**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Necessidade e estratégias de irrigação para a cultura de milho no Estado do
Rio Grande do Sul**

Luciano Schwerz

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2017**

Luciano Schwerz
Engenheiro Agrônomo

Necessidade e estratégias de irrigação para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Schwerz, Luciano

Necessidade e estratégias de irrigação para a cultura de milho no
Estado do Rio Grande do Sul / Luciano Schwerz. - - Piracicaba, 2017.
155 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz".

1. *Zea mays* 2. *Deficit* hídrico 3. Irrigação 4. Produtividade 5. Eficiência I. Título

Aos meus pais, Jorge e Noeli Schwerz;
Ao meu irmão, Felipe Schwerz;
À minha Esposa, Simone Koch Schwerz;
Aos meus filhos, Davi Germano e Natália Koch
Schwerz (*in memoriam*).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, arquiteto da vida, pela oportunidade de aqui estar, e acima de tudo pelas grandes pessoas que tem colocado em meu caminho.

À Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela acolhida, desde a conclusão da graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela constante colaboração durante esses anos, em especial a secretária Luciane Aparecida Lopes Toledo pela dedicação e apoio.

Ao Professor Dr. Durval Dourado Neto, pela confiança e o total apoio ao longo desta caminhada, agradeço pela valiosa orientação, e pelo grande exemplo de dedicação, conhecimento e acima de tudo pela inestimada compreensão.

Ao Professor Dr. Felipe Gustavo Pilau, pela oportunidade de trabalhar na iniciação científica, e por todo o auxílio na construção do banco de dados deste trabalho, bem como os valiosos ensinamentos repassados.

Ao Professor Dr. Klaus Reichardt, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho e, em especial, às correções do inglês.

À Emater-RS/Ascar, a grande preconizadora do desenvolvimento Rural sustentável do Rio Grande do Sul, em especial aos colegas do Escritório Municipal de Sarandi, pelo apoio e compreensão nesta caminhada.

Aos colegas e alunos do Centro de Ensino Superior Riograndese (CESURG), pelo apoio e incentivo.

A todos os amigos e colegas, que de uma forma ou outra contribuíram para que pudesse concluir mais esta etapa na vida, agradeço de coração e desejo a todos muito sucesso.

Aos grandes amigos, colegas e professores da UFSM campus de Frederico Westphalen, que de maneira singular contribuíram na minha formação.

À minha Família, que dedicou carinho, atenção e compreensão para acalmar a saudade e minimizar a distância, e em especial à minha querida esposa Simone, pelo apoio incondicional na realização deste trabalho, ao meu amado filho Davi Germano que muitas vezes quebrava a preocupação com um sorriso e um abraço.

À minha filha Natália, que ilumina nossos caminhos, e que se tornou inspiração para a superação, pequena guerreira que nos trouxe grandes ensinamentos, e tão rapidamente passou em nossas vidas deixando muita saudade, mas acima de tudo amor e ternura.

Enfim, a todos que contribuíram ao longo desta caminhada, muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE ABREVIATURAS.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.2. Épocas de semeadura da cultura de milho.....	30
2.3. Necessidade hídrica e o efeito do <i>deficit</i> hídrico na cultura de milho.....	32
2.4. Balanço hídrico.....	34
2.5. Necessidade e manejo de irrigação	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. Temperatura, precipitação pluvial e localização geográfica	41
3.2. Datas de semeadura	41
3.3. Duração do ciclo.....	42
3.4. Profundidade efetiva do sistema radicular	42
3.5. Capacidade de água disponível	43
3.6. Balanço hídrico.....	44
3.6.1. Evapotranspiração potencial.....	44
3.6.1.1. Evapotranspiração potencial de referência.....	44
3.6.1.2. Evapotranspiração potencial da cultura.....	45
3.6.2. Saldo.....	46
3.6.3. Negativo acumulado e armazenamento.....	46
3.6.4. Alteração do armazenamento	46
3.6.5. Evapotranspiração real	47
3.6.6. Deficiência hídrica	47
3.6.7. Excedente hídrico	47
3.7. Índice de satisfação da necessidade de água	47
3.8. Penalização da produtividade.....	48
3.9. Simulação de irrigação	49
3.10. Ganho de produtividade	50
3.11. Análise estatística	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53

4.1.	Condições meteorológicas	53
4.1.1.	Temperatura do ar	53
4.1.2.	Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (ET _o)	57
4.2.	Balanço hídrico	61
4.2.1.	Evapotranspiração potencial e real da cultura de milho	61
4.2.2.	<i>Deficit</i> hídrico	73
4.2.3.	Excedente hídrico	84
4.3.	Classificação de épocas de semeadura em relação ao risco hídrico	97
4.4.	<i>Deficit</i> hídrico acumulado.....	101
4.5.	Produtividade penalizada pelo <i>deficit</i> hídrico.....	115
4.6.	Necessidade e estratégias de manejo de irrigação	130
4.6.1.	Produtividade sob condição irrigada.....	131
4.6.2.	Lâmina de irrigação	135
4.6.3.	Ganho de produtividade.....	138
5.	CONCLUSÕES	145
	REFERÊNCIAS	147

RESUMO

Necessidade e estratégias de irrigação para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul

A agricultura irrigada tem passado por constantes desafios voltados ao consumo racional dos recursos naturais, em especial para a cultura de milho que mesmo sendo um produto estratégico nos sistemas de produção agropecuários, tem sua viabilidade questionada em decorrência dos elevados custos de produção associado aos altos riscos relacionados as condições climáticas. O presente trabalho tem como objetivo determinar a necessidade, e propor estratégias de manejo de irrigação, baseados no balanço hídrico e na produtividade deplecionada de milho em dez épocas de semeadura, para dez municípios do estado do Rio Grande do Sul. O balanço hídrico do solo foi gerado com uma série histórica de dados de 17 a 25 anos de observação, a necessidade de irrigação foi determinada com base no *deficit* hídrico acumulado, e as estratégias de manejo de irrigação foram simuladas nas seguintes condições: (A) irrigação com base no fator de depleção de água no solo e na previsão de chuva, com irrigações ao longo de todo o ciclo, (B) manutenção da capacidade de água disponível (CAD) do solo em 80% ao longo de todo o ciclo, e (C) manutenção da CAD a 80% entre a floração e a maturidade fisiológica. Os dados foram submetidos a análise de variância com teste de regressão para os efeitos relacionado as épocas e teste de médias para determinar a melhor estratégia de irrigação. A partir dos resultados conclui-se que há necessidade de irrigação para todos os municípios e épocas estudadas, sendo que os valores de *deficit* hídrico acumulados foram de 312, 239, 260, 247, 286, 215, 206, 302, 240 e 264 mm para Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Ibirubá, Iraí, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga, respectivamente. Entre as épocas de semeadura o *deficit* hídrico acumulado variou de 143 a 360 mm.ciclo⁻¹ e a evapotranspiração potencial da cultura entre 473 e 593 mm.ciclo⁻¹, sendo as semeaduras de agosto responsáveis pelos menores valores e outubro pelos maiores, na média entre as épocas e locais o *deficit* hídrico acumulado foi de 257 mm.ciclo⁻¹, ao passo que o excedente hídrico apresentou valor superior ao *deficit* ao longo do ciclo para todas situações estudadas. Quanto as estratégias de manejo de irrigação, foi possível concluir que o manejo A: foi responsável pela menor produtividade sob condição irrigada e pela menor lâmina de irrigação, sendo que o ganho de produtividade (GP) médio foi de 18,9 kg.mm⁻¹, manejo B apresentou os maiores valores de produtividade sob condição irrigada, lâmina de irrigação e o menor GP 19,6 kg.mm⁻¹ e o manejo C promoveu um incremento de 127% na produtividade em relação as condições de sequeiro, com uma lâmina de irrigação de 170 mm, e um GP de 30,1 kg.mm⁻¹. Por fim, a produtividade potencial sofreu uma redução de 71% em decorrência do *deficit* hídrico, demonstrando a necessidade de suplementação hídrica através da irrigação e a melhoria das condições de armazenamento de água e exploração do perfil de solo para maior aproveitamento da água perdida no excedente hídrico.

Palavras-chave: *Zea mays*; *Deficit* hídrico; Irrigação; Produtividade; Eficiência

ABSTRACT

Needs and strategies of irrigation for the maize crop in the Rio Grande do Sul State

Irrigated agriculture has been a constant challenge aiming at the rational consumption of natural resources, especially for the corn crop, which even though being a strategic product in agricultural production systems, has its viability questioned due to high production costs. In order to determine the need to propose irrigation management strategies based on the concept of water balance, the depleted yield of maize in ten sowing seasons was used for ten cities in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Soil water balance was generated with a historical data series of 17 to 25 years of observation, the need for irrigation was determined based on the accumulated water deficit, and irrigation management strategies were: (A) irrigation based on the water depletion factor along of the whole cycle; (B) maintaining soil water holding capacity (SWHC) at 80% throughout the cycle; and (C) maintaining 80% SWHC between flowering and physiological maturation. From the results, it can be concluded that irrigation is needed for all studied cities and seasons, and the accumulated water deficit values were 312, 239, 260, 247, 286, 215, 206, 240 and 264 mm for Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Ibirubá, Iraí, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Rosa and São Luiz Gonzaga, respectively. Among sowing times, the accumulated water deficit ranged from 143 to 360 mm.cycle⁻¹ and the potential evapotranspiration of the crop between 473 and 593 mm.cycle⁻¹, with August sowings accounting for the lowest values and October presenting the highest value on average between the seasons and localities. The accumulated water deficit was 257 mm.cycle⁻¹, while the water surplus presented a value higher than the deficit over the cycle for all situations. Regarding the irrigation management strategies, it was possible to conclude that: (A) they were responsible for the lowest irrigated productivity and the lowest irrigation depth, and the mean gain of productivity (GP) was 18.9 kg.mm⁻¹; (B) presented the highest productivity values for Irrigation, and the lowest GP 19.6 kg.mm⁻¹ and (C) promoted a 77% increase in productivity in relation to rainfed conditions, with an irrigation depth of 170 mm, and a GP of the order of 30.1 kg.mm⁻¹. Finally, potential productivity fell by 71% due to the water deficit, so that this result demonstrates the need for water supplementation through irrigation and improvement of water storage conditions, and soil profile exploration for better use of the water lost in the water surplus.

Keywords: *Zea mays*; Water deficit; Irrigation; Productivity; Efficiency

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - MODELO USADO PARA ESTIMAR O COEFICIENTE DA CULTURA DE MILHO (K_c) AO LONGO DO CICLO. ADAPTADO DE DOORENBOS E KASSAM (1994).....46
- FIGURA 2 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE TEMPERATURA DO AR MÁXIMA (T_x , $^{\circ}\text{C}$), MÍNIMA (T_n , $^{\circ}\text{C}$) E MÉDIA (T , $^{\circ}\text{C}$), PARA CADA DIA JULIANO J , OBSERVADOS PARA (A) BAGÉ, (B) CRUZ ALTA, (C) ENCRUZILHADA DO SUL, (D) IBIRUBÁ, (E) IRAÍ, (F) JÚLIO DE CASTILHOS, (G) PASSO FUNDO, (H) SANTA MARIA, (I) SANTA ROSA E (J) SÃO LUIZ GONZAGA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO56
- FIGURA 3 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL (P , MM.MÊS^{-1}), EM BARRAS, E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DE REFERÊNCIA (E_{To} , MM.DIA^{-1}), EM LINHA, MÉDIA PARA CADA MÊS DO ANO, EM (A) BAGÉ, (B) CRUZ ALTA, (C) ENCRUZILHADA DO SUL, (D) IBIRUBÁ, (E) IRAÍ, (F) JÚLIO DE CASTILHOS, (G) PASSO FUNDO, (H) SANTA MARIA, (I) SANTA ROSA E (J) SÃO LUIZ GONZAGA, RIO GRANDE DO SUL, PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO60
- FIGURA 4 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (E_{Tc} , MM.DIA^{-1}) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (E_{Tr} , MM.DIA^{-1}) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À PRIMEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)63
- FIGURA 5 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (E_{Tc} , MM.DIA^{-1}) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (E_{Tr} , MM.DIA^{-1}) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO

SUL, REFERENTE À SEGUNDA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 64

FIGURA 6 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETC, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETr, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À TERCEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 65

FIGURA 7 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETC, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETr, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUARTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 66

FIGURA 8 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETC, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETr, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUINTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 67

FIGURA 9 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETC, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETr, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G)

PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SEXTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)68

FIGURA 10 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ET_C, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET_R, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SÉTIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)69

FIGURA 11 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ET_C, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET_R, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À OITAVA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)70

FIGURA 12 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ET_C, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET_R, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À NONA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)71

FIGURA 13 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ET_C, MM.DIA⁻¹) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET_R, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B)

CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À DÉCIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 72

FIGURA 14 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À PRIMEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 74

FIGURA 15 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SEGUNDA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 75

FIGURA 16 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À TERCEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 76

FIGURA 17 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO

FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUARTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)77

FIGURA 18 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUINTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)78

FIGURA 19 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SEXTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)79

FIGURA 20 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SÉTIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)80

FIGURA 21 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO

SUL, REFERENTE À OITAVA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 81

FIGURA 22 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À NONA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 82

FIGURA 23 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO *DEFICIT* HÍDRICO (DEF, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À DÉCIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 83

FIGURA 24 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À PRIMEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 87

FIGURA 25 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SEGUNDA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE AGOSTO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 88

FIGURA 26 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À TERCEIRA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)89

FIGURA 27 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUARTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE SETEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)90

FIGURA 28 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À QUINTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)91

FIGURA 29 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SEXTA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE OUTUBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)92

FIGURA 30 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B)

CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À SÉTIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 93

FIGURA 31 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À OITAVA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE NOVEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 94

FIGURA 32 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À NONA ÉPOCA DE SEMEADURA: 1 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 95

FIGURA 33 - VARIAÇÃO TEMPORAL (DAS: DIAS APÓS A SEMEADURA) DO EXCEDENTE HÍDRICO (EXC, MM.DIA⁻¹) DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, REFERENTE À DÉCIMA ÉPOCA DE SEMEADURA: 15 DE DEZEMBRO (VALORES MÉDIOS PARA SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO)..... 96

FIGURA 34 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, EM RELAÇÃO AO ATENDIMENTO DAS NECESSIDADES DE

ÁGUA AO LONGO DE TODO O CICLO DA CULTURA DE MILHO NOS MUNICÍPIOS DE BAGÉ (25 CICLOS), CRUZ ALTA (25 CICLOS), ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), IBIRUBÁ (17 CICLOS), IRAÍ (23 CICLOS), JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), PASSO FUNDO (25 CICLOS), SANTA MARIA (25 CICLOS), SANTA ROSA (25 CICLOS) E SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS) DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, EM DEZ ÉPOCAS DE SEMEADURA, CONSIDERANDO CICLO FIXO DE 130 DIAS, PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR E RETENÇÃO DE ÁGUA ESPECÍFICA DO SOLO VARIÁVEIS 99

FIGURA 35 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, EM RELAÇÃO AO ATENDIMENTO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DURANTE O PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE O INÍCIO DA FLORAÇÃO E O FINAL DA MATURAÇÃO FISIOLÓGICA DA CULTURA DE MILHO NOS MUNICÍPIOS DE BAGÉ (25 CICLOS), CRUZ ALTA (25 CICLOS), ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), IBIRUBÁ (17 CICLOS), IRAÍ (23 CICLOS), JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), PASSO FUNDO (25 CICLOS), SANTA MARIA (25 CICLOS), SANTA ROSA (25 CICLOS) E SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS) DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, EM DEZ ÉPOCAS DE SEMEADURA, CONSIDERANDO CICLO FIXO DE 130 DIAS, PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR E RETENÇÃO DE ÁGUA ESPECÍFICA DO SOLO VARIÁVEIS 100

FIGURA 36 - *DEFICIT* HÍDRICO ACUMULADO (DHA, MM.CICLO^{-1}) AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 114

FIGURA 37 - PRODUTIVIDADE POTENCIAL PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA^{-1}) AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 129

FIGURA 38 - PRODUTIVIDADE SOB CONDIÇÃO IRRIGADA MÉDIA (PI , $KG.HA^{-1}$) EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 134

FIGURA 39 - LÂMINA DE IRRIGAÇÃO MÉDIA (LI , $MM.CICLO^{-1}$) ESTIMADA EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 137

FIGURA 40 - GANHO DE PRODUTIVIDADE (GP , $KG.MM^{-1}$) EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM (A) BAGÉ (25 CICLOS), (B) CRUZ ALTA (25 CICLOS), (C) ENCRUZILHADA DO SUL (25 CICLOS), (D) IBIRUBÁ (17 CICLOS), (E) IRAÍ (23 CICLOS), (F) JÚLIO DE CASTILHOS (25 CICLOS), (G) PASSO FUNDO (25 CICLOS), (H) SANTA MARIA (25 CICLOS), (I) SANTA ROSA (25 CICLOS) E (J) SÃO LUIZ GONZAGA (25 CICLOS), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 142

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LATITUDE (GRAUS), LONGITUDE (GRAUS), ALTITUDE (M) E ANO INICIAL E FINAL DO PERÍODO DE OBSERVAÇÕES DOS ELEMENTOS DO CLIMA UTILIZADOS E NÚMERO DE ANOS DA SÉRIE HISTÓRICA (NÚMERO CICLOS DA CULTURA DE MILHO SIMULADOS) REFERENTES AOS DEZ MUNICÍPIOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	41
TABELA 2 - DURAÇÃO (DIAS) DOS SUBPERÍODOS DA CULTURA DE MILHO. ADAPTADO DE GADIOLI ET AL. (2000) E STORCK ET AL. (2009)	42
TABELA 3 - CLASSES DE SOLO, TEORES DE ARGILA (T_G , $KG.KG^{-1}$), SILTE (T_S , $KG.KG^{-1}$) E AREIA (T_A , $KG.KG^{-1}$) CORRESPONDENTES AOS DEZ MUNICÍPIOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	44
TABELA 4 - ÍNDICES DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA CORRESPONDENTES ÀS CLASSES DE RISCO DE ATENDIMENTO DA DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DE MILHO DURANTE O CICLO COMPLETO OU PARA O PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE O INÍCIO DA FLORAÇÃO E O INÍCIO DA MATURAÇÃO FISIOLÓGICA. ADAPTADO DE BRUNINI (2001).....	48
TABELA 5 - <i>DEFICIT</i> HÍDRICO ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA BAGÉ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	103
TABELA 6 - <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA CRUZ ALTA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	104
TABELA 7 - <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA ENCRUZILHA DO SUL, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	105
TABELA 8 - <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO,	

(C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA IBIRUBÁ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 106

TABELA 9 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA IRAÍ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 107

TABELA 10 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA JÚLIO DE CASTILHOS, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 108

TABELA 11 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA PASSO FUNDO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 109

TABELA 12 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SANTA MARIA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 110

TABELA 13 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SANTA ROSA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 111

TABELA 14 - *DEFICIT* HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E

(J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SÃO LUIZ GONZAGA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	112
TABELA 15 - MODELO MATEMÁTICO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E VALOR P DE SIGNIFICÂNCIA PARA O <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (MM) ACUMULADO AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO EM 10 ÉPOCAS DE SEMEADURA PARA DIFERENTES MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	115
TABELA 16 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (PA, KG.HA ⁻¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, NOS TRÊS SISTEMAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO E NA CONDIÇÃO DE SEQUEIRO, PARA BAGÉ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	118
TABELA 17 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (PA, KG.HA ⁻¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA CRUZ ALTA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	119
TABELA 18 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (PA, KG.HA ⁻¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA ENCRUZILHA DO SUL, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	120
TABELA 19 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (PA, KG.HA ⁻¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA IBIRUBÁ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	121
TABELA 20 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (PA, KG.HA ⁻¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE	

OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA IRAÍ, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 122

TABELA 21 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA⁻¹)
¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA JÚLIO DE CASTILHOS, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 123

TABELA 22 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA⁻¹)
¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA PASSO FUNDO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 124

TABELA 23 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA⁻¹)
¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SANTA MARIA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 125

TABELA 24 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA⁻¹)
¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SANTA ROSA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL..... 126

TABELA 25 - VALORES DE PRODUTIVIDADE PENALIZADA PELO *DEFICIT* HÍDRICO (PA, KG.HA⁻¹)
¹) NA CULTURA DE MILHO REFERENTES ÀS ÉPOCAS DE SEMEADURA (A) 1 DE AGOSTO, (B) 15 DE AGOSTO, (C) 1 DE SETEMBRO, (D) 15 DE SETEMBRO, (E) 1 DE OUTUBRO, (F) 15 DE OUTUBRO, (G) 1 DE NOVEMBRO, (H) 15 DE NOVEMBRO, (I) 1 DE DEZEMBRO E (J) 15 DE DEZEMBRO, PARA SÃO LUIZ GONZAGA, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 127

TABELA 26 - MODELO MATEMÁTICO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E VALOR P DE SIGNIFICÂNCIA PARA A PRODUTIVIDADE POTENCIAL PENALIZADA (KG.HA^{-1}) PELO <i>DEFICIT</i> HÍDRICO (MM) AO LONGO DO CICLO DA CULTURA DE MILHO EM 10 ÉPOCAS DE SEMEADURA PARA DIFERENTES MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	130
TABELA 27 - DESDOBRAMENTO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PRODUTIVIDADE SOB CONDIÇÃO IRRIGADA (PI, KG.HA^{-1}), LÂMINA DE IRRIGAÇÃO (LI, MM.CICLO^{-1}) E GANHO DE PRODUTIVIDADE (GP, KG.MM^{-1}) SIMULADOS PARA A CULTURA DE MILHO EM DIFERENTES LOCAIS E DATAS DE SEMEADURA EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO	131
TABELA 28 - EFEITO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE SOB CONDIÇÃO IRRIGADA (PI, KG.HA^{-1}) SIMULADA (17 A 25 CICLOS) PARA A CULTURA DE MILHO EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	133
TABELA 29 - MODELO MATEMÁTICO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E VALOR P DE SIGNIFICÂNCIA PARA A PRODUTIVIDADE SOB CONDIÇÃO IRRIGADA (PI, KG.HA^{-1}) EM FUNÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM 10 ÉPOCAS DE SEMEADURA EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	135
TABELA 30 - EFEITO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO SOBRE A LÂMINA DE IRRIGAÇÃO (LI, MM.CICLO^{-1}) SIMULADA (17 A 25 CICLOS) PARA A CULTURA DE MILHO EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	136
TABELA 31 - MODELO MATEMÁTICO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E VALOR P DE SIGNIFICÂNCIA PARA A LÂMINA DE IRRIGAÇÃO (LI, MM.CICLO^{-1}) EM FUNÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM 10 ÉPOCAS DE SEMEADURA EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	138
TABELA 32 - GANHO DE PRODUTIVIDADE (GP, KG.MM^{-1}) EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO SIMULADA (17 A 25 CICLOS) PARA A CULTURA DE MILHO EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	141
TABELA 33 - MODELO MATEMÁTICO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E VALOR P DE SIGNIFICÂNCIA PARA A GANHO DE PRODUTIVIDADE (GP, KG.HA^{-1}) EM FUNÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DE MILHO EM 10 ÉPOCAS DE SEMEADURA EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	143

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Armazenamento de água no solo
AFD	Água facilmente disponível
CAD	Capacidade de água disponível
DEF	Deficiência hídrica
DHA	Deficiência hídrica acumulada
EXC	Excedente hídrico
ET _r	Evapotranspiração real
ET _o	Evapotranspiração potencial de referência
ET _{oT}	Evapotranspiração potencial de referência anual
EUR	Eficiência do uso da radiação
GP	Ganho de produtividade
K _c	Coeficiente de cultura
K _y	Coeficiente de sensibilidade
L	Negativo acumulado
Li	Lâmina de irrigação
P	Precipitação pluvial (chuva)
PA	Produtividade atingível
P _i	Produtividade sob condição irrigada
PP	Produtividade potencial
SiBCS	Sistema brasileiro de classificação de solos
SIG	Sistemas de informações geográficas
T	Temperatura
T _x	Temperatura máxima diária
T _n	Temperatura mínima diária
T	Temperatura média diária
Ze	Profundidade efetiva do sistema radicular
ΔA	Variação do armazenamento
Φ	Latitude
Θ_{cc}	Teor de água referente à <i>Capacidade de campo</i>
Θ_{pmp}	Teor de água referente ao <i>Ponto de murcha permanente</i>

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família *Poaceae*, com origem no teosinto e descoberto há mais de 8.000 anos. A produção de milho tem um papel importante na agricultura global, ocupando o terceiro lugar em importância entre os cereais, perdendo apenas para o trigo e o arroz.

