD, I. C. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. **Field Crops Research**, v. 205, p. 1-13, 2017
- PINTO, M. A. B.; PARFITT, J. 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.
- QUN, Z H. O. U.; JU, C. X.; WANG, Z. Q.; ZHANG, H.; LIU, L. J.; YANG, J. C.; ZHANG, J. H. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 5, p. 1028-1043, 2017.
- SARVESTANI, Z. T.; PIRDASHTI, H.; SANAVY, S. A. M. M.; BALOUCHI, H. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 11, n. 10, p. 1303-1309, 2008.

SCIVITTARO, W. B.; PARFITT, J. M. B.; KLUMB, E. K.; SILVA, P. S. **Absorção de Nutrientes Pelo Arroz Irrigado por Aspersão.** Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 176), 29 p., 2012.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. Manejo da adubação mineral e da calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; SANTOS, A. B. dos (org.). **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil.** 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 73-87, 2004.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; SANTOS, A. B. dos (org.). **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil.** 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 259-303, 2004.

SHAIBU, Y. A.; BANDA, H. M.; MAKWIZA, C. N.; MALUNGA, J. C. Grain yield performance of upland and lowland rice varieties under water saving irrigation through alternate wetting and drying in sandy clay loams of Southern Malawi. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 2, p. 313-326, 2015.

SINGH, B.; SINGH, V. K. Fertilizer Management in Rice. In: CHAUHAN, B. S.; JABRAN, K.; MAHAJAN, G. **Rice Production Worldwide.** Springer, 2017.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado.** Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 2016. 200 p.

SOUSA, R.O.; CAMARGO, F.A.O; VAHL, L.C. Solos Alagados (Reações de Redox). In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo.** 4-Ed. Porto Alegre, 2010.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo.** 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006, p. 185-211.

STEINMETZ, S.; de MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; FAGUNDES, P.; SCIVITTARO, W.; de ALMEIDA, I. R.; REISSER JUNIOR, C.; da SILVA, M. F. **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, RS: Embrapa Clima Temperado, 2010. 75 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121).

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. In: **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. p. 37-121.

YE, Y.; LIANG, X.; CHEN, Y.; LIU, J.; GU, J.; GUO, R.; LI, L. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. **Field Crops Research**, v. 144, p. 212-224, 2013.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

XU, J.; PENG, S.; YANG, S.; WANG, W. Ammonia volatilization losses from a rice paddy with different irrigation and nitrogen managements. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 184-192, 2012.

ZHANG, Y.; TANG, Q.; PENG, S.; XING, D.; QIN, J.; LAZA, R. C.; PUNZALAN, B. R. Water use efficiency and physiological response of rice cultivars under alternate wetting and drying conditions. **The Scientific World Journal**, v. 12, 10 p., 2012.

#### 4 Referências Bibliográficas

- ABBASI, M. R.; SEPASKHAH, A. R. Response of different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) to water-saving irrigation in greenhouse conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 5, n. 1, p. 37-48, 2012.
- BEYROUTY, C. A.; GRIGG, B. C.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R. Nutrient uptake by rice in response to water management. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, p. 39-55, 1994.
- 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.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. A Cultura do Arroz. Disponível em: <<http://www.conab.br>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- DASGUPTA, P.; DAS, B. S.; SEN, S. K. Soil water potential and recoverable water stress in drought tolerant and susceptible rice varieties. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 110-118, 2015.
- HOWELL, K. R.; SHRESTHA P.; DODD, I. C. Alternate wetting and drying irrigation maintained rice yields despite half the irrigation volume, but is currently unlikely to be adopted by smallholder lowland farmers in Nepal. **Food and Energy Security**, v.4, n.2, p. 144–157, 2015.
- LAMPAYAN, R. M.; REJESUS, R. M.; SINGLETON, G. R.; BOUMAN, B. A. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. **Field Crops Research**, v. 170, p. 95-108, 2015.
- NORTON, G. J.; SHAFAEI, M.; TRAVIS, A. J.; DEACON, C. M.; DANKU, J.; POND, D.; DODD, I. C. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. **Field Crops Research**, v. 205, p. 1-13, 2017.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro**. Ultrafértil S.A., ed., São Paulo, 1978.
- MOTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p.3-6, 1990.
- MUTHAYYA, S.; SUGIMOTO, J. D.; MONTGOMERY, S.; MABERLY, G. F. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the new york Academy of Sciences**, v. 1324, n. 1, p. 7-14, 2014.
- PINTO, M. A. B.; PARFITT, J. 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.

QUN, Z H. O. U.; JU, C. X.; WANG, Z. Q.; ZHANG, H.; LIU, L. J.; YANG, J. C.; ZHANG, J. H. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 5, p. 1028-1043, 2017.

SARVESTANI, Z. T.; PIRDASHTI, H.; SANAVY, S. A. M. M.; BALOUCHI, H. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 11, n. 10, p. 1303-1309, 2008.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 2016. 200 p.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. de. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de (ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 97-118, 2004.