A cultura representa um produto estratégico para a segurança alimentar da população, sendo utilizado para a nutrição humana e alimentação animal e até mesmo na geração de bioetanol. Segundo Cardoso et al. (2011), a partir do insumo milho, estima-se que são desenvolvidos mais de 500 subprodutos, a exemplo dos alimentícios como os óleos, glicose, amido e fermento, produtos químicos como o plástico, bebidas como o refrigerante e licores, elaborados da fermentação como a cetona e enzimas, e a própria ração. Neste sentido, destaca-se a importância socioeconômica desse vegetal em âmbito global.

A produção do cereal apresenta grande dependência às condições climáticas do local. Assim, Bergamaschi et al. (2004) relatam que a cultura de milho pode reduzir drasticamente seu potencial produtivo em decorrência de estiagens de curta duração em períodos de grande demanda hídrica. O mesmo autor cita que o clima é o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas brasileiras. Em função dos altos custos de produção e da sua alta dependência com as condições climáticas, as áreas de milho no estado do Rio Grande do Sul foram reduzidas em mais de 40% nos últimos 10 anos, caindo de 1.436.000 para 823.000 hectares entre as safras 2005/06 e 2015/16, respectivamente.

Dentre os condicionantes climáticos da produção, a disponibilidade hídrica exerce grande papel na produtividade, principalmente em se tratando da cultura de milho, a qual apresenta períodos de elevada demanda e alta sensibilidade ao estresse hídrico. Neste sentido, torna-se necessária, muitas vezes, a suplementação através da irrigação ou a adoção de estratégias de manejo e janelas de semeadura que possibilitem a planta escapar e ou minimizar os efeitos do *deficit* hídrico.

O estresse hídrico pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e os processos fisiológicos das plantas de milho, o que pode reduzir a biomassa e, em última análise, a produtividade de grãos, devido à redução do número de grãos por espiga ou da massa do grão (DWYER; STEWART, 1984; NEWELL; WILHELM, 1987; BRYANT et al., 1992; GAVLOSKI; WHITFIELD; ELLIS, 1992; NESMITH; RITCHIE, 1992; TRAORE et al., 2000; PAYERO et al., 2006; AYDINSAKIR et al., 2013; LI; SUN, 2016).

Vários autores desenvolveram modelos matemáticos para quantificar o efeito do tempo de ocorrência de estresse na produtividade da cultura de milho (NAIRIZI; RYDZEWSKI, 1977; MEYER; HUBBARD; WILHITE, 1993; PAYERO et al., 2009). Outros autores, no entanto, sugeriram que a produtividade de milho é apenas função da evapotranspiração sazonal ou transpiração (BARRETT; SKOGERBOE, 1978; GILLEY; WATTS; SULLIVAN, 1980; STONE, 2003; KLOCKE et al., 2004; PAYERO et al., 2006). Estes autores sugerem que se a produtividade de grãos está linearmente relacionada com a evapotranspiração sazonal, então, o efeito do estresse hídrico sobre a produtividade dependerá da magnitude em que o estresse afeta a evapotranspiração da cultura.

Nesse sentido, a avaliação da necessidade de água para a cultura e a análise da disponibilidade hídrica são fundamentais para o entendimento das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, auxiliando no planejamento das lavouras, na definição de melhores épocas de semeadura em cada região e na elaboração de projetos de irrigação, bem como no aperfeiçoamento de zoneamentos agroclimáticos.

Dentre as estratégias para mitigar os efeitos climáticos, em especial a baixa disponibilidade hídrica, está o escalonamento da semeadura, principalmente a sua antecipação para períodos mais frios como o mês de agosto, para que os períodos de maior evapotranspiração não coincidam com os períodos de menor disponibilidade hídrica. Outra possibilidade é a adoção da prática de irrigação, a qual por sua vez pode ser dividida em duas situações distintas, a suplementação e ou o atendimento da demanda hídrica completa.

Em determinadas situações de cultivo, o projeto de irrigação deve levar em consideração a demanda hídrica total (irrigação plena) ao longo do ciclo da cultura, o que é muito comum em regiões com regime de chuva bem definido, safra das águas e seca. Por outro lado, a suplementação do *deficit* hídrico (irrigação com *deficit*) é uma prática bastante comum na região sul onde são observadas, com grande frequência, a ocorrência de estiagens pontuais, os chamados veranicos.

Mesmo que sejam períodos curtos de estiagem, acabam culminando com períodos de maior demanda hídrica pela cultura de milho. Os veranicos, em geral, ocorrem entre os meses de novembro e janeiro. Assim, os sistemas de irrigação podem ser dimensionados de maneira a atender uma menor fração da necessidade total de água pela cultura, reduzindo a necessidade de armazenamento de água e também o custo de implantação dos sistemas de irrigação.

Pesquisadores como Frizzzone (2004) destacam que a irrigação para atender plenamente a demanda de água da cultura é um problema relativamente simples e claramente

definido, com o objetivo único de suplemento hídrico. Entretanto, Figueiredo et al. (2008) ressaltam uma importante mudança que deverá ocorrer nas práticas da irrigação nos próximos anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso da água e dos impactos ambientais da irrigação. Tais fatores deverão motivar uma mudança de paradigma da irrigação, prevalecendo a eficiência econômica em vez da demanda de água da cultura.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo determinar a necessidade da irrigação com base no balanço hídrico e na produtividade de milho, bem como propor estratégias de manejo de irrigação para dez épocas de semeadura em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos econômicos da cultura de milho

O milho é uma das culturas agrícolas de maior relevância no cenário mundial e nacional. É caracterizado como sendo a base da alimentação animal. Entre 70 e 80% da produção nacional se destina à produção de aves, suínos, leite e bovinos de corte. A espécie se apresenta como um produto estratégico nas propriedades rurais, pois tem condição de gerar grandes volumes de reserva alimentar, por intermédio de processos de ensilagem de planta inteira, silagem de grão úmido e armazenamento na forma de grãos secos. Além de sua ampla utilização, o milho apresenta condições de crescimento e desenvolvimento em praticamente todo território nacional.

A produção de milho no Brasil apresenta uma taxa de crescimento de cerca de 4% ao ano. Cultivado sob diferentes sistemas, o milho é produzido principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, nos estados do Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. Um estudo da projeção de produção deste cereal, feito pela "Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa", indica um aumento de 19,11 milhões de toneladas entre as colheitas de 2008/2009 e 2019/2020. Em 2019/2020, espera-se uma produção de 70,12 milhões de toneladas, e para 2022/2023, 93,6 milhões de toneladas (MAPA, 2007).

No Brasil, foram cultivados 15,9 milhões de hectares e produzidos 66,69 milhões de toneladas de milho na safra 2015/16 (CONAB, 2017), sendo as maiores áreas observadas nos estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul, os quais foram responsáveis pela produção de 15,27, 14,48 e 6,27 milhões de toneladas de milho, respectivamente. Assim, o Centro-Oeste é responsável por produzir mais de 50% dos grãos de milho do país. Por outro lado, a região Sul é a responsável pelas maiores produtividades na safra 2015/16, com destaque para Santa Catarina 7.330 kg.ha^{-1} e Rio Grande do Sul com produtividade média de 7.160 kg.ha^{-1} .

A cadeia produtiva de milho é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, correspondendo a 37% da produção nacional de grãos. A crescente demanda por grãos, tanto nacional como internacional, reforça o alto potencial do setor. Juntamente com a soja, o milho é o insumo básico para avicultura e suinocultura, dois mercados muito competitivos que geram receitas para o Brasil (MAPA, 2007). Existe uma crescente demanda de milho devido

ao recente e rápido desenvolvimento dos países asiáticos, aumentando o consumo de grãos para a alimentação animal e para a produção de álcool nos Estados Unidos da América.

Por outro lado, o consumo de milho apresenta uma distribuição voltada à região Sul do Brasil, a qual é responsável pelo consumo de aproximadamente 50% da produção nacional. Segundo levantamento realizado por Oliveira e Lima (2016), entre os anos de 2009 e 2016, a avicultura é a primeira no consumo do cereal, sendo que no Rio Grande do Sul são necessárias em média 3,05 milhões de toneladas de milho por ano. A suinocultura apresentou um consumo de 2,02 milhões de toneladas e a bovinocultura de corte e leite consomem 0,75 milhões de toneladas do grão por ano. O consumo geral foi de 6,41 milhões de toneladas comparados à produção anual média de 5,41 milhões de toneladas no período. Além do consumo interno, o estado ainda exporta aproximadamente 0,4 milhões de toneladas, tornando o *deficit* de milho ainda mais pronunciado no Rio Grande do Sul.

2.2. Épocas de semeadura da cultura de milho

Para garantir uma boa produtividade de grãos na cultura de milho, é de fundamental importância que as condições do meio permitam o atendimento de algumas exigências climáticas, para que assim a cultura possa expressar um bom crescimento e desenvolvimento. Segundo Siega (2015), dentre os elementos climáticos que mais se destacam está a radiação solar, temperatura do ar e a precipitação pluvial, as quais condicionam a disponibilidade hídrica e a taxa fotossintética.

A época de semeadura da cultura de milho deve levar em conta o atendimento das exigências climáticas da cultura em diferentes subperíodos. Assim, em se tratando de temperatura, é preciso compreender que a mesma possui uma complexa relação com a cultura e sua fisiologia. Partindo da premissa de que a temperatura da planta é a mesma do ambiente de produção, a ocorrência de flutuações periódicas influencia diretamente os processos metabólicos que ocorrem no interior da planta. Assim, a temperatura elevada remete a processos metabólicos mais acelerados. Nos períodos mais frios, o metabolismo tende a diminuir (CRUZ et al., 2010).

A temperatura base inferior para a cultura de milho é de 10°C, e a limite superior é de 30°C. Assim, temperaturas extremas acabam prejudicando ou retardando seu desenvolvimento. Para melhor planejamento das datas de semeadura e posicionamento de híbridos no mercado, os genótipos são classificados quanto ao ciclo e sua exigência térmica (unidades calóricas necessárias para completar o desenvolvimento). A partir da safra 2009/10,

o Ministério da Agricultura tem dividido esta classificação em três grupos homogêneos com comprimento do ciclo em dias desde a emergência até a maturidade fisiológica (n). Sendo assim: (grupo I): n menor ou igual a 110 dias, (Grupo II): n entre 110 e 145 dias e (Grupo III): n maior que 145 dias (MAPA, 2016).

O zoneamento de risco climático para o Rio Grande do Sul destaca a importância de genótipos hiperprecoces para o estado. Na safra 2016/17, o maior volume de matérias disponíveis no mercado foi o do Grupo I, seguido do Grupo II e apenas um registro para o grupo III. Esses materiais de ciclo curto ganham importância por serem híbridos mais rápidos, com menor soma térmica necessária para mudança de estágio fenológico. Assim, favorece também o desenvolvimento inicial da cultura quando semeado em épocas mais frias, possibilitando melhores condições climáticas no período do início da floração ao enchimento de grãos, e a realização de safrinha com as culturas de feijão, soja ou milho (para silagem ou produção de grão).

A radiação solar é um dos elementos de extrema importância à planta de milho, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo. Grande parte da massa de matéria seca de milho, cerca de 90%, provém da fixação de CO₂ pelo processo fotossintético. O milho por ser uma planta do grupo C₄ apresenta uma alta eficiência quântica, entre 64,5 a 69 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$, caracterizada como a maior neste grupo. Esta acentuada eficiência é atribuída à anatomia das plantas que possuem menor área entre as nervuras e lamela suberizada, que previne a perda de CO₂ para o meio (HATTERSLEY, 1984).

Sangoi et al. (2001) destacam que as semeaduras precoces no sul do Brasil são realizadas entre o final de julho e o começo de setembro, antes do início da primavera, período em que a menor radiação solar incidente e a temperatura mais baixa do ar diminuem a velocidade de crescimento e desenvolvimento da cultura. Essas condições resultam em adaptações como a redução da área foliar por planta, índice de área foliar e estatura de planta.

Por outro lado, semeaduras tardias realizadas nos meses de dezembro e janeiro apresentam um potencial produtivo mais baixo em decorrência da menor quantidade de radiação solar durante o período de enchimento de grãos (FORSTHOFER et al., 2006). No entanto, esta semeadura entre o final da primavera e o início do verão se torna uma opção de cultivo em sucessão ao fumo, feijão, cebola e batata, intensificando o uso da terra, proporcionando assim a geração de renda e diversificação da propriedade rural.

Assim, a época de semeadura ideal para cultura de milho na região Sul do Brasil, visando o melhor aproveitamento da radiação solar, está compreendida entre meados de setembro e o final de outubro (SANGOI et al., 2007). Isso faz com que o florescimento e o início do enchimento de grãos ocorram em dezembro e janeiro, meses em que os dias são mais longos e há maior ocorrência de radiação solar (FORSTHOFER et al., 2004). No entanto, ao coincidir a floração e o enchimento de grãos com períodos de maior disponibilidade de radiação solar, expõe-se a planta aos riscos relacionados ao *deficit* hídrico.

2.3. Necessidade hídrica e o efeito do *deficit* hídrico na cultura de milho

A necessidade de água de uma planta ao longo do seu ciclo de vida é determinada por fatores que determinam a demanda evaporativa da atmosfera e das características da cultura. Os principais fatores que estão ligados a evapotranspiração dos vegetais são a espécie vegetal, a interação com a radiação solar, a distribuição espacial do dossel, a arquitetura da planta, profundidade e volume do sistema radicular, estágio de desenvolvimento e índice de área foliar (BERGAMASSCHI; MARTZNAUER, 2014).

A cultura de milho necessita ao longo do seu ciclo uma lâmina de aproximadamente 600 mm de água para que possa expressar um adequado desenvolvimento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Esta demanda varia em decorrência do ciclo da cultura, de seu genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta, e também aos fatores ambientais do local. Bergamaschi et al. (2001) relatam que durante o ciclo a cultura, a demanda pode ser de cerca de 7 mm diários de água para as condições do estado do Rio Grande do Sul.

A cultura quando exposta a condições adversas no período da floração, ou seja, um desvio das condições ótimas para seu desenvolvimento, acaba induzida a mudanças em todos os níveis funcionais caracterizando um estresse ao vegetal (LARCHER, 2000). Essas alterações no desempenho fisiológico em decorrência de condições de estresse acionam mecanismos de defesa que permitem ao vegetal escapar ou tolerar essa limitação climática, em especial ao estresse hídrico, promovendo modificações no crescimento e desenvolvimento, podendo essas adaptações levar à redução do potencial produtivo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os efeitos do estresse hídrico sobre o milho incluem os sintomas visíveis de maturidade tardia, menor produção de biomassa e produtividade de grãos da cultura. Por exemplo, o estresse hídrico no milho mostrou reduzir a altura da planta (DENMEAD; SHAW, 1960; GAVLOSKI; WHITFIELD; ELLIS, 1992; ÇAKIR, 2004), índice de área foliar

(NESMITH; RITCHIE, 1992; TRAORE et al., 2000), e crescimento de raiz (GAVLOSKI; WHITFIELD; ELLIS, 1992; JAMA; OTTMAN, 1993). Jama e Ottman (1993) relataram que o estresse durante a fase vegetativa da cultura de milho em um ambiente árido impediu o desenvolvimento da raiz, o que restringiu a absorção de água. Além disso, a produtividade de grãos pode ser reduzida pela redução do número e da massa de grãos (OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995).

Doorenbos e Kassam (1979a) propuseram que o efeito do estresse hídrico sobre a produtividade poderia ser quantificado por uma função linear, onde a inclinação da linha (K_y) era um fator de resposta à produtividade empírica que variava dependendo da fase de crescimento quando ocorreu o estresse hídrico. Para a cultura de milho, foram relatados valores de K_y de 0,4, 1,5, 0,5 e 0,2 para as seguintes fases: vegetativa, floração, pós-floração e maturação, indicando que a produtividade foi mais afetada pelo estresse hídrico durante o estágio de floração do que em qualquer outra fase. Esse modelo sugere que se a água é limitada, deve-se planejar a irrigação ou definir a semeadura para que coincida com a fase mais sensível (floração) com o período de máxima probabilidade de chover pelo menos a evapotranspiração potencial.

Vários autores apontam o início do estágio reprodutivo como sendo o mais relevante para condições de estresse. Assim, uma deficiência hídrica no período de florescimento da cultura pode comprometer em apenas dois dias mais de 20% da produtividade, e num período de quatro a oito dias mais de 50% (MAGALHÃES et al., 2002). O mesmo autor relata que há ligação direta entre a disponibilidade hídrica e a produtividade de grãos, principalmente em três fases de desenvolvimento da cultura, a iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, momento no qual é determinado o número potencial de grãos, o período de fertilização, onde é fixado o potencial de produção, sendo ainda a água muito importante para evitar a desidratação do grão de pólen garantindo assim o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico, e por fim o período de enchimento de grãos, fase em que ocorre o aumento na deposição de matéria seca, onde pode haver comprometimento dos processos fotossintéticos e consequentemente a redução na produção de carboidratos que seriam acumulados nos grãos (MAGALHÃES; DURÃES; PAIVA, 1995).

Nesmith e Ritchie (1992) avaliaram as respostas a curto e longo prazo na cultura de milho a um *deficit* hídrico pré-antese. Relataram que os efeitos a curto prazo dos *deficits* hídricos são descritos como retardamento na emissão, e redução da área foliar, já as consequências a longo prazo são relatadas como menor tamanho das folhas e entrenós, e

perdas de produtividade de 15 a 25%. Ritchie, Hanway e Benson (1992) relataram que o estágio fenológico V₁₀ (10 folhas completamente expandidas) a planta de milho inicia um aumento rápido e constante no acúmulo de nutrientes e massa de matéria seca, seguindo na fase reprodutiva. Os autores concluíram que o estresse hídrico nessa fase pode limitar o tamanho das folhas e comprometer a taxa fotossintética.

As respostas das plantas quando são submetidas ao estresse variam conforme o estágio de desenvolvimento, o genótipo, e a duração e grau de severidade do *deficit*. Durães et al. (2004) relatam que as maiores perdas de produtividade foram ocasionadas pela ocorrência de *deficit* hídrico no período de quinze dias antes e quinze dias após o florescimento, sendo este considerado como o período crítico da cultura em relação à falta de água no solo.

Quando o estresse hídrico ocorre alguns dias antes ou durante a floração provoca o retardamento no florescimento feminino, em função do estilo-estigma necessitar de maior tempo de formação, em comparação ao início da liberação de pólen, devido a efeitos de competição de fitormônio e carboidratos. Assim, o estresse provoca um aumento no intervalo entre o florescimento masculino e feminino (BETRÁN et al., 2003), resultando em falhas na polinização e consequente redução do número de grãos.

Pesquisando as relações hídricas da cultura de milho, Medeiros et al. (1991) observaram que o período de desenvolvimento mais afetado pela deficiência hídrica está compreendido entre dez dias antes e dez dias após o pendoamento e também durante o espigamento.

Assim, ao analisar vários trabalhos ligados a disponibilidade hídrica à cultura de milho, é possível observar um consenso acerca do período mais crítico, que é próximo ao início da floração, seguindo até alguns dias após a fecundação dos grãos (ECK, 1986; FORNASIERI FILHO, 1992; DIDONET et al., 2001; ÇAKIR, 2004; NIED et al., 2005). Tais autores salientam que a ocorrência de condições climáticas adversas, durante o período de enchimento de grãos, pode afetar a produtividade de grãos por alterar a alocação de fotoassimilados para a formação dos grãos.

2.4. Balanço hídrico

O balanço hídrico pode ser considerado como sendo a contabilização das entradas e saídas de água no solo, regido pelo princípio de conservação de massa, em um determinado volume. Assim, sua interpretação fornece informações sobre ganho, perda e armazenamento da água pelo solo.

Fazem parte desse processo os chamados elementos do balanço hídrico, sendo eles a precipitação pluvial ou natural, a irrigação, o orvalho, o escoamento superficial para dentro da área, a drenagem lateral e a ascensão capilar, como entrada de água no sistema (volume de solo considerado), ao passo que as saídas são consideradas como sendo a evapotranspiração, o escoamento superficial para fora da área, a drenagem lateral e a drenagem profunda (OMETTO, 1981).

O orvalho pode contribuir com no máximo 0,5 mm em um dia, especialmente em locais úmidos, sendo uma ordem de magnitude menor que o consumo de vegetação mesófita em crescimento ativo. Por outro lado, algumas regiões e até mesmo em épocas mais secas sua contribuição é desprezível em termos de suprimento de água à cultura. As entradas e saídas do escoamento superficial e drenagem lateral tendem a se compensar, desde que a superfície externa do volume de controle não seja muito grande.

A drenagem profunda é caracterizada pelo excesso de água que penetra no volume de solo explorado pelo efeito das chuvas ou da irrigação. Quanto maior a profundidade do solo, menor a drenagem profunda e maior a contribuição da ascensão capilar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A profundidade efetiva do sistema radicular é determinada pela variação do armazenamento de água no solo que equivale a, aproximadamente, 90% da evapotranspiração potencial da cultura. Dessa forma, a drenagem profunda é considerada como excedente hídrico (OMETTO, 1981). No que se refere à ascensão capilar, sua contribuição na variação do armazenamento pode ser negligenciada por causa dos baixos valores produzidos, principalmente em solos profundos e bem drenados como os Latossolos.

O balanço hídrico climatológico (BHC) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, e pode ser elaborado em qualquer escala de tempo. Normalmente, utiliza-se a escala mensal para o BHC normal. Para o BHC sequencial é mais frequente o uso de escalas menores como a decendial (10 dias) ou quinquídio (5 dias), e até mesmo na escala diária, muito empregada no monitoramento de sistemas de irrigação.

O balanço hídrico climatológico cíclico foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo (capacidade de água disponível - CAD), a medida da precipitação pluvial (chuva), e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite calcular a evapotranspiração real, o *deficit* e o

excedente hídrico, além do total de água retido e repostado no solo em cada período (PEREIRA, 2005).

Ocorre excedente hídrico sempre que a precipitação pluvial for superior a evapotranspiração potencial (saldo positivo). Neste caso, o excedente hídrico é a chuva menos a soma da evapotranspiração real e a variação do armazenamento. Quando o saldo é negativo, ocorre a deficiência hídrica, calculada pela diferença entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real.

No balanço hídrico é essencial a determinação do volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura, assim é imprescindível observar a profundidade efetiva das raízes da planta, ou seja, a profundidade onde se localizam cerca de 90% das raízes ativas. Freddi, Centurion e Almeida (2009) ao determinar a influência da compactação de Latossolos observaram que grande parte do sistema radicular se restringe a camada de 0-20 cm do solo, sendo os maiores valores encontrados entre 05 a 15 cm de profundidade. Já Basso et al. (1994), ao estudarem a distribuição radicular da cultura de milho, constataram que 70% da massa seca de raízes se encontra na camada de 0 a 40 cm de profundidade em Latossolos Roxos.

O balanço hídrico também se apresenta como uma importante ferramenta no manejo de irrigação. Contabilizando a diferença entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação, várias estratégias de manejo podem ser trabalhadas a fim de promover condições sustentáveis de produção. Segundo Pires et al. (2001), o balanço hídrico é considerado uma ferramenta simples e eficiente, que gera informações importantes para o manejo nas propriedades rurais.

2.5. Necessidade e manejo de irrigação

A eficiência dos sistemas produtivos tem tomado cada vez mais importância perante a sociedade e a economia moderna, neste contexto a adoção de práticas de irrigação torna-se uma ferramenta para maximização das produtividades e elevação da renda dos agricultores. No entanto, é importante compreender todos os aspectos relacionados à sua viabilidade, desde o armazenamento da água e ou a disponibilidade local, até o dimensionamento dos sistemas de irrigação.

Além de determinar a necessidade de irrigação de uma determinada cultura em dada região, é de muito importante quantificar e delimitar o momento correto da aplicação da lâmina de irrigação requerida para maximizar a eficiência de uso dos recursos empregados. Segundo Carlesso (2010), um adequado manejo de irrigação é aquele que determina quando e

quanto irrigar, baseado na necessidade de água das culturas, nas características de solo e condições meteorológicas do ambiente de cultivo, visando aperfeiçoar a qualidade e quantidade da produção obtida.

Os programas de irrigação podem ser classificados como irrigação completa e deficitária, com base nas condições das plantas, do solo e do clima (MARTIN; STEGMANN; FERERES, 1990). A irrigação completa poderia atingir um rendimento de milho elevado e estável, mas aumentaria os custos relacionados com equipamentos e mão de obra (GUO et al., 2010; FINGER, 2012). A demanda de água pelas culturas varia muito durante as diferentes fases de desenvolvimento. Para evitar o estresse hídrico durante os estádios críticos da cultura, a irrigação suplementar pode aumentar a produtividade e a eficiência do uso da água quando os recursos hídricos são restritos ou o custo é excessivo (IQBAL et al., 2014). Marouelli et al. (2011) relataram que a irrigação suplementar poderia aumentar a eficiência do uso da água no milho em comparação com a irrigação completa.

Algumas pesquisas demonstram que o manejo da irrigação com base nas respostas das culturas ao estresse hídrico em diferentes estágios de crescimento pode melhorar a eficiência do uso da água e a produtividade de milho (ROSEGRANT; CAI; CLINE, 2002; KONGYAN, 2005). A adoção de tecnologias de monitoramento e aplicação de irrigações deficitárias em períodos críticos das culturas pode reduzir o gasto com água entre 10% e 50%, mantendo incrementos de produtividade (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

Saseendran et al. (2008) modelaram a produção de milho com irrigação limitada no nordeste do Colorado (EUA) e concluíram que as produtividades e a eficiência de uso da água foram maximizadas quando a quantidade de irrigação disponível foi dividida com 20% da lâmina aplicado durante a fase vegetativa e 80% durante a fase reprodutiva.

Em regiões de climas temperados ou subtropicais úmidos, como é o caso do Rio Grande do Sul, o objetivo de um sistema de irrigação está voltado à suplementação de água às culturas durante curtos ou médios períodos de deficiência hídrica. O Rio Grande do Sul apresenta distribuição bastante homogênea das precipitações ao longo das estações do ano. No entanto, em determinados períodos, em especial nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, a demanda evaporativa faz com que a precipitação pluvial seja insuficiente para atender as exigências hídricas das culturas (PETRY, 2004).

A determinação da necessidade de irrigação pode ser feita através de dois sistemas distintos, com a coleta de dados a campo e ou através de estimativas de demanda realizadas através de simulações. Peiter (1998) relata que os estudos, a partir de dados de campo,

apresentam certas dificuldades, pois, de uma forma geral, são exigidas grandes áreas experimentais e diversas combinações de locais e épocas de cultivo, além das repetições anuais, tornando o processo oneroso, assim, este autor destaca como alternativa a utilização da técnica da simulação, uma vez que por meio desta, pode-se testar diferentes estratégias de manejo, locais e épocas de cultivo, com significativa redução de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros.

Andrade Júnior (2000) cita que a técnica da simulação pode ser empregada para a realização de estudos de análise de risco e previsão de fenômenos agroclimáticos e econômicos, onde possíveis valores podem ser obtidos a partir de uma série histórica de dados, obtida para diversas regiões no mesmo período, possibilitando assim a simulação de vários ciclos, épocas de semeadura e até mesmo de estratégias de manejo de irrigação.

A simulação pode ser realizada tanto através de modelos determinísticos quanto através de modelos estocásticos. Quando realizada através de um modelo estocástico, os resultados apontam uma probabilidade de ocorrência, obtendo-se como resultado não apenas um valor, mas uma distribuição de frequência, onde o risco é representado pela variância (FRIZZONE; SILVEIRA, 2000). Ao passo que a abordagem determinística toma por base informações tidas como certas, fornecendo assim um único valor para as medidas de decisão, não incluindo uma estimativa quantitativa do risco (MARCHETTI, 1995).

A técnica da simulação é uma ferramenta altamente eficiente para a realização de estudos de necessidade de irrigação, podendo está ainda ser associada à estimativa da produtividade Real Atingível das culturas, tornando o processo mais realístico e apropriado à tomada de decisões, servindo de base para a tomada de decisões por parte de produtores, e também, para a adoção de políticas públicas que visem melhorar as condições de produção e desenvolvimento do meio rural, mitigando riscos climáticos e promovendo uma maior sustentabilidade nas propriedades rurais.

Segundo Moreira (2010), vários procedimentos podem ser adotados como critérios para se determinar quando e quanto de água deve ser aplicada em uma cultura. A maioria dos critérios se baseia no estado da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera. De acordo com inúmeros pesquisadores, o ideal é monitorar o grau de *deficit* hídrico na própria planta. Muitos indicadores podem ser utilizados para esse fim, tais como a abertura estomática, temperatura de folha, taxa de transpiração, potencial osmótico, potencial de água, dentre outros, entretanto, para esses procedimentos os equipamentos de alto custo, seriam difíceis de ser manuseados por parte dos produtores.

Portanto, o manejo de irrigação é considerado um método criterioso de aplicação dos recursos hídricos disponíveis para se atingir um determinado objetivo, como exemplo, alcançar alta produtividade das culturas com o uso eficiente da água, da energia e de outros fatores de produção. Além disso, outros objetivos, como maximizar a produção vegetal por unidade de custo da mão de obra ou do capital investido, podem ser também estabelecidos (FIGUEIREDO et al., 2008).

As práticas convencionais de irrigação baseiam-se na necessidade de água da cultura e na eficiência de utilização da água, sendo duas as estratégias básicas para estabelecimento de um calendário de irrigação: (i) suprir totalmente a necessidade de água da cultura (irrigação plena), em que o objetivo é aplicar uma lâmina média capaz de suprir o *deficit* hídrico e proporcionar a máxima produção por unidade de área (DOORENBOS; PRUITT, 1984); e (ii) suprir parcialmente a necessidade hídrica da cultura (irrigação com *deficit*), cujo objetivo é aplicar uma lâmina média, inferior àquela para a máxima produtividade, visando maximizar a produção por unidade de volume, aumentando assim, a eficiência de aplicação da água. Esta segunda estratégia pressupõe que a disponibilidade hídrica constitui a limitação da produção agrícola, enquanto que a primeira estratégia pressupõe que o fator limitante é a terra.

Para um adequado manejo de irrigação é importante considerar que nem toda a água que está presente no sistema (ATD) está disponível e ou pode ser facilmente retirada do solo pela cultura, pois uma fração do total de água está retida a maiores potenciais criando assim o conceito de água facilmente disponível (AFD), a qual é resultante do produto do fator de disponibilidade (f) com a ATD ($f \times ATD$) (ALBUQUERQUE, 2010).

A AFD pode ser variável a cada dia, Doorenbos e Kassam (1979b) sugeriram a criação do fator de depleção de água na zona radicular, o chamado fator “p” que é a fração de água que pode ser consumida sem que haja prejuízos ao desenvolvimento e à produção das plantas. O valor do fator de depleção está entre 0 e 1, e depende basicamente do tipo de cultura e das condições climáticas.

Outras estratégias adotam um valor de maneira arbitrária a um percentual referente ao conteúdo de água considerada facilmente disponível as plantas. Em vários trabalhos desenvolvidos é adotado o valor de “p” entre 0,2 a 0,5 como sendo o armazenamento limitante para a decisão de se irrigar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Temperatura, precipitação pluvial e localização geográfica

O presente trabalho foi desenvolvido com base em séries históricas de elementos do clima provenientes das estações meteorológicas localizadas nos seguintes municípios do estado do Rio Grande do Sul: (i) Bagé, (ii) Cruz Alta, (iii) Encruzilhada do Sul (iv) Ibirubá, (v) Iraí, (vi) Júlio de Castilhos, (vii) Passo Fundo, (viii) Santa Maria, (ix) Santa Rosa, e (x) São Luiz Gonzaga (Tabela 1).

Para a simulação dos cultivos e elaboração do balanço hídrico, foram extraídos os dados meteorológicos referentes a temperatura do ar máxima (Tx, °C) e mínima (Tn, °C), e a precipitação pluvial (C, mm.dia⁻¹), ambos na escala diária, do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia e também da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária FEPAGRO, desta última foram obtidos os dados para os municípios de Júlio de Castilhos e Santa Rosa.

Tabela 1 - Latitude (graus), longitude (graus), altitude (m) e ano inicial e final do período de observações dos elementos do clima utilizados e número de anos da série histórica (número ciclos da cultura de milho simulados) referentes aos dez municípios localizados no estado do Rio Grande do Sul

Município	Localização geográfica			Período		
	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Fim	Ciclos
Bagé	-31,33	-54,10	242	1991	2016	25
Cruz Alta	-28,63	-53,60	429	1991	2016	25
Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,51	428	1991	2016	25
Ibirubá	-28,65	-53,11	455	1994	2011	17
Iraí	-27,18	-53,23	262	1991	2014	23
Júlio de Castilhos	-28,20	-53,65	440	1984	2009	25
Passo Fundo	-28,25	-52,40	639	1991	2016	25
Santa Maria	-29,67	-53,80	191	1991	2016	25
Santa Rosa	-27,85	-54,47	308	1984	2009	25
São Luiz Gonzaga	-28,42	-55,01	245	1991	2016	25

3.2. Datas de semeadura

Foram simuladas 10 datas de semeadura: (i) 1 de agosto, (ii) 15 de agosto, (iii) 1 de setembro, (iv) 15 de setembro, (v) 1 de outubro, (vi) 15 de outubro, (vii) 1 de novembro, (viii)

15 de novembro, (ix) 1 de dezembro e (x) 15 de dezembro, com um ciclo da cultura de milho fixo (130 dias: da semeadura à colheita).

3.3. Duração do ciclo

Adotou-se o critério de ciclo fixo na escala diária (Tabela 2) pelo fato de que ao seguir a recomendação técnica para posicionamento dos híbridos, os mais precoces são semeados no início do período considerado (valores mais baixos de temperatura média do ar), os de precocidade média são semeados na sequência e os tardios no final do período considerado (valores mais altos de temperatura média do ar) (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), assim reduzindo a amplitude de duração do ciclo decorrente dos valores de temperatura do ar.

Tabela 2 - Duração (dias) dos subperíodos da cultura de milho. Adaptado de Gadioli et al. (2000) e Storck et al. (2009)

Subperíodo	Início DAS ¹	Fim DAS	Duração dias
Semeadura-Emergência (S-E)	0	7	7
Emergência-Florescimento (E-F)	8	70	63
Florescimento-Grão Leitoso (F-GL)	71	90	20
Grão Leitoso-Maturidade Fisiológica (GL-MF)	91	120	30
Maturidade Fisiológica-Colheita (MF-C)	121	130	10

¹ DAS: dias após a semeadura.

3.4. Profundidade efetiva do sistema radicular

Para a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e , cm) de milho, foi utilizado o modelo proposto por Borg e Grimes (1986):

$$Z_{e_i} = Z_{e_{\max}} \cdot \left[0,50 + 0,50 \sin \left(3,03 \cdot \frac{DAS}{DMF} - 1,47 \right) \right] \quad (1)$$

em que Z_{e_i} se refere à profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e , cm) no i -ésimo dia após a semeadura; $Z_{e_{\max}}$ à profundidade máxima do sistema radicular; DAS ao número de dias após a semeadura; DMF ao número de dias da semeadura até o ponto de maturidade fisiológica da cultura.

Para profundidade máxima do sistema radicular foi considerado o valor de 50 cm (BASSOI et al., 1994), onde o mesmo determinou que cerca de 81,9% da massa do sistema radicular da planta de milho se encontra na profundidade de 0 a 40 cm.

3.5. Capacidade de água disponível

Para realizar o balanço hídrico, determinou-se a capacidade de água disponível (CAD, mm) para os solos em que foram realizados os estudos, e a partir do valor armazenado em relação à CAD, determinou-se o armazenamento relativo de água no solo (A_i/CAD).

Para estimativa do armazenamento de água no solo, tornou-se necessária a classificação do solo por meio do cruzamento do mapa de solos desenvolvido por Streck et al. (2008), com a localização geográfica dos experimentos. Assim com a determinação da classe de solo para cada local (Tabela 3), buscou-se trabalhos que apresentassem os teores de areia, silte e argila para o tipo de solo correspondente.

A partir dos teores médios de areia (T_A , kg.kg⁻¹), silte (T_S , kg.kg⁻¹) e argila (T_G , kg.kg⁻¹) para cada localidade, determinou-se a capacidade de água disponível (CAD, mm) por unidade de profundidade efetiva (Z_e , cm) do sistema radicular (CAD/Z_e , mm.cm⁻¹), ou água disponível específica (A_e , mm.cm⁻¹), por meio de funções de pedotransferência.

Reichert et al. (2009) desenvolveram funções de pedotransferência para a estimativa da água disponível específica (A_e , mm.cm⁻¹) para solos do estado do Rio Grande do Sul, utilizando um conjunto de 725 observações e determinando o teor de água na *capacidade de campo* à tensão de 10 kPa (θ_{cc} , m³.m⁻³) e no *ponto de murcha permanente* à tensão de 1.500 kPa (θ_{pmp} , m³.m⁻³), bem como a água disponível específica (A_e , mm.cm⁻¹) para as diferentes localidades.

$$\theta_{cc} = 0,037 + 0,38.(T_G + T_S) \quad (2)$$

$$\theta_{pmp} = 0,236 + 0,045.T_G - 0,21.T_A \quad (3)$$

$$A_e = 10.(\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (4)$$

$$CAD = A_e.Z_e \quad (5)$$

em que θ_{cc} se refere à *capacidade de campo* (m³.m⁻³), θ_{pmp} ao *ponto de murcha permanente* (m³.m⁻³), e A_e à capacidade água disponível específica (mm.cm⁻¹); e T_G , T_S e T_A aos teores (kg.kg⁻¹) de argila, silte e areia, respectivamente.

A A_e (mm.cm⁻¹) foi obtida em termos volumétricos, ou seja, volume de água por unidade de área (L.m⁻²) por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular (mm.cm⁻¹).

Com isso, realizou-se um ajuste em função da profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e , cm) de milho. Por exemplo, para um solo com A_e de 1 mm.cm^{-1} corresponde à CAD de 100 mm (para Z_e de 100 cm de profundidade).

Tabela 3 - Classes de solo, teores de argila (T_G , kg.kg^{-1}), silte (T_S , kg.kg^{-1}) e areia (T_A , kg.kg^{-1}) correspondentes aos dez municípios localizados no estado do Rio Grande do Sul

Município	Classe de solo predominante	T_G	T_S	T_A	Autores
Bagé	Argissolo Vermelho-Amarelo	0,07	0,2	0,73	Oliveira (2015)
Cruz Alta	Latossolo Vermelho	0,58	0,23	0,19	Marcolin (2009)
Encruzilhada do Sul	Argissolo Vermelho-Amarelo	0,25	0,20	0,55	Cunha et al. (2005)
Ibirubá	Latossolo Vermelho	0,61	0,21	0,18	Marcolin (2009)
Iraí	Cambissolo Háplico	0,19	0,30	0,51	Cunha et al. (2010)
Júlio de Castilhos	Argissolo Vermelho	0,33	0,20	0,47	Zalamena et al. (2007)
Passo Fundo	Latossolo Vermelho	0,45	0,21	0,34	Marcolin (2009)
Santa Maria	Podzólico Vermelho	0,14	0,20	0,66	Marcolin (2009)
Santa Rosa	Latossolo Roxo	0,65	0,30	0,05	Nicoloso et al. (2008)
São Luiz Gonzaga	Latossolo Vermelho	0,58	0,37	0,05	Nunes e Cassol (2008)

3.6. Balanço hídrico

O balanço hídrico foi simulado ao longo de todo o ano na escala diária. Nos períodos sem cultura, utilizou-se valor de K_c igual a 1 e a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,5 m. Os componentes do balanço hídrico (armazenamento, variação do armazenamento, evapotranspiração real, *deficit* e excedente hídrico) foram calculados conforme o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955).

Para as condições da cultura de milho, foram utilizados, na escala diária, valores de coeficiente de cultura (K_c) e de profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e) variáveis.

3.6.1. Evapotranspiração potencial

3.6.1.1. Evapotranspiração potencial de referência

A evapotranspiração potencial de referência (E_{To} , mm.dia^{-1}) foi estimada, na escala diária, utilizando o modelo de Hargreaves e Samani (1985) devido a disponibilidade de dados e desempenho do modelo para a região Sul (PILAU, 2012). O modelo apresenta um coeficiente de correlação de 0,75 e 0,77 quando comparado com o método de estimativa de

Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), bem como um índice de exatidão de 0,85 e 0,87, respectivamente, para os municípios de Frederico Westphalen (RS) e Palmeira das Missões (RS) (localidades próximas à região de estudo).

$$ET_{oi} = 0,0023 Q_{oi} (T_{xi} - T_{ni})^{0.5} (T_i + 17,8) \quad (6)$$

em que, na escala diária, ET_o se refere à evapotranspiração potencial de referência (mm.dia^{-1}), Q_o à radiação extraterrestre (mm.dia^{-1}), T_x à temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), T_n à temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) e T à temperatura média ($^{\circ}\text{C}$).

A radiação extraterrestre e a temperatura média do ar foram estimadas a partir das seguintes equações:

$$Q_{oi} = 37,6 \cdot [(d/D)_i]^2 \cdot [\sin(\Phi) \cdot \sin(\delta_i) \cdot H_i \cdot (\pi/180) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(H_i)] \quad (7)$$

$$\delta_i = 23,45 \cdot \sin[(360/365) \cdot (J_i - 80)] \quad (8)$$

$$H_i = \arccos[-\tan(\Phi) \cdot \tan(\delta_i)] \quad (9)$$

$$[(d/D)_i]^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos[(360/365) \cdot J_i] \quad (10)$$

$$T_i = (T_{xi} + T_{ni})/2 \quad (11)$$

em que d/D se refere à distância relativa Terra e Sol, Φ à latitude local, δ à declinação solar, H é o ângulo horário do nascer do sol, J ao dia juliano, compreendido entre 1 e 366, T_x à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima diária e T_n à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) mínima diária.

3.6.1.2. Evapotranspiração potencial da cultura

Para estimação da evapotranspiração da cultura (ET_c , mm.dia^{-1}) foi utilizada a seguinte equação:

$$ET_{ci} = ET_{oi} \cdot K_{ci} \quad (12)$$

em que ET_o se refere à evapotranspiração potencial de referência (mm.dia^{-1}) e K_c ao coeficiente de cultura.

O valor de K_c foi elaborado a partir de um modelo polinomial de segunda ordem a partir dos dados apresentados por Doorenbos e Kassam (1994), tendo como variável dependente o número do dia do ciclo NDC (Figura 1).

Figura 1 - Modelo usado para estimar o coeficiente da cultura de milho (K_c) ao longo do ciclo. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994)

3.6.2. Saldo

O cálculo do saldo (S , mm.dia^{-1}) é dado pela diferença entre precipitação pluvial (P , mm.dia^{-1}) e evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , mm.dia^{-1}):

$$S_i = P_i - ET_{ci} \quad (13)$$

3.6.3. Negativo acumulado e armazenamento

O cálculo do negativo acumulado (N , mm.dia^{-1}) e do armazenamento (A , mm.dia^{-1}) simultaneamente é assim efetuado:

Se $S_i < 0$, calcula-se:

$$N_i = N_{i-1} - S_i \quad (14)$$

$$A_i = CAD \cdot \exp(-N_i / CAD) \quad (15)$$

Se $S_i \geq 0$, calcula-se:

$$A_i = A_{i-1} + S_i; \text{ (se } A_i > CAD \text{ então } A_i = CAD) \quad (16)$$

$$N_i = CAD \cdot \ln(A_i / CAD) \quad (17)$$

3.6.4. Alteração do armazenamento

O cálculo da alteração do armazenamento (ΔA_i , mm.dia^{-1}) é assim efetuado:

$$\Delta A_i = A_i - A_{i-1} \quad (18)$$

3.6.5. Evapotranspiração real

Para o cálculo da evapotranspiração real (E_{Tr} , mm.dia⁻¹), tem-se que:

Se $S_i \geq 0$:

$$E_{Tr_i} = E_{Tc_i} \quad (19)$$

ou se $S_i < 0$:

$$E_{Tr_i} = P_i - \Delta A_i \quad (20)$$

3.6.6. Deficiência hídrica

Para o cálculo da deficiência hídrica (DEF , mm.dia⁻¹), tem-se que:

$$DEF_i = E_{Tc_i} - E_{Tr_i} \quad (21)$$

3.6.7. Excedente hídrico

Para o cálculo do excedente hídrico (EXC , mm.dia⁻¹), tem-se que:

Se $S_i < 0$:

$$EXC_i = 0 \quad (22)$$

ou se $S_i \geq 0$:

$$EXC_i = P_i - E_{Tr_i} - \Delta A_i \quad (23)$$

3.7. Índice de satisfação da necessidade de água

Foram estimados os valores do índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), definidos como a relação existente entre a evapotranspiração real acumulada no período ($E_{Tr_{ac}}$, mm.período⁻¹) e a evapotranspiração potencial da cultura acumulada ($E_{Tc_{ac}}$, mm.período⁻¹) para o ciclo completo e também para o período compreendido entre o início da floração e o início da maturação fisiológica da cultura de milho, os quais foram classificados em níveis de risco hídrico, sendo estabelecidas três classes (Tabela 4).

$$ISNA = E_{Tr_{ac}} / E_{Tc_{ac}} \quad (24)$$

Tabela 4 - Índices de satisfação das necessidades de água correspondentes às classes de risco de atendimento da demanda hídrica da cultura de milho durante o ciclo completo ou para o período compreendido entre o início da floração e o início da maturação fisiológica. Adaptado de Brunini (2001)

Condição de atendimento à demanda hídrica da cultura de milho	Classe de risco correspondente ao cultivo de milho
$ISNA \leq 0,45$	Desfavorável ao cultivo de milho
$0,45 < ISNA \leq 0,55$	Intermediária ao cultivo de milho
$ISNA > 0,55$	Favorável ao cultivo de milho

A espacialização dos resultados foi realizada empregando-se o método de krigagem o qual é caracterizado como método geoestatístico, que se baseia na Teoria das Variáveis Regionalizadas, ou seja, que supõe que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma certa região ou área de trabalho (RIGHI e BASSO, 2016).

3.8. Penalização da produtividade

A estimativa da produtividade atingível (PA, kg.ha^{-1}) é dada pela penalização da produtividade potencial (PP, kg.ha^{-1}) em decorrência do *deficit* hídrico que ocorre em cada fase de desenvolvimento da cultura. Ao passo que a PP é obtida em função das características da cultura e de variáveis do ambiente, tais como radiação solar, temperatura e fotoperíodo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Assim, os valores de produtividade potencial (PP, kg.ha^{-1}) da cultura de milho foram extraídos do trabalho realizado por Bonecarrère (2007), o qual realizou a estimativa da PP através da simulação estocástica com uso do modelo de Zona Agroecológica para os municípios do Rio Grande do Sul em oito épocas de semeadura, sendo que entre os resultados foi observado um desvio padrão inferior a 1% em relação à média, por tanto adotou-se o valor médio para cada localidade.

No trabalho desenvolvido por Bonecarrère (2007), estão presentes oito dos dez municípios trabalhados neste estudo. Para os dois municípios que não foram englobados no trabalho de Bonecarrère (2007), adotou-se o valor de PP do município mais próximo e com características similares. Assim, para o município de Bagé, foram adotados os valores de São Gabriel e para Ibirubá, os valores de PP do município de Cruz Alta. Os valores utilizados foram 14.127, 14.045, 13.695, 14.045, 13.560, 13.965, 14.035, 13.735, 13.747 e 13.555 kg.ha^{-1} para Bagé, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Ibirubá, Iraí, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga, respectivamente.

Para a estimativa da produtividade atingível (PA), procedeu-se a penalização da PP pelo *deficit* hídrico, assim, o cálculo foi realizado de tal maneira que no primeiro subperíodo de desenvolvimento da cultura, caracterizado como vegetativo o valor de PP correspondeu ao acima apresentado para sua respectivo município, já, para a fase seguinte, esse valor correspondeu à PA obtida ao final da fase anterior, da mesma forma para as fases subsequentes, até o último subperíodo determinado como maturação. Os cálculos foram realizados através da equação:

$$PA = PP[1 - K_y \cdot (1 - E_{Trac}/ET_{cac})] \quad (25)$$

em que K_y é o coeficiente de sensibilidade ao *deficit* hídrico para cada fase de desenvolvimento. Os valores de K_y adotados foram, semeadura - emergência 0, emergência - florescimento 0,4 florescimento - grão leitoso 1,5, grão leitoso - maturidade fisiológica 0,5 e maturidade fisiológica - colheita 0,2 (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

3.9. Simulação de irrigação

O manejo da irrigação consistiu em determinar quando (momento) e quanto (quantidade de água) aplicar na cultura via irrigação, já a forma (como) de aplicada é inerente ao equipamento e ou sistema disponível na área de cultivo. Com base nestas afirmações foram planejadas e simuladas três estratégias de manejo a fim de atender a situações hipotéticas de baixa (Manejo A e C) e alta disponibilidade (manejo B) de água armazenada para a irrigação.

Para ambas as estratégias de irrigação adotou-se a lâmina de irrigação de 10 mm.dia⁻¹, valor comum e frequente em sistemas de pivô central para a região avaliada, com turno de trabalho de 21 horas diárias.

Assim, para atender o objetivo de uso racional da água, a estratégia de (i) manejo A teve como critérios de decisão (quando aplicar) a manutenção da água facilmente disponível a partir do fator de depleção de água do solo (p) proposto por Doorenbos e Kassam (1979), o qual é determinado a partir da equação:

$$p = p^* + 0,04 \cdot (5 - ET_c) \quad (26)$$

em que p se refere ao fator de depleção de água na zona radicular da cultura, p^* ao fator de depleção tabelado para diferentes culturas (para as condições deste estudo, foi adotado p^* igual a 0,55) e ET_c à evapotranspiração da cultura no dia da avaliação (mm.dia⁻¹).

Deste modo, no manejo A, sempre que o armazenamento de água no solo (A_i) fosse inferior ao armazenamento crítico $[(1-p).CAD]$ e a precipitação pluvial dos próximos três dias fosse inferior a diferença entre o Armazenamento crítico $[(1-p).CAD]$ e o armazenamento atual (A_i), eram adicionados 10 mm ao balanço hídrico, simulando uma irrigação, caso contrário no próximo dia uma nova.

Para o manejo B, o critério de decisão foi baseado em um valor de p fixo, igual a 0,2. Assim, sempre que o armazenamento de água no solo fosse inferior ao armazenamento crítico $[(1-p).CAD]$, foram adicionados 10 mm ao balanço hídrico, simulando uma irrigação. Esta regra estendeu-se ao longo de todo o ciclo da cultura de milho.

Por fim, para a estratégia referente ao manejo C, a decisão para irrigar também foi baseada em um valor de p fixo igual a 0,2. No entanto, as irrigações foram simuladas apenas para suplementar o *deficit* no período compreendido entre o início da floração e o final da maturação fisiológica. Dessa forma, neste período de maior demanda, sempre que o armazenamento de água no solo fosse inferior ao armazenamento crítico, foram adicionados 10 mm ao balanço hídrico, simulando uma irrigação.

A lâmina de irrigação (Li , mm.ha⁻¹) foi considerada como sendo o somatório das irrigações simuladas ao longo do ciclo. O balanço hídrico foi recalculado para cada local nas diferentes épocas, obtendo-se assim os novos valores de ETr , os quais foram empregados na determinação da produtividade sob condição irrigada (Pi , kg.ha⁻¹).

3.10. Ganho de produtividade

Os ganhos de produtividade, por lâmina de irrigação (GP , kg.mm⁻¹), foram simulados a partir da diferença entre a produtividade sob condição irrigada e a de penalizada pelo *deficit* hídrico (Sequeiro), em relação aos valores de lâmina de irrigação simulados pela equação:

$$GP = (Pi - PA) / Li \quad (27)$$

em que GP é o ganho de produtividade (GP , kg.mm⁻¹), Pi é a produtividade sob condição irrigada para cada estratégia de manejo (Pi , kg.ha⁻¹), PA é a produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico ou a produtividade atingível (PA , kg.ha⁻¹), Li é a lâmina de irrigação estimada para a respectiva estratégia de manejo de irrigação (Li , mm.ha⁻¹).

3.11. Análise estatística

Os resultados referentes às estratégias de manejo de irrigação foram submetidos à análise da variância através do Software “Statistical Analysis System” (SAS, 2003). Os parâmetros que demonstraram diferenças estatísticas significativas à nível de 5% de probabilidade de erro, foram comparados através de análise de regressão para épocas de semeadura e teste de Tukey para as estratégias e entre os locais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições meteorológicas

4.1.1. Temperatura do ar

A variação da temperatura do ar, aqui caracterizada como a média diária ao longo do período de observação especificado na Tabela 1, e apresentados na Figura 2 traz valores máxima, mínima e média. Também são discutidos os valores extremos ocorridos para cada localidade ao longo dos anos de observação. Assim, para melhor discussão e apresentação dos resultados, os municípios foram agrupados em regiões que apresentam características climáticas e geográficas similares.

Nas regiões fisiográficas classificadas como Campanha, Depressão Central e Serra do Sudeste localizada no centro em direção ao sudeste do estado, estão compreendidos os municípios de Bagé, Encruzilhada do Sul e Santa Maria. A temperatura mínima e máxima, média dos anos avaliados para esta região manteve-se em 5,9°C e 32,37°C na média dos anos de observação (Figura 2). Os valores extremos mínimos foram de -3,9°C, -0,2°C e -2,0°C ocorridos entre os meses de junho a agosto, ao passo que as temperaturas máximas extremas foram 39,9°C, 37,9°C e 40,2°C ambos observados no mês de dezembro, respectivamente para as regiões anteriormente citadas.

Um dos fatores de maior relevância na produção de milho é a temperatura do ar, neste sentido a região da Depressão Central apresentou temperatura média de 20,4°C, e uma amplitude térmica diária média de 10,2°C, característico para a região que apresenta menor altitude, como Bagé e Santa Maria.

No Noroeste, região fisiográfica das Missões e parte do Planalto Médio, a qual se estende da encosta do rio Uruguai ao Planalto das Missões, estão compreendidos os municípios de Júlio de Castilhos, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga. Nesses locais, a temperatura média mínima e máxima foi de 7,25°C e 34,06°C, ao longo dos 25 anos de observação. Os valores extremos observados foram de -2,3°C, -1,6°C e -1,8°C (nos meses de junho e agosto). A temperatura máxima para as referidas localidades foi de 34,30°C, 39,4°C e 40,02°C registradas entre dezembro e fevereiro.

Nesta região, as temperaturas médias são mais elevadas. A temperatura média para os períodos de simulação foi de 21,6°C, e a amplitude térmica média diária de 11,9°C. Em função dos maiores valores de temperatura, nesses locais a semeadura é antecipada,

principalmente na encosta com o Rio Uruguai, onde as condições atmosféricas de umidade do ar, com frequente formação de nevoeiro reduzem a possibilidade de formação de geadas.

Os municípios localizados no Noroeste do estado (Cruz Alta, Ibirubá, Iraí e Passo Fundo), nas regiões fisiográficas do Planalto Médio e do Alto Uruguai, são responsáveis pela maior área de cultivo de milho no estado. Nessas regiões, os valores médios de temperatura mínima, média e máxima foram de 6,51°C, 20,8°C e 31,44°C ao longo dos 25 anos de registros (amplitude térmica de 11,62°C). Nos municípios de Cruz Alta, Ibirubá, Iraí e Passo Fundo, respectivamente, os valores extremos de temperatura mínima foram -3,9°C, -3,5°C, -2,0°C e -2,0°C (ocorridos nos meses de junho a agosto), os quais contrastam com as temperaturas máximas de 39,9°C, 35,9°C, 38,5°C e 39,2°C (ocorridos nos meses de novembro a março).

Para todas as localidades analisadas o mês de janeiro apresentou os maiores valores de temperatura do ar. Os valores máximos (29,63 a 32,91°C) e mínimos (18,34°C a 20,53°C), médio são bastante favoráveis ao crescimento e desenvolvimento, elevando a evapotranspiração. Ao longo do ciclo é importante que a temperatura se mantenha acima de 10°C e abaixo de 32°C, quando submetida a temperaturas inferiores a 10°C ocorre acentuada redução nos processos metabólicos, ao passo que em temperaturas acima dos 32°C favorecem a fotorrespiração levando a planta a condições de estresse, podendo ainda inviabilizar os estímulos (CRUZ, 2010).

As sementes mais precoces, realizadas no mês de agosto e setembro, tem maior risco de perda por geada. Nas séries meteorológicas analisadas foram observados valores inferiores a 4°C, condição que pode prejudicar ou até mesmo acometer as plantações (SENTELHAS; ORTOLANI; PEZZOPANE, 1995). É importante salientar que no Rio Grande do Sul a formação de geadas tardias pode ocorrer até mesmo no mês de setembro. Assim, a tomada de decisão para escolha da melhor época de cultivo é baseada também nas condições de temperatura do ar e do solo nos diferentes anos.

A antecipação da sementeira para períodos mais frios requer cuidados para com o processo de germinação, o qual é desfavorecido em condições de temperatura do solo abaixo de 15°C. Quando associado com a alta umidade pode ocorrer o aumento da taxa de plântulas anormais, afetando também o processo de embebição ou reidratação das sementes, reduzindo assim a germinação e a emergência, resultado da desestruturação de membranas e alterações na síntese e na ação de enzimas (FANCELLI, 2013).

Para sementes em períodos mais frios, a exemplo do mês de agosto, Fancelli (2013), recomenda a adoção de medidas que favoreçam a germinação e emergência das plântulas, tais

como o tratamento de sementes com fungicidas, redução da profundidade de semeadura, utilização de sementes íntegras e vigorosas, e o uso de estruturas acopladas as semeadoras que possibilitem a retirada da palha de cima do sulco de semeadura, favorecendo o aquecimento do solo. Todas estas práticas favorecem a germinação e emergência das plântulas, garantindo um adequado estande de planta.

Já a ocorrência de altas temperaturas, no fotoperíodo, acentua a transpiração vegetal, ao passo que noites quentes promovem o aumento da respiração das plantas, aumentando o consumo de fotoassimilados, gastos com respiração, penalizando o crescimento (SOUZA e BARBOSA, 2015).

Conforme Sangoi et al. (2001), a antecipação da semeadura para períodos mais frios provoca adaptações das plantas, tais como a redução da área foliar. No entanto, este fator é compensado pelo maior aproveitamento dos fotoassimilados em decorrência das melhores condições de temperatura noturna, reduzindo a respiração de manutenção da planta.

Figura 2 - Valores médios diários de temperatura do ar máxima (Tx, °C), mínima (Tn, °C) e média (T, °C), para cada dia juliano j, observados para (A) Bagé, (B) Cruz Alta, (C) Encruzilhada do Sul, (D) Ibirubá, (E) Iraí, (F) Júlio de Castilhos, (G) Passo Fundo, (H) Santa Maria, (I) Santa Rosa e (J) São Luiz Gonzaga, estado do Rio Grande do Sul, para seus respectivos períodos de observação

4.1.2. Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (ET_o)

A normal climatológica de 1961-1990 para o estado do Rio Grande do Sul é marcada por chuvas entre 1200 a 2000 mm por ano, sendo que a distribuição se dá de maneira bastante uniforme (BRASIL, 1992). Os menores volumes acumulados são observados ao Sul, e seguem crescentes para o norte.

Por estar situado em uma zona climática de transição, dois sistemas atuam sobre Rio grande os sistemas atmosféricos extratropicais (massas e frentes polares) e o sistema atmosférico intertropical (massas tropicais e correntes perturbadas) (SARTORI, 2003). O primeiro atua em todo o estado através da entrada das frentes frias, já o segundo intensifica sua ação acima da latitude 30°S, e por ser um sistema menos organizado e que atua por menos tempo sobre as condições meteorológicas provoca chuvas esparsas (pancadas), por este motivo a precipitação pluvial sobre a região norte é maior.

O Rio Grande do Sul faz parte da chamada Região Sudeste da América do Sul, englobando o sul do Brasil, nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Paraguai, a qual recebe forte influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), especialmente em relação à precipitação pluvial (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005). Este fato explica grande parte da variabilidade interanual das precipitações e também das quebras de produtividade no estado.

O El Niño pode dificultar o avanço das massas polares ao intensificar os sistemas das altas pressões subtropicais, o que provoca o estacionamento das frentes polares, intensificando anomalias positivas na precipitação pluvial. Já o La Niña caracterizado pelo resfriamento das águas superficiais do oceano pacífico equatorial, provoca o aumento da velocidade dos ventos, acelerando a passagens das frentes pelo estado, resultando em anomalias negativas na precipitação pluvial.

Os valores de precipitação pluvial registrados nas séries meteorológicas analisadas apresentaram uma distribuição bastante uniforme ao longo dos anos analisados (Figura 3), na maioria dos anos muito similar a climatologia. Valores máximos de precipitação pluvial foram observados no mês de outubro, período no qual a maior parte das áreas de milho já foi semeada no estado do Rio Grande do Sul.

Para Bagé, na região da Campanha, observou-se uma precipitação pluvial média acumulada de 1.608,36 mm.ano⁻¹, com mensais entre 158 mm e 101,38 mm. Já a evapotranspiração de referência acumulada foi de 1.288,52 mm. A média de ET_o foi de 3,52 mm.dia⁻¹.

Na região da Campanha as chuvas durante o ciclo da cultura de milho mantiveram-se, na média das 10 épocas de semeadura e dos 25 anos de observação, em 572,1 mm, com um desvio padrão de 210,9 mm, caracterizando a alta variação das condições de atendimento hídrico a cultura de milho. Aproximadamente 60% dos anos apresentam volumes acumulados abaixo da média. A condição pluviométrica desfavorável, acrescida da baixa capacidade de retenção do solo, ressalta a importância de um bom planejamento e a adoção de práticas que possam minimizar essa oscilação, e elevar a disponibilidade hídrica.

Na Depressão Central, em Santa Maria, foi observado um valor de precipitação pluvial média acumulada de 1.775,36 mm.ano⁻¹ para os 25 anos de observação. Valores médios mensais acumulados ficaram entre os 120,40 mm e os 194,05 mm. A evapotranspiração acumulada no ano foi de 1.378,86 mm, com média diária de 3,77 mm.dia⁻¹. Nesta mesma região as precipitações médias durante o período de simulação do cultivo de milho foram de 647,4 mm, com um desvio padrão de 194,9 mm, apresentando também alta variação entre os anos. Destaca-se que em 64% dos anos o acumulado de chuva ficou abaixo do valor médio.

Em Encruzilhada do Sul, localizada na Serra do Sudeste, a precipitação média acumulada foi de 1.718,83 mm.ano⁻¹, com uma variação mensal de 98,16 mm a 168,18 mm. Já a demanda atmosférica, caracterizada pela evapotranspiração, apresentou valores médios de 3,48 mm.dia⁻¹, com acumulado de 1.273,94 mm ano⁻¹.

Para o período de simulação do cultivo de milho o valor acumulado foi de 608,6 mm, e desvio padrão de 182,0 mm, onde também a maior parte dos anos, 60% apresentaram acumulados abaixo da média para a região.

Na Região fisiográfica do Planalto Médio, onde estão compreendidos os municípios de Cruz Alta, Ibirubá, Passo Fundo, os valores de precipitação mensal variaram de 252 mm a 108 mm, com acumulados de 1.962, 1.857 e 2.008 mm.ano⁻¹, respectivamente. A ETo média acumulada foi de 1.397, 1.443 e 1.329 mm, respectivamente, com média diária de 3,8 mm.dia⁻¹.

A região se caracteriza por altos valores de precipitação anual, refletindo maior volume de chuva no período de desenvolvimento do milho. Na média, para todas as épocas de semeadura, os valores foram de 722, 694 e 745 mm.ciclo⁻¹, com desvio padrão médio de 219 mm. O município de Passo Fundo destaca-se pelo percentual de anos com precipitação acima da média, 55%.

No ano de 2011 as precipitações foram severamente reduzidas em decorrência de um evento Lã Niña de alta intensidade. Na ocasião o acumulado médio para o período de simulações foi de 390 mm entre Cruz Alta e Passo Fundo. Já em 1997, ano de ocorrência de

um forte evento El Niño, o acumulado de chuva ao longo do período de simulação chegou a $1.236 \text{ mm.ciclo}^{-1}$, ou seja, uma média diária de aproximadamente $9,5 \text{ mm}$.

Para Iraí, no Alto Uruguai, a precipitação média acumulada foi de $2.002,18 \text{ mm.ano}^{-1}$. O mês mais chuvoso foi outubro, com $243,30 \text{ mm}$, e o mais seco foi agosto, com média de $118,73 \text{ mm}$. A evapotranspiração acumulada foi de $1.552,75 \text{ mm.ano}^{-1}$, com média diária de $3,94 \text{ mm.dia}^{-1}$. O mês de maior ETo foi janeiro, com uma média de $5,96 \text{ mm.dia}^{-1}$, e o de menor foi junho, com $2,14 \text{ mm.dia}^{-1}$.

Os municípios de Júlio de Castilhos, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga, localizados na região das Missões e do Planalto Médio apresentaram um acumulado de 1.716 mm na média do período de 25 anos de observação, com acumulado mensal variando entre 198 mm e 71 mm . A evapotranspiração acumulada anual foi de $1.317,77 \text{ mm}$, 1.332 mm e 1.497 mm , respectivamente.

O acumulado ao longo do ciclo simulado para a cultura de milho na referida região foi de 642 mm , com desvio padrão de 148 mm . Apesar de a região apresentar precipitação pluvial inferior ao Planalto Médio, foi observada maior estabilidade entre os anos.

Por fim, os municípios Passo Fundo e Iraí apresentaram os maiores volumes de precipitação anual, superando os 2.000 mm . Coube a Santa Rosa o menor valor acumulado de chuva. Para todas as localidades, os maiores volumes precipitados foram registrados no início da primavera. Além disso, o mês de dezembro apresentou, na maioria dos locais, a maior ETo, ressaltando a elevada demanda hídrica das culturas para este período.

Figura 3 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da precipitação pluvial (P, mm.mês⁻¹), em barras, e evapotranspiração potencial de referência (ETo, mm.dia⁻¹), em linha, média para cada mês do ano, em (A) Bagé, (B) Cruz Alta, (C) Encruzilhada do Sul, (D) Ibirubá, (E) Iraí, (F) Júlio de Castilhos, (G) Passo Fundo, (H) Santa Maria, (I) Santa Rosa e (J) São Luiz Gonzaga, Rio Grande do Sul, para seus respectivos períodos de observação

4.2. Balanço hídrico

4.2.1. Evapotranspiração potencial e real da cultura de milho

A evapotranspiração potencial da cultura e a real apresentaram padrões de variação similares ao longo do período de crescimento da cultura (Figuras 4 a 13). Podem-se observar os valores crescentes, conforme o ciclo de desenvolvimento, com os maiores valores de evapotranspiração coincidindo ao período de floração.

Para a semeadura no mês de agosto (Figuras 4 e 5), considerado como o mês mais frio dentre as épocas de cultivo (Figura 2), os valores de ETc médios acumulados variaram entre 435 a 580 mm.ciclo⁻¹, com uma média de 495 mm.ciclo⁻¹. A ETr apresentou valores acumulados de 225 a 364 mm.ciclo⁻¹, para Bagé e São Luiz Gonzaga, respectivamente.

Para semeaduras realizadas em agosto a ETr média para todas as localidades foi de 300 a 311 mm.ciclo⁻¹, ou seja, de 0,37 e 3,82 mm.dia⁻¹. Para o referido mês, os maiores valores de ETc e ETr foram observados próximo aos 100 dias após a semeadura, fase final do processo de enchimento de grãos.

Para semeaduras de setembro a ETc acumulada variou entre 529 (Encruzilhada do Sul) e 652 mm.ciclo⁻¹ (Iraí) (Figuras 6 e 7). A ETc média para todos os locais foi de 587 mm.ciclo⁻¹. A ETr apresentou valores acumulados entre 238 e 381 mm.ciclo⁻¹, e a média para todos os municípios foi de 321 mm.ciclo⁻¹. Valores mínimo e máximo médio diário ficaram em 0,44 e 3,91 mm.dia⁻¹.

De acordo com simulações de semeadura, o mês de outubro apresentou os maiores valores de ETc (Figuras 8 e 9), variando entre os 580 e 687 mm.ciclo⁻¹. A máxima demanda ocorreu em São Luiz Gonzaga, local caracterizado também como o de maior temperatura do ar (Figura 2). A ETC média de todos os locais foi de 622 mm.ciclo⁻¹. Valor diários de ETC ficaram entre 1,10 e 6,80 mm.dia⁻¹.

Os valores de ETc registrados para os meses de setembro e outubro estão de acordo com os medidos por Matzenauer, Bergamaschi e Berlato (1998), os quais encontraram valores de 570 e 572 mm, respectivamente, para a cultura de milho no Rio Grande do Sul.

Köpp et al. (2015) estimaram a evapotranspiração potencial da Cultura em Bagé, Santa Maria e Uruguaiana no RS, com semeaduras de setembro a dezembro, e também observaram um valor médio de 654 mm ao longo do ciclo de milho, sendo outubro o mês de maior ETc, tal como observado nas Figuras 8 e 9.

Ainda para o mês de outubro, a ETr variou de 250 (Bagé) a 380 mm.ciclo⁻¹ (São Luiz Gonzaga). A média para todas locais foi de 335 mm.ciclo⁻¹.

Para a sétima e oitava época de semeadura, simuladas no mês de novembro (Figura 10 e 11), os valores de ETc médios acumulados ficaram entre os 566 e 681 mm.ciclo⁻¹. As ETr acumuladas no ciclo mantiveram-se entre 251 e 370 mm.ciclo⁻¹, assim o consumo hídrico médio para o período foi de 333 mm.ciclo⁻¹.

Em muitas regiões do Rio Grande do Sul é comum semear o milho no mês de dezembro (Figuras 12 e 13), principalmente em pós-colheita do milho para silagem de planta inteira, ou mesmo feijão e fumo. Para as semeaduras realizadas nesse mês foram observados valores de ETc entre 508 e 631 mm.ciclo⁻¹, com valor médio de 557 mm.ciclo⁻¹. A ETr ficou entre os 242 e 347 mm.ciclo⁻¹, com média de 305 mm.ciclo⁻¹.

Os maiores valores diários de ETc mantiveram-se entre 5,62 e 6,82 mm.dia⁻¹, valores similares a estes são propostos por Fancelli (2015), o qual destaca que durante o período compreendido entre o florescimento e os grãos farináceos, o consumo pode se elevar entre 5,0 e 7,5 mm diários.

Figura 4 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc, mm.dia⁻¹) e evapotranspiração real (ETr, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à primeira época de semeadura: 1 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 5 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração real (ETr , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à segunda época de semeadura: 15 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 6 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração real (ETr , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à terceira época de semeadura: 1 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 7 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc, mm.dia⁻¹) e evapotranspiração real (ETr, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quarta época de semeadura: 15 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 8 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração real (ETr , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quinta época de semeadura: 1 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 9 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração real (ETr , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sexta época de semeadura: 15 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 10 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração real (ETr , $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sétima época de semeadura: 1 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 11 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc, mm.dia⁻¹) e evapotranspiração real (ETr, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à oitava época de semeadura: 15 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 12 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc, mm.dia⁻¹) e evapotranspiração real (ETr, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à nona época de semeadura: 1 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 13 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) da evapotranspiração potencial (ETc, mm.dia⁻¹) e evapotranspiração real (ETr, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à décima época de semeadura: 15 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

4.2.2. *Deficit hídrico*

O balanço hídrico revela que o *deficit* tende a se intensificar a partir dos 50 dias após a semeadura, período muito próximo do início da fase reprodutiva (Figuras 14 a 23). A medida em que as datas de semeadura vão avançando o pico de *deficit* vai se aproximando do número de dias marcados pela floração, assim a antecipação da semeadura associa o *deficit* com períodos de menor demanda.

O *deficit* hídrico observado para as semeaduras no mês de agosto (Figuras 14 e 15) manteve-se entre 142 a 254 mm.ciclo⁻¹, em média 188 mm.ciclo⁻¹, e média diária de 1,45 mm.dia⁻¹, este *deficit* médio correspondeu a 38,5% do total ETc.

Para as semeaduras simuladas no mês de setembro, foi observado um *deficit* diário de 1,95 mm.dia⁻¹ (Figuras 16 e 17), na média de todos os municípios, os valores acumulados variam entre 194 a 328 mm.ciclo⁻¹, na média geral para suplementar o *deficit* hídrico no mês de setembro são necessários 253 mm de irrigação.

O *deficit* hídrico observado para a quinta e sexta época de semeadura, simulação referente ao mês de outubro (Figuras 18 e 19), foram obtidos valores entre 230 a 360 mm.ciclo⁻¹, com média geral entre os locais de 287 mm.ciclo⁻¹, correspondente a 2,24 mm.dia⁻¹. Assim outubro foi caracterizado como o período em que há maior risco de estresse hídrico para a cultura de milho, atendendo apenas 54% da demanda hídrica da cultura.

Para o mês de novembro, observou-se um valor máximo de 352 mm.ciclo⁻¹ e mínimo de 231 mm.ciclo⁻¹ (Figuras 20 e 21) a média para o período se faz necessária uma suplementação ao longo do ciclo de 284 mm. O *deficit* médio diário foi de 2,19 mm.dia⁻¹.

Por fim, no mês de dezembro observou-se um *deficit* hídrico diário na ordem de 1,9 mm.dia⁻¹ (Figuras 22 e 23), perfazendo um valor médio ao acumulado no ciclo de 247 mm, e uma variação de 215 a 318 mm.ciclo⁻¹.

Petry (2004), ao estimar a demanda hídrica para a cultura de milho na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, observou valores de *deficit* hídrico máximo no mês outubro e dezembro, sendo que entre as épocas de semeadura foram observados valores de acumulados entre 150 e 250 mm.ciclo⁻¹.

Figura 14 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à primeira época de semeadura: 1 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 15 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à segunda época de semeadura: 15 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 16 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à terceira época de semeadura: 1 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 17 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quarta época de semeadura: 15 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 18 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quinta época de semeadura: 1 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 19 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sexta época de semeadura: 15 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 20 - Variação temporal (DAS: dias após a sementeira) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sétima época de sementeira: 1 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 21 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à oitava época de semeadura: 15 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 22 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à nona época de semeadura: 1 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 23 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do *deficit* hídrico (DEF, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à décima época de semeadura: 15 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

4.2.3. Excedente hídrico

No primeiro período de semeadura, referente a data de 1 de agosto, o excedente hídrico apresentou valores acumulados entre 255 e 498 mm para Santa Rosa e Passo Fundo, respectivamente (Figura 24), e valor médio acumulado e diário foram de 391 e 3,01 mm, respectivamente. Ao comparar este excedente hídrico a ETc observa-se que o volume chega a 83% da ETc, e é superior ao *deficit* hídrico em mais de 132% na média, sendo que no município de Passo Fundo este valor superou a marca de 249%, ou seja um excedente hídrico 2,49 vezes maior que a deficiência observada nos períodos analisados.

Na segunda época de semeadura, 15 de agosto (Figura 25), os valores de excedente hídrico acumulados mantiveram-se entre 249 e 445 mm, e o acumulado e média diária foram de 380 e 2,93 mm, respectivamente. Este excedente hídrico chega a perfazer 74% do volume da ETc para o mesmo período, ao passo que o excedente é superior ao *deficit* hídrico em mais de 90% na média.

Os resultados do terceiro período de semeadura, 1 de setembro (Figura 26), revelam valores de excedente hídrico acumulados entre 213 e 460 mm ao longo do ciclo, e valor médio acumulado e diário de 393 e 3,02 mm, respectivamente. Assim o excedente hídrico chegou a 70% da ETc, superando o valor de *deficit* hídrico em mais de 67% na média.

A quarta época de semeadura (Figura 27) revelou valores de excedente hídrico acumulados entre 186 e 464 mm, e valor médio acumulado e diário foram de 376 e 2,90 mm, respectivamente. Ao comparar este excedente hídrico a ETc observa-se que o volume chega a 63% da ETc e é superior ao *deficit* hídrico em mais de 45% na média.

Para o quinto período de semeadura, 1 de outubro (Figura 28) são observados valores de excedente hídrico acumulados entre 165 e 458 mm, sendo que os valor médio, acumulado e diário foram de 354 e 2,73 mm, respectivamente. Este excedente equivaleu a 57% da ETc e também foi superior ao *deficit* hídrico em mais de 27% na média.

Na semeadura de 15 de outubro (Figura 29) o excedente hídrico acumulado manteve-se entre 143 e 409 mm, com valores de acumulado e a média diária de 317 e 2,44 mm ao longo de todo o ciclo, respectivamente. Com o avanço das datas de semeadura observa-se que o excedente sofre reduções significativas, chegando mesmo assim a um volume de 50% da ETc superando o *deficit* hídrico em mais de 11% na média.

Para as semeaduras no mês de novembro (Figuras 30 e 31), observa-se que há uma redução de mais de 90 mm no excedente em relação ao início de outubro, esta diferença se justifica por outubro ser o mês mais chuvoso ao longo do ano, este fato associado a

profundidade do sistema radicular variável, faz com que grande parte das precipitações ocorridas no período tornem-se excedente. Para novembro foi observado excedente hídrico acumulado entre 124 e 364 mm, com valor médio diário e acumulado de 2,2 e 284 mm, respectivamente, valor muito próximo ao *deficit* hídrico do período.

O balanço hídrico desenvolvido para o nono e decimo período de semeadura, simuladas para o mês de dezembro (Figura 32 e 33), apresentaram excedente hídrico acumulado entre 115 e 388 mm, e valor médio acumulado e diário de 293 e 2,26 mm, respectivamente. Superando também os valores de *deficit*.

É possível inferir que o excedente hídrico foi superior ao *deficit* em 9 das 10 épocas de semeadura simuladas, o que ressalta a importância do aumento no volume de água a ser armazenado no sistema de produção. Assim práticas agrícolas que possibilitem a melhoria da estrutura física do solo, e consequentemente das condições de armazenamento, bem como de desenvolvimento do sistema radicular são ferramentas que contribuem para a redução do excesso hídrico nas lavouras, reduzindo a percolação de nutrientes e até mesmo a degradação do solo pelos processos erosivos (KLEIN, 2014).

Trabalhos desenvolvidos na região norte do Rio Grande do Sul por Kochhann e Denardin (2000) e Camara e Klein (2005), demonstram que práticas agrícolas como a descompactação do solo utilizando implementos de hastes, resultam em superfícies mais rugosas, promovem o aumento da porosidade, reduzindo a densidade e, ao mesmo tempo rompem as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas, resultando em maior taxa de infiltração de água no solo.

Nicoloso et al. (2008), ao avaliarem o efeito da escarificação mecânica usando escarificadores e biológica através de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante em um Latossolo de textura muito argilosa, concluíram que a escarificação biológica foi eficiente em aumentar a macroporosidade do solo, diminuir a resistência do solo à penetração e melhorar a infiltração de água em um Latossolo inicialmente compactado, também observaram que a escarificação biológica aumentou a persistência da melhoria das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica, e que os maiores rendimentos de grãos de soja foram observados após a escarificação biológica.

O aprofundamento do sistema radicular leva a uma maior exploração do perfil do solo. No entanto, o crescimento e o desenvolvimento das raízes estão associados a impedimentos químicos e físicos. Amado et al. (2009) determinaram a influência desses atributos na produtividade de milho e feijão em áreas sob irrigação, e concluíram as principais limitações

foram observadas em subsuperfície, onde encontraram baixo pH, baixa disponibilidade de bases, e compactação do solo. Os autores concluíram que os menores rendimentos foram associados a áreas de menor capacidade de água total disponível.

Assim a partir das informações gerados pelo presente trabalho, é possível inferir que a adoção de práticas de manejo que visem a melhoria da qualidade física e química do solo, promovendo maior infiltração de água, aprofundamento do sistema radicular, redução de impedimentos químicos e aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, são práticas que podem contribuir para a redução do excedente hídrico, reduzindo o *deficit* hídrico na cultura de milho, minimizando o efeito de estiagens de curta duração.

Várias práticas agrícolas promovem incremento no armazenamento de água no solo, a exemplo da matéria orgânica pode reter até vinte vezes a sua massa em água, sendo parte retida na estrutura interna (STEVENSON, 1994), no entanto a maior contribuição da matéria orgânica está relacionada à estruturação do solo, promovendo a agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior retenção de água, beneficiando a infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013).

Outra prática que favorece a melhoria do armazenamento de água no solo evitando perda através de excedentes hídricos é a utilização de polímeros sintéticos, chamados de condicionadores de solo. Segundo Klein e Klein (2015) estes polímeros possuem capacidade de aumentar retenção da água do solo por apresentarem tensão maior que as partículas naturais do solo, no entanto essa tensão ainda é inferior a tensão de sucção desenvolvida pelas raízes das plantas, possibilitando assim que a água seja prontamente liberada às plantas.

Figura 24 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à primeira época de semeadura: 1 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 25 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.day^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à segunda época de semeadura: 15 de agosto (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 26 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.day^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à terceira época de semeadura: 1 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 27 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.day^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quarta época de semeadura: 15 de setembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 28 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.day^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à quinta época de semeadura: 1 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 29 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sexta época de semeadura: 15 de outubro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 30 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.dia⁻¹) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à sétima época de semeadura: 1 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 31 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.dia^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à oitava época de semeadura: 15 de novembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 32 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, mm.day^{-1}) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à nona época de semeadura: 1 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

Figura 33 - Variação temporal (DAS: dias após a semeadura) do excedente hídrico (EXC, $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul, referente à décima época de semeadura: 15 de dezembro (valores médios para seus respectivos períodos de observação)

4.3. Classificação de épocas de semeadura em relação ao risco hídrico

A classificação das épocas de semeadura quanto ao atendimento das necessidades hídricas da cultura de milho ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento (Figura 34) revela que nas semeaduras de agosto a um maior atendimento da demanda hídrica, ao passo que com o avanço das datas até 15 de outubro ocorre redução do mesmo, aumentando o risco de perdas de produtividade para as regiões de Bagé, Encruzilhada do Sul e Santa Maria, caracterizada como região da sudeste e centro-sul do estado. Na região ao norte, noroeste e nordeste do estado é observado um atendimento favorável a cultura em todas as épocas de semeadura, ampliando a janela de semeadura para estas regiões.

A Figura 35 traz a espacialização do atendimento hídrico no período compreendido entre o início do florescimento e o final do enchimento dos grãos, considerado como de maior sensibilidade ao *deficit* hídrico pela cultura de milho. No mês de agosto são encontradas condições favoráveis para todas as localidades, este fato está ligado a associação do período de maior demanda com os menores valores de evapotranspiração (Figura 4). A partir de setembro a região sudeste apresenta forte restrição hídrica, com alto risco de perda da produtividade em decorrência do fator disponibilidade hídrica, estas restrições se mantem até as semeaduras de final de novembro.

Os municípios localizados ao norte do estado, em Latossolos com maior capacidade de armazenamento de água, apresentam condições favoráveis ao atendimento hídrico do milho em todas as épocas estudadas, ao passo que ao sudeste, as condições de precipitação pluvial são baixas, e limitam o cultivo do milho.

Os resultados observados vão de encontro as informações geradas por Britto, Barletta e Mendonça (2008), estes autores também observaram que as precipitações pluviométricas no estado do Rio Grande do Sul apresentam volumes crescentes do Sul em direção ao norte do estado com variações entre 1.200 mm e 2.000 mm anuais. Nos municípios localizados ao Norte a média de precipitação é 674 mm já para os municípios de Bagé, Santa Maria e Encruzilhada do Sul o acumulado médio no ciclo simulado da cultura de milho foi de 609 mm.

Ao norte da latitude 30°S as precipitações e o atendimento da demanda hídrica na cultura de milho simulado para o período entre 17 e 25 anos são maiores que ao sul da latitude 30°S e estes resultados são determinados pela dinâmica de circulação atmosférica diferenciada, sendo que ao norte, além da influência dos sistemas frontais, são observadas

atuação dos sistemas tropicais no verão, intensificando as precipitações através de chuvas esparsas com alta variabilidade (QUADROS et al., 2005).

Figura 34 - Classificação das épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, em relação ao atendimento das necessidades de água ao longo de todo o ciclo da cultura de milho nos municípios de Bagé (25 ciclos), Cruz Alta (25 ciclos), Encruzilhada do Sul (25 ciclos), Ibirubá (17 ciclos), Iraí (23 ciclos), Júlio de Castilhos (25 ciclos), Passo Fundo (25 ciclos), Santa Maria (25 ciclos), Santa Rosa (25 ciclos) e São Luiz Gonzaga (25 ciclos) do estado do Rio Grande do Sul, em dez épocas de semeadura, considerando ciclo fixo de 130 dias, profundidade efetiva do sistema radicular e retenção de água específica do solo variáveis

Figura 35 - Classificação das épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, em relação ao atendimento das necessidades de água durante o período compreendido entre o início da floração e o final da maturação fisiológica da cultura de milho nos municípios de Bagé (25 ciclos), Cruz Alta (25 ciclos), Encruzilhada do Sul (25 ciclos), Ibirubá (17 ciclos), Iraí (23 ciclos), Júlio de Castilhos (25 ciclos), Passo Fundo (25 ciclos), Santa Maria (25 ciclos), Santa Rosa (25 ciclos) e São Luiz Gonzaga (25 ciclos) do estado do Rio Grande do Sul, em dez épocas de semeadura, considerando ciclo fixo de 130 dias, profundidade efetiva do sistema radicular e retenção de água específica do solo variáveis

4.4. *Deficit* hídrico acumulado

As Tabelas 5 a 14 apresentam a variação da *deficit* hídrico acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho para os municípios estudados no presente trabalho, na qual além do valor médio de *deficit* são observados os valores extremos máximo e mínimo.

Para o município de Bagé (Tabela 5) é possível observar que na média de todas as épocas de Semeadura o município apresentou um *Deficit* hídrico ao longo do ciclo de 311 mm, sendo o menor *deficit* médio observado com a antecipação da semeadura, com valores 30% inferiores à média. Também os valores extremos apresentaram uma tendência de redução com a antecipação da semeadura, sendo o mês de agosto responsável pelos menores valores de máximo e mínimo, caracterizando assim que a antecipação da época de semeadura para o município de Bagé apresenta uma tendência de redução no *deficit* hídrico.

O município de Cruz alta apresentou um *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 239 mm (Tabela 6), apresentando uma maior homogeneidade entre as épocas simuladas. A semeadura na segunda quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 23% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 76,15 e 494,75 mm, com os maiores de *deficit* observados nas semeaduras de 15 de outubro.

Em Encruzilhada do Sul apresentou um *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 260 mm (Tabela 7), sendo o menor valor observado 176,76 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 299,64 para 15 de outubro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 32% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 85,86 e 412,16 mm, sendo a semeadura de 15 de outubro a de maior *Deficit* Acumulado.

No município de Ibirubá foram observados valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 247,87 mm (Tabela 8), sendo o menor valor observado 162,12 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 288,33 para 15 de outubro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 35% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 69,26 e 461,44 mm, sendo a semeadura de 15 de outubro a de maior *Deficit* Acumulado.

Em Iraí foram observados valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 286,45 mm (Tabela 9), sendo o menor valor observado 216,18 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 322,11 para 15 de outubro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor

acumulado, 24% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 102 e 506,4 mm, sendo a semeadura de 15 de outubro a de maior *Deficit* Acumulado.

Em Júlio de Castilhos (Tabela 10) foram observados valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 214,93 mm, sendo o menor valor observado 158,54 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 240,83 para 01 de novembro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 26% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 98,55 e 316,16 mm, sendo a semeadura de 1 de novembro a de maior *Deficit* Acumulado.

No município de Passo Fundo os valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação foram de 206,33 mm (Tabela 11), sendo o menor valor observado 142,68 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 236,28 para 15 de outubro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 31% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 73,82 a 365,34 mm, sendo a semeadura de 01 de outubro a de maior *deficit* acumulado.

No município de Santa Maria foram observados valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 302,10 mm (Tabela 12), sendo o menor valor observado 227,44 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 343,25 mm para 01 de novembro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 25% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 114,82 a 511,78 mm, sendo a semeadura de 01 de novembro a de maior *deficit* acumulado.

Em Santa Rosa observou-se um valor médio de *deficit* médio referente a todas as épocas de Semeadura na ordem de 240,38 mm (Tabela 13), sendo o menor *deficit* médio observado com a antecipação da semeadura, com valores 33% inferiores à média. Também os valores extremos apresentaram uma tendência de redução com a antecipação da semeadura, sendo o mês de agosto responsável pelos menores valores de máximo e mínimo, ao passo que a semeadura no início de novembro deteve os maiores valores de *deficit* acumulado.

Por fim em São Luiz Gonzaga foram observados valores de *deficit* hídrico acumulado médio para os dez períodos de simulação na ordem de 263,66 mm (tabela 14), sendo o menor valor observado 166,243 mm para semeadura no início de agosto e o maior valor médio 310,31 para 01 de novembro. A semeadura na primeira quinzena de agosto proporcionou o menor valor acumulado, 37% inferior à média geral. Os valores extremos permaneceram entre 71,36 a 520,78 mm, sendo a semeadura de 01 de novembro responsável pelo maior *deficit* acumulado.

Tabela 5 - *Deficit hídrico acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Bagé, estado do Rio Grande do Sul*

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	221,29	221,28	221,95	256,70	260,64	252,16	253,00	250,43	234,92	220,21
1992	260,15	307,15	345,52	352,47	349,99	341,55	338,43	347,75	353,45	338,04
1993	201,30	217,10	255,20	286,76	343,73	354,61	357,23	359,07	327,02	295,18
1994	211,72	261,87	321,43	347,87	413,84	435,09	424,54	408,93	367,95	327,60
1995	271,97	359,31	397,60	414,22	417,23	430,99	403,40	391,08	352,89	295,60
1996	243,92	289,76	353,45	397,58	444,66	438,75	412,97	389,68	371,83	352,27
1997	184,50	215,35	219,90	230,44	231,33	243,02	234,55	220,38	203,67	182,16
1998	265,71	288,77	332,98	382,03	385,13	378,45	393,49	394,25	368,73	340,76
1999	297,05	344,21	434,01	460,04	463,57	450,80	424,18	389,58	340,26	302,28
2000	169,11	206,29	240,98	250,31	264,11	294,03	286,90	273,63	242,60	208,08
2001	133,73	162,67	218,16	262,04	280,31	279,28	271,00	250,72	227,80	199,91
2002	116,74	146,15	197,38	244,89	286,85	295,47	283,87	265,03	246,40	227,97
2003	180,06	188,83	223,56	244,93	292,28	313,44	334,47	359,04	397,97	393,82
2004	222,59	272,11	321,35	366,07	409,09	431,62	478,62	480,49	438,50	384,81
2005	265,50	347,79	447,52	472,88	494,59	522,54	497,94	472,33	423,04	383,96
2006	243,98	288,11	326,87	360,84	377,49	384,11	357,19	322,75	270,67	230,16
2007	233,53	315,55	372,46	403,43	433,59	452,02	446,17	427,67	376,87	337,75
2008	236,26	272,56	332,93	362,46	375,21	374,25	350,67	313,56	296,32	292,97
2009	129,44	158,78	182,72	199,06	212,82	210,74	201,45	214,81	228,35	234,16
2010	334,09	366,29	422,11	445,91	466,54	459,05	455,43	439,10	391,28	349,66
2011	281,83	334,14	393,62	450,34	466,20	454,60	409,96	385,94	359,90	321,41
2012	204,76	227,14	247,66	263,63	279,03	289,12	302,41	302,25	297,08	283,88
2013	161,38	232,29	309,43	329,08	334,81	334,15	302,07	273,70	238,72	201,93
2014	160,05	182,51	206,97	221,94	255,45	274,05	277,37	304,95	310,52	320,52
2015	133,39	149,48	166,95	207,81	277,41	310,08	325,00	323,19	298,02	264,87
Máximo	334,09	366,29	447,52	472,88	494,59	522,54	497,94	480,49	438,50	393,82
Média	214,56	254,22	299,71	328,55	352,64	360,16	352,89	342,41	318,59	291,60
Mínimo	116,74	146,15	166,95	199,06	212,82	210,74	201,45	214,81	203,67	182,16

Tabela 6 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Cruz Alta, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	221,29	187,52	176,71	188,82	271,25	231,51	185,42	159,70	131,99	111,84
1992	260,15	175,35	208,14	225,17	228,07	212,72	209,03	196,25	188,62	186,14
1993	201,30	122,22	142,79	183,45	219,25	226,42	217,83	202,62	183,19	166,04
1994	211,72	152,05	185,52	194,87	200,48	210,84	210,76	205,28	182,61	167,45
1995	271,97	325,09	386,78	413,91	405,84	378,31	305,09	250,42	190,06	144,99
1996	243,92	145,34	184,13	223,71	252,07	267,33	260,44	265,82	274,97	287,02
1997	184,50	135,71	132,67	153,54	167,80	180,61	174,85	162,18	149,53	133,56
1998	265,71	230,35	271,66	305,54	335,76	328,32	303,11	285,48	247,14	215,33
1999	297,05	238,46	321,88	357,37	378,79	390,66	383,36	373,90	312,27	273,91
2000	169,11	151,98	174,61	177,26	178,31	188,77	207,42	226,69	217,58	207,46
2001	133,73	203,75	265,07	303,89	301,41	286,53	263,28	241,09	209,78	196,56
2002	116,74	76,15	102,69	118,44	147,87	175,34	190,59	184,28	182,74	175,79
2003	180,06	194,05	200,46	229,92	251,91	265,94	311,76	324,87	345,87	337,66
2004	222,59	172,75	242,49	289,10	308,94	339,20	407,19	417,11	394,82	353,83
2005	265,50	184,25	224,57	247,12	267,76	298,55	306,66	306,35	295,26	263,30
2006	243,98	165,75	189,01	213,51	246,18	287,05	285,62	270,74	248,14	206,30
2007	233,53	234,76	286,96	313,69	344,94	360,62	366,81	368,61	365,32	336,42
2008	236,26	206,24	261,25	278,10	289,07	300,09	278,73	273,18	280,80	289,51
2009	129,44	112,82	122,54	131,67	148,51	158,70	164,55	188,37	211,75	227,79
2010	334,09	219,71	243,48	277,78	293,12	284,35	266,28	242,72	206,48	188,95
2011	281,83	261,74	339,15	402,21	446,30	494,75	472,69	448,50	416,74	383,30
2012	204,76	167,02	172,09	183,18	223,91	250,88	260,22	240,57	230,36	214,77
2013	161,38	211,25	254,68	269,02	291,53	299,15	284,50	257,77	250,94	224,96
2014	160,05	202,15	233,74	247,13	247,52	245,26	205,41	192,71	180,22	173,27
2015	133,39	122,47	124,25	141,83	161,86	175,09	185,87	189,12	180,61	172,05
Máximo	334,09	325,09	386,78	413,91	446,30	494,75	472,69	448,50	416,74	383,30
Média	214,56	183,96	217,89	242,81	264,34	273,48	268,30	258,97	243,11	225,53
Mínimo	116,74	76,15	102,69	118,44	147,87	158,70	164,55	159,70	131,99	111,84

Tabela 7 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Encruzilha do Sul, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	247,33	275,35	282,69	309,36	293,91	273,18	242,82	235,02	205,42	185,30
1992	199,43	234,17	276,84	299,30	308,98	308,23	309,00	297,68	285,38	261,50
1993	162,27	174,94	205,25	251,38	281,87	288,94	287,88	281,02	255,57	228,44
1994	136,36	182,87	225,00	254,19	274,07	294,47	290,96	288,71	251,57	208,78
1995	268,11	357,65	379,80	383,05	368,96	338,19	305,40	292,41	261,75	222,61
1996	180,94	224,12	291,13	328,17	352,13	353,84	330,60	317,98	305,10	292,55
1997	100,65	123,77	132,06	158,44	171,45	187,20	190,72	184,70	173,59	164,53
1998	202,60	227,35	261,97	300,70	309,06	299,85	298,55	308,61	301,16	278,10
1999	218,09	250,51	315,85	354,51	387,25	412,16	389,74	359,86	305,29	255,44
2000	157,58	203,66	231,33	234,77	226,31	224,69	223,28	224,76	215,26	196,95
2001	155,88	176,65	234,49	281,64	305,85	311,99	304,68	281,85	244,50	204,48
2002	85,86	97,99	137,96	163,97	198,59	214,94	224,23	218,94	216,18	211,78
2003	179,53	179,16	214,82	233,26	245,38	250,70	279,51	296,99	331,87	338,54
2004	216,76	274,74	332,70	352,79	367,62	377,27	384,20	363,48	316,24	278,13
2005	155,95	217,42	279,19	320,39	341,83	373,47	391,40	398,10	365,03	326,41
2006	189,85	239,23	266,52	290,97	301,80	299,50	275,47	249,01	221,23	187,35
2007	154,17	207,81	275,31	299,49	328,14	333,41	324,99	312,21	291,29	260,74
2008	228,04	281,20	313,75	314,89	305,28	295,42	264,33	229,99	217,67	223,96
2009	107,20	122,48	151,11	191,59	215,12	220,57	221,86	244,96	252,43	249,27
2010	241,91	286,44	337,31	359,32	360,82	336,79	308,02	283,08	241,69	205,68
2011	196,60	239,84	306,62	348,22	379,73	386,49	372,53	357,72	336,39	312,56
2012	200,49	245,77	276,31	300,88	330,59	321,56	308,82	288,05	266,07	243,73
2013	164,61	199,64	250,53	267,83	284,08	292,03	278,60	259,70	231,88	207,20
2014	156,50	179,35	201,89	215,17	227,76	242,32	243,02	261,69	262,62	264,69
2015	112,32	114,82	130,19	186,11	232,07	253,75	266,55	270,29	250,59	226,33
Máximo	268,11	357,65	379,80	383,05	387,25	412,16	391,40	398,10	365,03	338,54
Média	176,76	212,68	252,42	280,02	295,95	299,64	292,69	284,27	264,23	241,40
Mínimo	85,86	97,99	130,19	158,44	171,45	187,20	190,72	184,70	173,59	164,53

Tabela 8 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Ibirubá, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1994	144,75	175,77	200,05	206,89	228,88	239,69	239,27	234,31	203,35	178,35
1995	301,98	376,78	438,75	461,44	451,73	417,36	330,59	271,57	190,99	153,01
1996	147,26	179,32	254,41	315,55	353,09	358,58	350,80	359,91	350,84	344,82
1997	123,16	127,86	124,70	150,43	160,62	167,98	176,34	175,41	160,25	143,27
1998	211,61	249,07	282,33	305,57	326,78	323,73	311,88	303,79	263,85	233,21
1999	211,38	264,71	345,70	374,70	386,63	390,32	363,37	336,20	277,17	244,86
2000	134,75	172,71	196,64	201,82	202,27	207,17	221,87	233,70	221,26	215,97
2001	183,37	210,64	283,82	348,93	348,34	332,34	313,12	289,86	234,89	194,80
2002	69,26	85,28	104,59	116,70	133,85	153,38	170,48	163,69	169,74	168,00
2003	162,16	160,63	160,27	177,49	191,27	199,46	241,74	278,15	315,91	336,00
2004	177,67	204,02	270,28	294,62	335,00	373,26	437,36	443,76	407,44	360,12
2005	126,64	168,80	222,17	258,86	281,34	307,08	323,61	319,06	305,20	267,37
2006	142,13	191,42	234,70	271,01	314,43	349,44	329,28	296,23	247,34	190,80
2007	173,93	218,24	256,89	280,56	301,54	311,47	322,64	337,07	337,34	309,47
2008	167,89	218,69	250,50	260,59	275,26	292,36	271,01	241,72	211,21	229,87
2009	95,55	109,07	130,35	144,33	171,52	175,24	178,93	205,78	231,41	247,90
2010	182,56	205,10	227,16	274,21	308,85	302,75	269,04	224,18	167,75	114,81
Máximo	301,98	376,78	438,75	461,44	451,73	417,36	437,36	443,76	407,44	360,12
Média	162,12	195,18	234,31	261,39	280,67	288,33	285,37	277,32	252,70	231,33
Mínimo	69,26	85,28	104,59	116,70	133,85	153,38	170,48	163,69	160,25	114,81

Tabela 9 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Irajá, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	335,65	340,25	322,05	345,76	342,40	322,59	299,83	264,44	214,32	186,65
1992	188,41	227,62	285,51	313,74	316,88	318,82	333,34	306,47	271,09	231,53
1993	177,33	176,58	220,26	238,68	253,24	237,23	216,75	202,71	194,01	186,50
1994	160,25	189,52	209,96	221,21	247,01	275,96	273,95	278,06	258,30	230,07
1995	302,55	361,76	369,86	375,46	370,39	349,57	307,80	270,55	221,75	188,02
1996	159,81	167,21	203,42	232,02	264,64	276,62	266,97	283,10	297,79	305,03
1997	147,20	165,52	165,50	186,17	187,54	193,65	197,11	189,52	169,29	149,58
1998	227,50	261,52	320,62	353,26	366,51	353,11	334,43	341,67	313,33	289,77
1999	265,62	288,43	330,54	346,21	342,20	338,11	319,05	315,74	286,21	276,27
2000	209,52	259,23	293,35	288,36	276,37	260,42	272,85	276,61	258,35	255,63
2001	286,56	329,57	407,27	443,28	441,42	439,44	425,13	424,16	397,92	357,48
2002	102,03	116,65	137,57	160,06	203,56	222,72	225,61	221,45	231,05	223,65
2003	240,48	243,00	251,18	268,28	272,41	273,35	300,47	326,03	346,93	340,21
2004	215,11	259,93	296,34	315,01	353,00	407,25	431,02	433,48	405,48	370,61
2005	207,22	262,03	311,77	327,31	337,18	347,95	366,60	356,51	332,59	292,30
2006	242,80	279,56	309,68	324,59	327,45	317,48	294,82	302,13	300,10	282,76
2007	211,77	243,22	264,44	302,84	354,36	383,71	372,95	369,22	356,43	323,07
2008	220,42	269,32	315,27	351,16	393,69	399,67	390,63	382,00	369,55	364,24
2009	129,04	139,54	148,33	161,43	215,95	226,33	237,85	241,49	255,36	252,50
2010	245,48	260,04	302,31	321,03	308,39	290,17	266,64	240,53	219,00	194,16
2011	235,57	303,10	377,93	411,29	470,26	506,41	498,19	503,21	476,40	421,74
2012	269,50	269,54	250,26	275,38	311,10	319,60	313,07	295,92	272,61	253,86
2013	200,87	242,43	251,61	281,24	324,75	348,31	342,36	320,04	284,21	234,92
Máximo	335,65	361,76	407,27	443,28	470,26	506,41	498,19	503,21	476,40	421,74
Média	216,18	246,05	275,87	297,56	316,55	322,11	316,84	310,65	292,70	270,03
Mínimo	102,03	116,65	137,57	160,06	187,54	193,65	197,11	189,52	169,29	149,58

Tabela 10 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Júlio de Castilhos, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1984	121,26	158,18	188,69	216,23	229,20	249,25	266,11	291,32	307,31	286,85
1985	227,76	243,25	242,21	236,94	218,91	201,79	180,11	171,47	171,74	167,92
1986	162,15	206,59	241,30	267,26	277,17	267,21	236,77	216,80	194,02	171,18
1987	201,44	234,39	255,00	255,74	259,11	267,02	254,40	238,77	218,02	218,76
1988	170,49	176,59	187,13	223,46	239,27	246,28	274,54	278,10	263,62	240,96
1989	197,72	224,36	234,87	240,70	236,45	212,22	187,89	158,99	155,34	151,00
1990	222,51	277,58	307,40	306,18	316,05	314,16	308,06	281,45	230,48	197,51
1991	202,35	238,10	248,39	256,47	263,40	265,33	259,31	246,30	220,80	195,74
1992	187,90	225,51	267,22	282,68	293,49	298,71	284,90	268,03	255,70	229,93
1993	161,68	170,10	179,53	194,11	218,49	245,35	259,88	251,49	230,52	206,65
1994	98,55	121,63	133,60	145,87	149,42	155,09	160,07	180,18	197,67	197,17
1995	162,30	210,85	282,54	307,61	316,16	297,03	266,17	250,87	234,19	219,62
1996	114,40	126,29	146,87	175,87	197,03	234,73	270,83	264,09	260,70	248,34
1997	116,75	124,26	131,24	151,64	160,72	168,38	194,03	211,57	214,60	206,40
1998	134,54	166,94	195,60	202,04	204,86	215,05	227,37	224,82	219,98	220,49
1999	196,73	215,44	255,12	278,17	302,44	299,03	273,98	230,66	195,81	174,00
2000	175,62	205,66	222,24	234,49	240,05	234,61	227,22	220,10	192,49	167,06
2001	125,36	138,69	178,05	213,10	224,31	224,38	248,58	253,73	237,95	213,57
2002	139,37	146,83	154,64	146,83	146,39	152,21	147,37	146,82	165,19	175,91
2003	130,39	128,39	125,80	144,54	168,69	198,40	246,85	271,46	283,15	275,63
2004	151,18	167,92	213,29	234,73	242,60	257,44	310,00	315,54	293,13	257,00
2005	109,54	141,46	174,01	211,75	228,07	233,29	217,29	206,86	205,17	194,41
2006	189,44	208,29	217,16	240,56	261,82	287,22	277,04	253,84	228,93	208,44
2007	156,67	151,49	144,24	158,96	180,52	213,33	245,54	267,99	270,83	263,17
2008	114,82	151,29	175,92	185,94	192,38	197,29	196,50	190,71	.	.
Máximo	227,76	277,58	307,40	307,61	316,16	314,16	310,00	315,54	307,31	286,85
Média	158,84	182,40	204,08	220,47	230,68	237,39	240,83	235,68	226,97	211,99
Mínimo	98,55	121,63	125,80	144,54	146,39	152,21	147,37	146,82	155,34	151,00

Tabela 11 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Passo Fundo, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	.	.	.	.	207,41	205,87	186,28	168,76	150,74	132,93
1992	119,54	140,70	168,97	184,02	188,47	185,58	190,83	181,41	172,73	154,30
1993	143,37	125,77	153,65	182,10	223,61	226,38	223,07	215,52	205,96	199,25
1994	123,81	147,18	161,37	166,58	180,38	195,35	206,72	218,17	218,95	194,96
1995	194,31	261,34	317,31	341,80	345,65	332,73	298,49	264,34	219,33	177,92
1996	146,52	175,06	208,84	229,29	241,49	231,74	213,72	226,04	246,49	264,37
1997	96,35	128,65	140,17	159,16	162,02	163,29	156,23	143,72	124,98	102,87
1998	152,16	185,76	224,52	247,40	260,98	248,77	241,08	249,45	235,92	216,54
1999	165,57	185,38	239,19	264,60	278,04	301,71	288,19	281,19	248,22	218,65
2000	129,63	170,05	200,20	211,72	212,33	202,90	194,51	194,90	178,51	181,18
2001	167,41	176,41	200,44	246,51	275,46	277,40	268,38	247,74	216,17	185,83
2002	73,82	83,85	104,39	123,03	147,72	162,92	173,14	170,18	176,67	176,35
2003	142,58	141,99	144,52	150,29	174,06	185,58	219,10	248,80	284,60	303,58
2004	162,79	196,40	261,90	296,85	317,27	331,85	353,82	330,45	287,02	256,31
2005	104,34	139,50	176,28	208,60	224,63	232,45	220,46	207,13	190,16	166,15
2006	165,82	188,15	202,57	207,79	213,53	217,92	205,46	186,45	168,02	144,28
2007	138,88	156,84	165,13	176,74	200,85	212,79	220,69	221,42	223,59	217,07
2008	133,46	175,50	225,05	258,22	295,16	315,75	300,02	278,85	244,84	250,83
2009	113,20	125,06	140,22	154,27	181,33	194,85	210,72	240,14	262,57	276,25
2010	187,50	203,08	217,65	229,24	221,48	206,36	184,88	182,56	174,21	168,92
2011	165,03	216,62	271,41	296,98	332,42	365,34	361,59	352,50	334,27	325,10
2012	211,72	236,24	247,19	255,68	286,84	277,93	261,04	232,37	216,29	206,82
2013	152,44	191,06	240,13	252,42	284,95	298,28	293,68	266,20	246,79	214,50
2014	142,61	170,40	188,29	194,39	195,27	206,82	191,53	215,92	222,17	224,79
2015	91,52	80,80	80,21	97,78	116,02	126,34	135,69	143,97	147,35	142,79
Máximo	211,72	261,34	317,31	341,80	345,65	365,34	361,59	352,50	334,27	325,10
Média	142,68	166,74	194,98	213,98	230,69	236,28	231,97	226,73	215,86	204,10
Mínimo	73,82	80,80	80,21	97,78	116,02	126,34	135,69	143,72	124,98	102,87

Tabela 12 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	334,02	340,28	330,44	354,87	349,14	273,18	295,86	268,92	239,06	221,01
1992	221,03	262,17	301,00	318,49	321,64	308,23	313,74	286,58	271,43	241,78
1993	198,48	198,60	226,81	269,23	301,94	288,94	301,55	295,83	274,78	250,53
1994	185,43	228,30	280,28	300,58	311,31	294,47	324,91	313,74	274,03	239,05
1995	351,66	441,38	458,78	455,45	438,12	338,19	355,60	331,92	289,41	245,34
1996	225,66	239,09	293,76	313,71	332,93	353,84	319,49	321,59	333,67	335,81
1997	158,55	191,28	197,66	234,55	234,24	187,20	254,13	242,95	225,91	195,49
1998	236,45	266,30	313,01	366,69	368,92	299,85	363,46	356,58	325,96	300,69
1999	269,86	318,21	399,03	423,19	429,02	412,16	385,21	354,74	297,12	254,52
2000	166,72	187,25	199,42	207,30	214,52	224,69	255,85	267,74	259,02	244,91
2001	226,38	262,99	327,16	393,50	401,60	311,99	384,57	350,53	317,68	271,83
2002	122,29	158,01	207,40	234,42	264,51	214,94	284,85	261,93	236,88	212,04
2003	206,50	210,96	246,68	296,98	332,88	250,70	410,25	414,33	425,14	404,80
2004	271,97	313,26	375,60	416,90	446,18	377,27	511,78	506,37	457,26	399,36
2005	203,45	259,66	335,48	356,54	378,40	373,47	412,79	399,27	365,40	333,48
2006	238,76	293,97	322,57	334,55	335,77	299,50	331,85	312,01	286,86	256,03
2007	255,36	303,09	333,29	346,53	375,29	333,41	380,26	367,29	336,93	302,29
2008	272,49	349,09	401,87	410,72	428,33	295,42	405,63	364,27	334,79	328,09
2009	155,28	166,52	173,34	182,04	217,89	220,57	240,47	286,43	317,00	334,22
2010	269,83	301,01	326,48	345,18	356,75	336,79	336,59	343,90	324,76	302,00
2011	284,77	368,51	453,00	491,56	506,36	386,49	484,09	459,82	427,48	376,00
2012	225,82	242,46	252,44	272,68	315,09	321,56	332,13	306,75	291,20	282,37
2013	228,31	252,85	302,86	320,51	353,22	292,03	359,16	346,23	314,06	273,88
2014	218,94	239,40	254,54	257,67	265,99	242,32	258,44	273,00	260,71	250,85
2015	157,91	114,82	166,20	205,92	244,66	253,75	278,50	279,34	256,13	233,57
Máximo	351,66	441,38	458,78	491,56	506,36	412,16	511,78	506,37	457,26	404,80
Média	227,44	260,38	299,16	324,39	340,99	299,64	343,25	332,48	309,71	283,60
Mínimo	122,29	114,82	166,20	182,04	214,52	187,20	240,47	242,95	225,91	195,49

Tabela 13 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Santa Rosa, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1984	156,54	213,09	259,66	280,87	306,17	321,96	316,20	291,78	290,64	305,63
1985	108,22	120,66	125,35	137,82	165,41	180,87	202,67	202,06	258,19	229,01
1986	245,77	251,37	245,00	242,57	248,74	263,62	256,68	220,43	193,30	166,35
1987	229,61	284,71	328,29	329,62	315,70	293,82	258,76	213,81	183,39	171,14
1988	109,48	131,45	155,74	188,32	224,64	245,91	272,95	294,52	202,02	184,17
1989	89,04	90,54	91,84	106,73	145,15	189,77	211,33	207,31	302,63	301,20
1990	246,16	267,07	282,28	275,62	281,55	262,60	234,83	207,47	190,77	185,60
1991	141,83	181,19	245,85	307,38	359,06	373,88	363,82	345,40	203,70	209,48
1992	184,85	240,10	273,60	280,05	285,70	273,04	259,96	261,00	299,88	242,68
1993	177,29	177,58	185,27	206,33	236,15	280,85	322,98	325,17	236,02	215,68
1994	117,62	125,59	132,33	141,93	164,17	197,85	222,19	224,13	303,44	251,55
1995	134,70	187,06	239,07	275,48	314,51	320,27	326,55	328,90	221,68	196,51
1996	96,36	112,18	133,13	167,73	201,64	231,61	254,59	263,47	296,68	278,63
1997	212,45	272,84	320,28	348,10	365,10	335,02	279,98	242,81	267,93	244,20
1998	301,89	358,91	393,06	404,73	401,15	352,49	291,22	232,25	214,82	191,11
1999	131,70	191,74	251,11	274,58	287,40	311,59	342,56	338,56	211,36	204,38
2000	148,25	195,68	236,55	252,72	248,74	244,90	253,26	253,21	324,27	279,21
2001	154,68	163,25	194,86	234,26	282,63	292,09	294,16	293,24	248,62	225,06
2002	80,05	102,69	146,36	190,28	212,22	224,05	220,22	197,96	269,20	227,95
2003	121,76	118,52	145,60	177,09	201,63	214,39	248,84	270,11	182,62	178,83
2004	133,00	158,10	225,78	290,16	360,90	407,48	454,89	435,02	282,46	288,64
2005	118,09	177,85	245,71	297,89	327,20	356,97	333,57	296,68	388,66	324,30
2006	217,33	246,17	254,36	268,17	277,52	289,29	282,79	263,19	256,55	248,46
2007	179,84	202,61	216,09	222,29	245,31	249,65	244,12	253,18	231,45	201,73
2008	176,83	218,20	246,30	259,71	255,89	255,41	249,81	233,02	264,65	305,63
Máximo	301,89	358,91	393,06	404,73	401,15	407,48	454,89	435,02	388,66	324,30
Média	160,53	191,56	222,94	246,42	268,57	278,77	279,96	267,79	253,00	234,29
Mínimo	80,05	90,54	91,84	106,73	145,15	180,87	202,67	197,96	182,62	166,35

Tabela 14 - *Deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para São Luiz Gonzaga, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	210,04	233,02	261,92	272,35	280,64	268,20	245,37	218,41	180,57	
1992	149,65	191,58	256,10	286,53	290,42	291,90	302,65	291,39	279,55	247,31
1993	135,49	128,06	152,82	213,84	259,75	267,54	271,23	271,44	251,44	230,45
1994	151,19	183,62	225,65	226,08	255,81	287,69	295,68	289,06	254,63	226,13
1995	316,06	398,53	439,05	455,28	440,43	407,75	338,05	297,76	235,55	189,64
1996	136,26	149,59	180,38	230,24	278,30	301,55	293,11	281,26	266,15	265,29
1997	169,21	206,42	207,35	224,49	228,22	230,33	214,12	190,27	161,71	136,19
1998	185,18	238,55	302,22	363,22	413,08	408,26	401,64	387,83	360,83	310,95
1999	196,36	245,29	322,73	381,85	408,78	437,73	440,10	412,15	332,17	277,21
2000	129,77	168,74	198,72	203,68	204,00	199,29	208,41	227,19	224,13	213,18
2001	165,64	206,90	302,34	384,52	418,11	418,17	426,11	396,71	342,27	285,98
2002	71,36	86,28	119,31	153,69	190,62	216,01	234,69	231,33	231,27	226,89
2003	190,80	195,10	196,31	218,70	274,44	331,92	402,35	438,72	462,46	449,39
2004	158,57	182,22	244,09	281,55	319,35	343,75	412,67	435,09	420,01	387,51
2005	140,72	184,02	230,31	278,35	325,77	377,30	393,08	372,06	332,35	290,91
2006	134,54	170,36	202,68	225,06	237,49	239,69	211,31	190,65	179,07	156,92
2007	164,71	209,56	248,01	267,92	300,98	320,42	313,10	314,62	320,58	304,04
2008	213,75	289,65	366,62	409,79	431,75	426,96	393,19	357,63	331,35	317,38
2009	118,56	125,72	126,61	127,55	156,22	163,96	174,04	205,37	229,23	247,41
2010	220,57	254,18	282,01	309,79	331,10	314,40	300,44	301,80	271,40	262,24
2011	169,55	240,77	343,54	400,47	462,41	511,73	520,58	514,53	482,61	423,29
2012	164,60	188,17	201,37	213,82	262,98	282,23	281,84	253,10	237,12	227,10
2013	176,61	194,21	207,59	205,58	238,82	275,66	295,93	306,79	294,99	270,97
2014	151,82	196,11	217,48	231,74	233,03	230,12	207,44	207,16	196,38	196,44
2015	135,08	134,14	128,00	140,18	166,53	176,68	180,62	178,98	173,27	166,08
Máximo	316,06	398,53	439,05	455,28	462,41	511,73	520,58	514,53	482,61	449,39
Média	166,24	200,03	238,53	268,25	296,36	309,17	310,31	302,85	282,04	262,87
Mínimo	71,36	86,28	119,31	127,55	156,22	163,96	174,04	178,98	161,71	136,19

Os valores de *deficit* hídrico acumulado foram submetidos a análise de regressão e são apresentados na Figura 36, bem como os modelos matemáticos, coeficiente de correlação e seus respectivos níveis de significância (Tabela 15). É possível observar que na média dos

anos analisados existem diferenças significativas entre as épocas simuladas para todos os municípios analisados.

Com a antecipação da semeadura foi possível reduzir o *deficit* hídrico em todas as localidades, este resultado está associado as menores taxas de transpiração decorrentes da semeadura em períodos mais frios (Figura 2), em especial no mês de agosto. Nied et al. (2005) observaram que os meses menos favoráveis para a semeadura de milho na região central do Rio Grande do Sul são outubro e novembro, corroborando com os dados aqui encontrados, os mesmos autores destacam ainda que em quais quer uma das datas de semeadura foi encontrado um nível de atendimento da demanda hídrica de 100%.

Matzenauer et al. (2002) constataram que toda a metade Sul e o extremo Oeste do estado do Rio Grande do Sul apresentam *deficit* hídrico elevado, prejudicando o desenvolvimento e a produção de milho, o qual na ocasião apresentou um consumo de 412 e 648 mm de água durante seu ciclo.

Petry (2004), ao simular a necessidade de irrigação para o milho, feijão e soja com 13 anos de dados meteorológicos em cinco regiões agroecológicas do estado do Rio Grande do Sul, concluiu que a lâmina de água acumulada necessária à complementação da necessidade hídrica da cultura de milho variou com a época e com a região de cultivo, sendo que para a Depressão Central (Santa Maria) a lâmina máxima foi de 233 mm, para o planalto Inferior (Cruz Alta) 233 mm, para o Planalto Médio (Passo Fundo) 167 mm, para a região das Missões (São Luiz Gonzaga) 164 mm e para o baixo vale do Uruguai (São Borja) são necessários 186 mm para complementação das necessidades hídricas da cultura de milho.

Os valores obtidos no presente trabalho são referentes a períodos de dados meteorológicos entre 25 e 17 anos, com 10 épocas de semeadura, mesmo assim os valores se mantiveram próximos em algumas localidades. Também Köpp et al. (2015) realizaram a estimativa da necessidade de irrigação para três municípios do estado do Rio Grande do Sul, onde os mesmos encontraram uma lâmina de *deficit* hídrico acumulado médio no ciclo de 393 mm.

Nas condições do presente trabalho, independente da época de semeadura, é necessária a suplementação das necessidades hídricas da cultura de milho através da prática de irrigação, em todas as regiões estudadas. Os valores podem ser estimados a partir dos modelos matemáticos propostos na Tabela 15, com alto coeficientes de correlação.

Figura 36 - Deficit hídrico acumulado (DHA, mm.ciclo⁻¹) ao longo do ciclo da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul

Tabela 15 - Modelo matemático, coeficiente de correlação e valor p de significância para o *deficit* hídrico (mm) acumulado ao longo do ciclo da cultura de milho em 10 épocas de semeadura para diferentes municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Deficit hídrico	Modelo	r	p
Bagé	Máximo	$Y=240,169+88,443x-7,318x^2$	0,98	0,0001
	Média	$Y=150,68+65,175x-5,133x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=78,888+40,176x-2,971x^2$	0,98	0,0001
Cruz Alta	Máximo	$Y=235,684+71,107x-5,573x^2$	0,93	0,0009
	Média	$Y=156,937+32,654x-2,526x^2$	0,85	0,0113
	Mínimo	$Y=132,722-39,506x-12,476x^2-0,8824x^3$	0,93	0,0042
Encruzilhada do Sul	Máximo	$Y=239,409+55,578x-4,567x^2$	0,93	0,0007
	Média	$Y=124,024+55,862x-4,448x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=37,768+41,142x-2,846x^2$	0,99	0,0001
Ibirubá	Máximo	$Y=261,608+67,071x-5,736x^2$	0,91	0,0019
	Média	$Y=105,248+56,811x-4,437x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=23,255+37,021x-2,588x^2$	0,93	0,0007
Iraí	Máximo	$Y=248,748+72,887x-5,382x^2$	0,97	0,0001
	Média	$Y=169,038+47,588x-3,748x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=51,032+42-188,588x-3,188x^2$	0,97	0,0001
Júlio de Castilhos	Máximo	$Y=209,209+35,580x-2,801x^2$	0,94	0,005
	Média	$Y=126,707+33,336x-2,470x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=87,093+17-160x-1,104x^2$	0,96	0,0001
Passo Fundo	Máximo	$Y=161,150+61,314x-4,590x^2$	0,98	0,0001
	Média	$Y=104-110+39,321x-2,960x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=39,303+23,723x-1,599x^2$	0,89	0,0033
Santa Maria	Máximo	$Y=318,321+59,526x-4,9741x^2$	0,77	0,0415
	Média	$Y=185,128+47,536x-3,752x^2$	0,93	0,0009
	Mínimo	$Y=65,635+40,903x-2,6346x^2$	0,98	0,0001
Santa Rosa	Máximo	$Y=245,356+62,589x-5,262x^2$	0,92	0,0013
	Média	$Y=109,321+50,376x-3,792x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=27-189+34,511x-1,883x^2$	0,92	0,0014
São Luiz Gonzaga	Máximo	$Y=256,082+72,894x-5,389x^2$	0,97	0,0001
	Média	$Y=103,492+59,889x-4,395x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y=23,778+40,376x-2,812x^2$	0,97	0,0001

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.5. Produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico

A partir do valor de *deficit* hídrico obtido para cada subperíodo foi possível determinar a penalização da produtividade, os resultados são demonstrados abaixo em agrupamentos por regiões homogêneas.

No planalto médio, as produtividades se mantiveram similares entre Cruz Alta e Ibirubá, com um valor médio geral de produtividade atingível em 4.642,5 kg.ha⁻¹ (Tabela 17 e

19). De acordo com os resultados do modelo, as condições meteorológicas (Tabelas 2 e 3) durante a safra de 2002 permitiriam uma PA de até 11.542,2 kg.ha⁻¹, enquanto condições meteorológicas contrárias deplecionaram a produtividade para apenas 280,4 kg.ha⁻¹ no ano de 1995.

Dados obtidos para Ibirubá assemelharam-se muitos aqueles de Cruz Alta, onde foi observado produtividade atingível máxima de 11.083,6 kg.ha⁻¹ em 2002, e 255,2 kg.ha⁻¹ em 1995. De acordo com os resultados, em Cruz Alta e Ibirubá, a antecipação da semeadura para início de agosto promoveu incremento médio de 35% em relação à média.

Passo Fundo, na região do Planalto Médio, e Iraí, localizada no Alto Uruguai, no Norte do Rio Grande do Sul, apresentaram médias gerais de 5.122,8 kg.ha⁻¹ e 3.844,8 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabelas 20 e 22). As diferenças, quase sempre favoráveis a Passo Fundo, correlacionam-se com as condições meteorológicas. Apesar de apresentarem regimes pluviométricos semelhantes, valores menores de temperatura do ar, em Passo Fundo, limitam a evapotranspiração e, conseqüentemente, a deficiência hídrica. Para essas localidades os resultados mostraram que a produtividade atingível pode superar os 8.000 kg.ha⁻¹.

Entretanto, a variabilidade das condições de tempo, principalmente em anos sob a influência do fenômeno La Nina, pode deplecioná-la fortemente, chegando a menos de 2.000 kg.ha⁻¹. No norte do estado do Rio Grande do Sul, mais uma vez, lavouras semeadas em agosto apresentam incrementos produtivos em relação à média das outras épocas de semeadura.

Nos municípios das Missões (Santa Rosa e São Luiz Gonzaga) e do Planalto Médio (Júlio de Castilhos), a produtividade atingível média ao longo das 10 épocas de semeadura foi de 4.152 kg.ha⁻¹ (Tabelas 21, 24 e 25). Em Júlio de Castilhos a maior média entre os anos foi observada em 2002 chegando a 6.588,7 kg.ha⁻¹, ao passo que a menor média foi observada em 1990, com 2.794,2 kg.ha⁻¹. Os valores extremos se mantiveram entre 9.343,8 e 413 kg.ha⁻¹ para os anos de 1994 e 2004, respectivamente.

Em Santa Rosa, foram observadas produtividades de 9.892,1 kg.ha⁻¹ em 2002, e 291,3 kg.ha⁻¹ em 1990, com o maior valor médio ocorrido em 1989, chegando a 6.839,7 kg.ha⁻¹. Em São Luiz Gonzaga a maior PA observada para os anos de estudo foi de 10.607,4 para semeadura no mês de agosto de 2002, ao contrário disto, no ano de 2003 a produtividade sofreu uma drástica redução, com valores de 175,2 kg.ha⁻¹.

Nesta região foram observados valores máximos de PA nos meses de agosto e setembro, por ser uma região com temperaturas mais elevadas (Tabela 2), a semeadura em

agosto pode ser uma alternativa viável, gerando incremento próximo a de 27% em relação à média geral.

Nos municípios localizados no centro do estado em direção ao sudeste, Bagé, Encruzilhada do Sul e Santa Maria, a produtividade atingível manteve-se na média dos anos avaliados em 3.128,8 kg.ha⁻¹ (Tabelas 16, 18 e 23), onde as semeaduras de agosto e dezembro apresentaram os maiores valores médios. A maior média entre estão diretamente associadas a ocorrência de el niño, sendo que os anos de maiores produtividades foram 1997 e 2002. Ao passo que a menor média foi observada em 2005 caracterizado pelo evento la niña, com apenas 1.514 kg.ha⁻¹ em média.

Ainda para Bagé, ao analisar a PA média relativa a todas as épocas de semeadura de cada ano, verifica-se que em 2009 a média ficou em 5.018,4 kg.ha⁻¹, enquanto em 2005 a condição extrema e contrária gerou uma média de 1.138 kg.ha⁻¹. Para ambos os anos foi também constatado que a antecipação da semeadura para início de agosto promoveu um incremento sobre a média de 30%, e que a semeadura tardia, em dezembro, produziu 11% a mais que a média.

No município de Encruzilhada do Sul, a maior média entre os anos foi observada em 2002 chegando a 6.157,8 kg.ha⁻¹, ao passo que a menor média foi observada também em 2005 quando os valores não passaram de 1.891,3 kg.ha⁻¹. Os valores extremos se mantiveram entre 9656,8 e 244,2 kg.ha⁻¹ para os anos de 2002 e 1995, respectivamente, a antecipação da semeadura para início agosto remete a incremento de 27% e o atraso para dezembro 5% em relação à média.

Os valores de produtividade atingível ficaram muito próximos dos encontrados por Battisti, Sentelhas e Pilau (2012) ao analisar a eficiência agrícola de milho, soja e trigo no estado do Rio Grande do Sul, os autores encontraram um valor médio entre localidade e anos na ordem de 2.474 kg.ha⁻¹. Também Matzenauer et al. (1995) encontraram valores similares a estes aqui apresentados, os autores concluíram que as épocas de semeadura com menor risco de estresse hídrico para a cultura de milho foram agosto e dezembro, sendo que Passo Fundo foi considerada como um dos municípios com menor risco.

No presente estudo foi observado que na média de todas as épocas de semeadura a produtividade atingível (PA) foi na ordem de 79% para Bagé, 66% em Cruz Alta, 74% em Encruzilhada do Sul, 68% para Ibirubá, 72% em Iraí, 69% em Júlio de Castilhos, 64% em Passo Fundo, 76% em Santa Maria, 73% em Santa Rosa e 68% em São Luiz Gonzaga inferior

a produtividade potencial da cultura. Demonstrando que o município de Passo Fundo apresenta as menores perdas em relação ao potencial.

Tabela 16 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, nos três sistemas de manejo de irrigação e na condição de sequeiro, para Bagé, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	3.821,6	2.652,0	3.176,9	5.130,6	5.986,3	3.339,0	3.083,3	6.165,1	4.923,5	4.285,2
1992	2.069,1	991,3	558,7	1.988,5	1.298,1	3.891,6	3.471,5	2.477,6	1.452,9	1.183,2
1993	4.998,8	3.479,0	2.840,9	2.153,2	2.224,8	2.498,1	1.673,2	1.721,4	4.968,4	2.316,2
1994	4.671,9	2.827,0	1.119,9	1.828,3	612,0	2.006,1	1.285,2	672,0	3.009,3	4.134,5
1995	2.114,1	2.101,2	1.646,6	369,6	1.605,4	2.676,8	3.331,9	3.326,4	2.802,1	3.546,6
1996	3.340,0	2.587,7	989,8	1.401,6	1.365,4	516,5	1.748,8	2.717,4	3.025,2	2.344,2
1997	4.313,2	4.664,5	4.556,1	2.677,5	5.723,1	7.102,9	4.001,9	6.150,1	3.978,2	5.889,5
1998	784,6	1.091,5	2.373,4	2.452,5	3.039,2	779,3	1.684,1	2.502,7	1.243,8	626,1
1999	1.741,7	725,2	612,5	1.336,5	1.145,4	664,9	2.048,2	3.439,2	3.053,2	2.394,0
2000	6.014,2	4.395,3	3.129,5	1.464,3	4.154,2	3.322,7	5.289,5	2.694,0	4.003,0	5.175,5
2001	4.646,6	3.877,8	4.531,1	4.144,8	1.205,6	1.778,1	3.108,3	5.749,4	4.030,7	5.874,1
2002	7.807,1	4.632,6	4.864,1	4.855,7	2.680,3	1.843,0	2.155,4	4.680,3	6.896,9	6.832,2
2003	4.182,0	4.368,3	5.972,2	5.207,5	3.981,1	2.102,0	1.519,2	1.710,9	1.196,6	847,7
2004	3.862,7	3.848,9	2.654,6	356,0	1.235,2	1.373,9	487,7	1.176,9	813,8	1.083,8
2005	1.880,7	464,5	308,0	551,1	175,6	847,7	2.760,1	635,4	1.766,4	1.990,4
2006	2.208,4	1.665,6	2.375,1	1.056,2	3.267,2	2.082,6	2.276,0	2.664,6	3.535,3	6.585,7
2007	3.596,4	2.262,1	1.347,8	803,7	1.283,1	1.825,6	969,2	1.754,1	1.498,0	2.724,8
2008	4.321,9	2.931,9	1.116,5	3.386,7	2.090,9	1.329,8	2.755,0	3.949,5	4.160,7	2.883,3
2009	4.319,3	5.901,4	7.094,1	5.848,4	3.964,0	4.559,8	6.135,2	5.180,1	4.499,1	2.682,2
2010	842,7	1.117,2	899,0	1.505,7	1.704,6	1.696,7	1.523,3	2.505,8	1.988,4	2.017,6
2011	2.420,1	2.115,4	1.505,7	949,1	1.537,1	881,6	675,3	3.125,4	2.151,5	2.331,3
2012	3.974,3	3.548,0	2.905,2	2.909,7	5.062,0	4.512,9	2.790,2	2.150,3	2.989,2	1.512,5
2013	5.939,6	4.581,0	3.232,1	988,5	313,3	3.508,3	6.125,9	5.738,6	5.756,5	5.337,6
2014	4.801,5	5.188,4	2.206,9	4.600,5	4.842,3	4.277,3	3.618,5	1.871,4	2.585,4	1.587,7
2015	5.968,1	5.608,5	4.040,1	2.984,3	3.793,2	2.700,6	352,4	392,0	4.108,1	3.198,1
Máximo	7.807,1	5.901,4	7.094,1	5.848,4	5.986,3	7.102,9	6.135,2	6.165,1	6.896,9	6.832,2
Média	3.785,6	3.105,1	2.642,3	2.438,0	2.571,6	2.484,7	2.594,8	3.006,0	3.217,5	3.175,4
Mínimo	784,6	464,5	308,0	356,0	175,6	516,5	352,4	392,0	813,8	626,1

Tabela 17 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Cruz Alta, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	2.524,8	2.152,5	2.062,1	3.011,2	7.812,3	7.408,2	4.182,8	8.614,7	9.721,9	9.953,8
1992	5.560,3	6.949,9	3.179,1	2.768,8	3.687,7	4.085,3	6.331,1	7.706,8	5.465,2	4.925,1
1993	6.973,7	6.752,8	6.295,6	5.913,2	4.925,9	2.580,9	3.235,4	7.618,4	8.658,8	5.715,8
1994	8.436,5	7.744,1	4.714,4	3.205,4	3.689,7	6.197,2	6.720,2	4.706,8	3.606,2	7.652,9
1995	3.193,4	2.078,9	1.071,6	280,4	1.901,7	2.164,2	6.558,1	8.231,9	6.949,8	7.667,8
1996	7.876,7	7.037,3	4.529,3	3.374,0	4.178,8	1.863,3	3.628,3	5.175,1	4.006,4	2.722,3
1997	8.885,0	8.418,7	7.030,5	4.830,3	7.116,1	7.589,7	5.314,2	9.366,7	6.804,2	8.023,6
1998	5.870,7	2.937,5	877,0	1.493,4	4.462,7	2.821,3	2.220,1	2.421,3	3.870,6	3.577,0
1999	4.976,9	3.831,3	724,9	1.988,2	1.210,7	1.376,2	2.549,7	2.177,6	1.949,7	2.740,0
2000	9.510,0	7.053,2	4.195,1	5.811,2	4.933,6	8.480,9	7.271,6	4.589,8	3.643,3	1.933,7
2001	3.396,6	4.955,7	3.769,0	3.869,7	1.835,6	2.204,3	4.568,8	7.614,6	4.787,7	5.879,8
2002	11.542,2	10.199,0	8.344,4	10.179,7	7.338,4	4.932,9	7.486,2	4.623,5	7.585,4	8.986,6
2003	5.138,1	4.832,6	6.703,4	5.563,6	5.823,3	2.361,4	1.822,3	3.416,3	1.126,1	1.533,8
2004	6.457,0	7.108,9	4.688,3	3.016,9	1.477,6	1.410,3	2.691,9	2.483,3	334,6	1.146,6
2005	7.734,6	5.376,4	2.714,4	4.019,5	2.674,8	4.404,7	4.411,6	2.459,5	1.825,7	3.459,8
2006	6.311,5	5.556,5	6.502,8	5.536,7	3.825,3	4.892,3	3.805,6	2.488,9	4.129,4	8.322,8
2007	5.576,4	3.959,4	3.886,6	2.226,2	1.684,5	2.126,0	2.134,2	2.293,0	1.172,6	3.561,2
2008	7.650,3	6.363,2	1.799,4	2.042,9	3.325,5	3.585,9	5.385,6	2.465,6	3.809,9	4.077,8
2009	7.892,6	6.316,9	10.537,2	10.111,1	6.838,2	7.627,5	8.188,6	3.214,7	5.950,5	3.266,7
2010	3.602,7	2.639,6	3.406,6	4.406,3	3.550,9	2.149,1	3.393,6	6.384,6	7.237,2	4.960,7
2011	5.737,6	4.150,0	1.958,7	895,0	812,5	828,3	1.241,4	976,1	1.959,7	3.477,9
2012	7.343,9	5.496,5	3.767,0	8.118,9	7.259,4	5.802,3	1.883,1	2.485,4	4.700,0	7.466,0
2013	5.947,3	4.715,4	5.594,9	3.186,9	1.748,9	5.451,0	5.106,2	3.204,7	5.643,5	6.490,6
2014	6.172,7	4.850,7	2.363,7	1.853,7	4.577,3	7.536,2	8.376,2	5.729,4	4.588,1	6.376,1
2015	7.828,9	5.998,6	6.535,8	6.246,5	8.908,2	7.742,8	3.203,3	5.525,6	3.959,8	6.051,3
Máximo	11.542,2	10.199,0	10.537,2	10.179,7	8.908,2	8.480,9	8.376,2	9.366,7	9.721,9	9.953,8
Média	6.485,6	5.499,0	4.290,1	4.158,0	4.224,0	4.304,9	4.468,4	4.639,0	4.539,4	5.198,8
Mínimo	2.524,8	2.078,9	724,9	280,4	812,5	828,3	1.241,4	976,1	334,6	1.146,6

Tabela 18 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Encruzilha do Sul, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	2.221,4	3.138,2	1.958,4	1.755,4	4.497,1	4.150,7	3.201,1	7.238,7	6.584,7	4.290,3
1992	2.408,8	3.534,2	897,8	3.023,2	1.405,5	3.291,1	3.174,3	3.906,7	1.983,0	2.999,4
1993	6.175,0	4.203,1	4.137,2	3.175,7	3.462,6	2.424,5	2.074,8	4.751,7	5.536,3	3.158,1
1994	6.027,1	4.890,9	3.692,4	2.695,2	1.846,9	3.196,1	4.359,1	2.690,8	5.487,7	6.740,4
1995	1.687,9	1.670,1	720,6	244,2	2.880,8	5.172,0	5.828,9	5.158,7	4.061,5	2.515,4
1996	5.438,6	4.356,9	1.168,7	1.341,7	1.239,9	709,6	2.230,5	2.733,3	4.061,2	2.677,5
1997	7.450,0	7.780,4	6.919,8	4.817,6	5.440,1	7.544,2	2.944,9	7.381,6	3.190,3	5.227,0
1998	1.446,6	1.625,0	2.748,9	3.261,0	3.367,0	1.769,5	2.249,7	3.368,8	2.621,6	1.498,9
1999	2.849,3	1.493,0	591,6	1.941,5	1.510,0	848,3	1.766,4	2.220,2	2.414,8	5.657,7
2000	6.528,8	4.906,3	2.517,9	1.895,5	3.874,3	6.622,5	6.538,5	4.062,8	3.776,6	2.004,4
2001	4.104,2	4.500,7	4.075,9	4.002,8	960,0	2.295,3	2.419,5	5.513,7	3.363,4	6.848,0
2002	9.156,8	8.936,8	5.752,1	7.827,2	4.967,7	3.241,5	4.478,6	4.633,4	6.297,8	6.285,8
2003	4.429,7	4.249,7	5.725,7	4.544,4	5.177,9	2.654,3	3.612,0	3.687,3	1.258,4	452,4
2004	3.630,1	2.707,4	1.588,9	608,2	591,5	2.090,6	2.649,8	2.187,1	1.575,4	2.779,2
2005	4.782,0	1.775,7	1.112,5	1.525,6	1.363,5	1.946,1	2.102,9	1.492,9	1.339,5	1.472,0
2006	3.603,2	2.457,1	3.614,0	1.114,3	4.441,6	4.406,5	3.198,0	4.329,9	5.254,2	7.022,3
2007	5.302,1	3.441,5	3.864,3	2.466,7	1.480,8	2.494,5	2.936,3	3.177,2	2.537,9	4.279,2
2008	5.068,4	2.787,6	325,4	1.675,1	3.349,6	5.411,9	5.887,1	3.826,3	5.190,7	5.096,8
2009	5.303,4	6.840,5	7.837,2	6.670,8	3.939,4	2.241,6	3.784,2	4.090,9	4.437,7	2.346,0
2010	1.606,3	1.397,9	1.676,8	2.383,7	1.746,1	1.901,2	3.905,0	5.298,3	4.263,9	2.964,2
2011	4.456,8	2.712,5	1.423,0	1.186,1	1.696,0	1.103,8	1.989,5	3.095,2	2.325,3	2.429,6
2012	3.392,1	2.663,7	2.791,9	2.513,5	3.900,6	4.861,8	1.500,3	3.189,2	4.078,8	1.961,8
2013	4.779,3	4.352,4	3.988,1	2.840,7	2.150,2	4.509,9	4.715,9	4.756,0	5.928,0	5.733,0
2014	4.741,7	4.669,5	2.936,1	4.924,6	5.216,0	4.855,0	6.417,8	3.031,9	2.504,2	2.257,8
2015	7.022,9	6.578,7	6.280,5	4.217,5	5.471,5	2.752,4	1.168,8	4.722,5	4.013,5	4.971,7
Máximo	9.156,8	8.936,8	7.837,2	7.827,2	5.471,5	7.544,2	6.538,5	7.381,6	6.584,7	7.022,3
Média	4.544,5	3.906,8	3.133,8	2.906,1	3.039,1	3.299,8	3.405,4	4.021,8	3.763,5	3.746,8
Mínimo	1.446,6	1.397,9	325,4	244,2	591,5	709,6	1.168,8	1.492,9	1.258,4	452,4

Tabela 19 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Ibirubá, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1994	8.098,6	7.409,0	4.147,6	3.300,7	4.522,8	6.334,1	5.906,4	3.003,0	6.578,5	6.685,2
1995	2.325,6	1.333,0	526,7	255,2	1.991,1	1.860,7	6.821,5	7.859,0	7.587,5	7.254,3
1996	7.646,7	5.442,0	3.755,2	1.531,9	1.986,4	741,2	1.702,4	4.178,4	2.746,8	1.091,5
1997	9.273,3	9.221,6	7.883,4	4.846,9	7.841,5	8.317,4	5.180,1	9.515,7	8.439,3	7.076,6
1998	4.653,3	2.674,6	923,9	1.906,1	4.924,9	2.506,2	1.993,9	2.214,2	3.582,1	3.399,9
1999	4.377,1	3.690,7	475,2	1.945,3	1.180,2	1.619,7	3.430,2	3.688,6	2.528,4	5.132,5
2000	8.956,3	6.514,9	4.592,2	2.987,5	5.167,1	8.071,7	6.982,9	4.432,0	3.579,1	1.837,4
2001	3.343,6	4.859,5	3.500,7	3.078,2	1.411,7	1.342,7	3.550,6	7.063,7	4.877,3	6.236,9
2002	11.083,6	9.966,9	7.416,9	9.567,6	7.193,1	6.375,2	6.810,4	5.731,4	5.892,7	6.996,4
2003	6.428,7	6.686,2	7.873,7	7.284,4	7.694,6	4.716,0	3.224,6	4.566,0	2.183,6	844,2
2004	5.175,6	6.469,1	3.547,8	2.942,9	1.483,2	2.198,3	2.599,8	1.296,4	483,8	1.166,7
2005	7.524,2	5.428,4	2.661,3	3.605,5	2.461,5	2.475,9	4.672,5	2.235,9	2.292,9	3.096,7
2006	6.646,4	5.299,5	5.431,8	3.239,3	2.209,3	3.154,0	3.018,5	2.400,6	3.662,4	7.118,3
2007	5.775,4	4.148,5	3.879,5	2.319,4	2.848,7	3.151,2	2.679,9	3.757,9	1.989,9	3.381,1
2008	7.190,8	6.007,1	965,7	1.210,2	3.637,9	5.047,6	4.696,7	3.591,0	5.150,5	5.192,2
2009	7.920,4	7.065,2	10.090,8	9.139,0	4.748,0	6.553,1	7.022,1	3.314,9	5.889,1	2.281,6
2010	4.084,7	3.449,2	4.764,4	4.602,7	2.767,8	.	.	.	.	.
Máximo	11.083,6	9.966,9	10.090,8	9.567,6	7.841,5	8.317,4	7.022,1	9.515,7	8.439,3	7.254,3
Média	6.500,2	5.627,4	4.261,0	3.750,8	3.768,8	4.029,0	4.393,3	4.303,0	4.216,5	4.299,5
Mínimo	2.325,6	1.333,0	475,2	255,2	1.180,2	741,2	1.702,4	1.296,4	483,8	844,2

Tabela 20 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Iraí, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	1.875,5	2.073,9	2.726,2	3.829,0	4.964,5	3.376,1	3.521,8	7.948,3	7.604,1	6.882,5
1992	5.480,5	4.618,1	4.223,4	2.659,9	1.950,0	1.895,4	4.694,1	5.408,4	2.130,1	4.042,5
1993	4.438,8	5.774,2	3.789,5	4.588,0	1.716,3	2.163,0	5.635,5	7.014,5	6.508,7	5.243,5
1994	6.408,7	5.750,9	2.555,7	3.004,1	2.285,8	5.553,5	4.018,7	2.442,5	3.587,1	5.980,1
1995	3.556,1	1.828,8	916,7	1.456,7	2.945,6	4.548,8	5.807,6	7.335,4	6.411,8	4.330,0
1996	7.286,9	6.772,8	3.944,3	3.947,7	5.315,2	2.797,9	3.689,0	4.895,8	4.566,2	2.465,5
1997	7.053,4	7.026,8	6.532,1	4.435,7	6.890,3	7.769,0	6.061,2	8.989,2	6.470,5	7.169,2
1998	4.765,1	3.345,5	556,1	2.583,6	4.192,0	1.951,3	4.170,9	3.712,8	3.309,9	2.062,6
1999	3.728,8	3.398,8	1.420,1	3.064,5	3.667,9	1.935,9	4.997,3	4.781,4	2.873,5	3.844,1
2000	6.378,4	3.647,2	2.203,3	1.856,8	4.611,4	5.254,1	6.002,1	5.825,0	3.980,5	1.208,3
2001	1.530,4	1.654,5	1.814,5	2.168,1	268,2	677,8	3.297,1	2.167,8	1.373,9	2.627,9
2002	9.399,0	7.145,2	8.631,1	6.637,7	5.139,6	4.433,9	4.035,1	3.876,8	7.126,2	5.749,2
2003	4.522,9	4.018,8	3.579,9	4.090,6	5.996,9	3.173,9	4.081,4	4.017,4	1.471,4	2.046,6
2004	6.061,4	4.752,4	2.102,5	1.241,4	2.032,3	3.423,6	2.148,4	410,5	1.310,4	1.902,0
2005	4.750,2	2.146,3	2.621,9	1.565,5	3.213,8	3.844,3	3.496,7	2.325,0	1.968,2	1.837,0
2006	3.196,1	2.872,5	2.921,0	1.078,4	4.114,2	3.043,1	3.969,3	3.215,7	4.180,4	2.458,6
2007	5.744,5	5.525,4	3.506,8	2.583,8	2.278,1	2.923,2	1.156,2	2.865,4	2.370,6	4.143,7
2008	5.905,6	3.984,4	665,3	2.660,2	2.268,5	3.187,0	1.608,0	2.355,0	3.497,1	1.666,9
2009	6.137,0	5.538,6	8.474,9	7.223,4	5.736,6	5.210,2	4.235,3	3.149,8	5.019,4	3.215,5
2010	3.866,8	2.641,9	2.737,9	4.783,6	1.979,1	1.548,1	5.372,9	6.961,0	5.251,8	3.222,0
2011	3.650,0	2.244,9	2.341,4	753,8	1.506,8	1.371,7	1.023,8	704,1	2.763,7	1.969,8
2012	5.009,3	2.872,3	2.903,1	5.273,4	5.455,4	3.823,6	1.317,8	2.806,8	4.955,9	6.604,5
2013	4.792,2	1.987,3	5.995,0	4.937,2	3.082,3	4.128,8	2.752,7	2.349,7	5.624,1	6.234,9
Máximo	9.399,0	7.145,2	8.631,1	7.223,4	6.890,3	7.769,0	6.061,2	8.989,2	7.604,1	7.169,2
Média	5.023,4	3.983,5	3.354,9	3.322,8	3.548,3	3.392,8	3.786,6	4.154,7	4.102,4	3.778,6
Mínimo	1.530,4	1.654,5	556,1	753,8	268,2	677,8	1.023,8	410,5	1.310,4	1.208,3

Tabela 21 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Júlio de Castilhos, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1984	6.464,2	5.959,8	3.077,4	3.242,6	3.087,0	5.263,9	2.515,3	3.174,3	2.082,8	1.670,0
1985	1.387,2	1.680,4	4.018,6	3.965,0	4.736,2	6.964,5	6.394,0	6.336,8	5.478,2	5.334,4
1986	2.740,7	3.333,4	4.695,1	2.564,7	2.741,3	4.309,9	4.413,2	6.186,3	7.052,2	7.495,2
1987	3.929,1	4.161,3	2.690,9	1.421,4	3.081,1	5.086,3	4.315,6	3.661,0	3.400,7	4.239,2
1988	2.400,5	3.507,1	7.297,4	5.620,8	4.567,8	2.832,2	2.079,4	4.414,1	1.877,1	1.820,4
1989	1.436,1	2.367,7	2.913,7	4.545,5	5.275,1	5.551,3	4.644,0	5.331,0	7.192,2	5.612,6
1990	4.641,1	2.064,9	988,9	669,1	2.434,6	4.196,8	3.484,6	2.409,2	3.652,9	3.399,6
1991	4.066,7	2.663,4	1.516,7	2.026,3	4.348,9	4.735,0	1.823,5	2.409,5	4.646,8	5.766,6
1992	4.269,1	1.531,1	2.305,2	3.982,0	1.123,1	3.021,9	4.141,1	3.634,2	1.738,0	3.594,1
1993	5.454,7	4.294,4	5.465,9	4.246,4	4.312,4	4.974,0	2.832,0	2.394,4	1.639,2	5.428,0
1994	7.172,1	4.068,1	9.343,8	8.029,6	5.871,6	7.759,6	6.654,1	4.241,9	4.230,0	4.035,4
1995	5.123,7	4.674,9	1.702,9	1.874,3	827,4	2.500,1	5.264,9	4.475,0	5.212,4	2.898,7
1996	7.317,6	5.832,9	5.889,8	6.147,0	3.863,4	3.479,2	4.615,1	3.888,9	618,8	3.343,9
1997	8.740,5	8.093,5	8.430,0	6.191,3	4.851,1	5.826,8	4.789,0	6.590,0	4.280,7	2.374,4
1998	6.230,7	6.990,2	2.677,8	4.609,7	4.049,2	6.258,2	5.303,8	2.013,4	2.304,5	3.359,3
1999	5.604,3	3.437,5	863,0	4.354,1	3.357,8	2.940,0	3.250,6	5.563,5	5.352,8	8.076,9
2000	5.924,4	5.538,9	2.439,5	3.166,3	4.015,4	5.210,5	6.704,4	5.679,3	7.045,3	3.714,0
2001	6.340,6	4.007,4	6.061,2	6.195,7	3.639,2	3.069,4	4.144,6	5.189,2	2.114,6	2.727,4
2002	6.459,5	6.214,7	6.167,4	8.130,5	6.070,6	6.828,6	6.479,1	7.101,3	6.777,0	5.658,6
2003	6.215,7	8.488,1	9.232,8	5.577,6	7.545,0	3.264,8	2.256,7	3.476,5	797,6	1.810,5
2004	5.894,1	6.774,0	4.542,5	3.308,5	1.372,2	1.363,5	3.107,0	2.707,3	413,0	1.206,3
2005	7.671,0	5.862,6	3.617,0	4.024,8	3.780,1	4.534,4	4.934,7	3.807,4	5.902,0	5.023,2
2006	2.103,0	4.650,1	5.035,8	3.957,7	3.800,6	3.593,8	1.783,9	2.606,5	3.979,7	7.353,1
2007	7.784,2	7.013,1	6.152,6	5.191,3	6.597,8	4.731,8	3.677,0	3.207,9	1.622,1	2.135,2
2008	8.656,7	7.693,7	3.519,2	2.332,4	3.565,4	7.150,6	5.941,5	4.249,5	4.134,1	.
Máximo	8.740,5	8.488,1	9.343,8	8.130,5	7.545,0	7.759,6	6.704,4	7.101,3	7.192,2	8.076,9
Média	5.361,1	4.836,1	4.425,8	4.215,0	3.956,6	4.617,9	4.222,0	4.189,9	3.741,8	4.086,5
Mínimo	1.387,2	1.531,1	863,0	669,1	827,4	1.363,5	1.783,9	2.013,4	413,0	1.206,3

Tabela 22 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Passo Fundo, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	.	.	.	.	8.292,1	5.952,4	5.362,8	8.929,4	5.843,8	9.927,7
1992	6.527,5	7.414,8	4.629,8	6.239,8	4.109,5	4.579,1	6.276,8	7.420,1	5.531,0	5.285,5
1993	5.784,6	6.864,4	7.253,6	7.570,9	4.902,3	2.421,1	3.560,0	5.361,5	7.548,3	4.311,7
1994	8.266,3	7.503,3	5.628,0	3.667,5	4.737,0	7.135,4	5.355,6	3.238,7	3.975,9	4.907,0
1995	4.728,6	2.276,9	2.744,2	1.330,3	1.745,8	2.112,8	6.216,6	7.232,7	3.885,6	2.894,4
1996	7.640,9	6.732,8	3.173,0	2.545,9	5.117,2	4.701,5	5.224,5	5.176,1	3.860,0	1.956,0
1997	8.130,0	7.556,7	8.145,9	4.297,6	4.758,3	8.690,1	7.252,7	10.078,0	8.123,8	8.696,1
1998	5.178,1	5.433,1	2.918,2	2.099,3	6.011,4	3.131,5	5.993,7	5.129,2	4.274,2	2.060,5
1999	4.767,5	3.762,8	3.033,2	4.081,1	3.004,1	1.606,2	4.906,8	3.427,7	2.640,7	6.697,0
2000	8.297,7	6.313,3	3.724,0	2.121,4	4.799,2	7.271,6	7.826,7	7.569,0	5.942,8	1.664,9
2001	4.283,2	2.308,4	4.703,8	5.735,4	4.627,3	2.683,3	2.023,7	4.763,5	4.309,3	6.169,3
2002	10.360,0	9.833,9	6.264,0	8.981,1	8.262,6	5.298,7	6.022,4	5.007,7	8.120,6	7.831,4
2003	7.303,3	6.383,7	6.663,3	7.564,5	7.582,2	5.842,0	3.245,8	4.221,3	2.630,5	1.905,1
2004	6.448,8	6.057,8	2.644,7	2.049,4	1.288,1	1.174,0	2.093,3	2.706,0	1.290,1	1.943,8
2005	7.639,3	5.214,9	5.424,6	3.144,6	2.993,8	3.853,8	5.531,7	4.725,9	6.064,5	6.461,5
2006	3.797,9	4.450,5	5.553,1	5.521,4	3.995,1	5.779,0	5.996,4	5.535,1	5.703,5	7.620,0
2007	7.717,3	6.144,5	5.549,3	4.215,4	5.638,5	6.311,6	2.569,3	5.304,1	2.893,2	4.896,2
2008	7.889,0	7.200,8	2.648,2	1.200,3	1.700,7	2.435,6	3.033,6	2.148,0	5.323,1	3.913,4
2009	6.785,5	4.408,2	9.720,1	8.673,1	5.594,9	4.867,2	5.393,5	2.248,3	3.839,9	1.162,0
2010	4.686,3	3.246,6	2.269,4	6.334,5	5.847,3	5.666,2	5.856,2	6.488,3	7.571,5	4.339,1
2011	5.845,9	5.095,5	3.641,2	1.126,2	1.928,3	2.655,6	2.815,7	10.36,1	2.189,2	3.019,0
2012	4.919,6	4.405,2	1.582,8	3.861,4	5.056,5	5.541,6	1.595,7	2.855,2	6.515,9	6.272,2
2013	5.941,7	4.489,0	4.262,9	3.714,8	2.129,8	4.221,9	4.411,7	2.460,8	5.610,7	6.448,2
2014	5.336,6	4.156,4	4.249,7	5.044,9	6.756,2	7.240,3	7.706,6	3.710,9	3.590,6	3.293,2
2015	9.072,1	7.322,7	10.291,8	9.350,8	9.277,3	8.578,7	4.421,9	7.898,1	7.582,4	8.245,4
Máximo	10.360,0	9.833,9	10.291,8	9.350,8	9.277,3	8.690,1	7.826,7	10.078,0	8.123,8	9.927,7
Média	6.556,2	5.607,3	4.863,3	4.603,0	4.806,2	4.790,1	4.827,8	4.986,9	4.994,4	4.836,8
Mínimo	3.797,9	2.276,9	1.582,8	1.126,2	1.288,1	1.174,0	1.595,7	1.036,1	1.290,1	1.162,0

Tabela 23 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	685,8	1.092,1	922,9	2.804,9	3.884,2	4.162,8	2.044,3	5.191,3	5.085,3	5.476,5
1992	3.299,1	3.627,4	913,1	2.007,0	1.182,8	3.300,7	3.998,7	3.934,5	2.462,3	4.190,5
1993	5.204,1	3.920,8	4.839,1	4.113,4	2.924,3	2.431,6	1.807,2	4.561,5	5.103,8	2.680,3
1994	5.081,0	4.334,0	2603,5	1.662,5	2.293,7	3.205,4	4.420,0	2.868,2	3.688,0	5.647,4
1995	10.87,5	822,9	446,0	210,2	2.237,6	5.187,1	5.267,0	5.084,8	3.821,0	3.374,6
1996	4.321,0	3.038,2	1.286,8	2.640,7	3.651,9	711,7	2.817,7	3.632,2	3.107,8	1.861,6
1997	6.008,6	5.786,3	5.173,9	2.469,0	4.638,3	7.566,3	3.061,7	6.833,7	3.929,5	6.675,1
1998	2.280,5	2.553,7	2.500,2	1.939,2	3.487,4	1.774,6	2.627,1	3.886,4	2.257,4	1.437,1
1999	2.618,7	1.736,2	353,6	711,3	962,7	850,8	3.443,4	2.811,2	3.520,3	4.535,5
2000	6.552,4	5.623,1	5.181,0	4.386,8	5.707,6	6.641,8	5.449,0	3.227,8	2.979,3	1.683,9
2001	3.209,9	2.768,2	2.019,5	1.610,6	867,1	2.302,0	2.557,5	4.181,1	2.285,2	5.145,4
2002	7.451,5	5.466,5	5.152,2	5.199,0	2.667,1	3.251,0	4.474,0	4.141,8	5.616,3	6.869,9
2003	3.834,5	4.018,7	4.583,8	3.478,7	3.924,9	2.662,1	574,3	1.860,8	495,2	807,5
2004	3.103,7	3.442,3	1.539,9	765,0	1.005,0	2.096,7	1.168,2	1.557,7	753,8	974,4
2005	4.625,8	2.925,0	932,9	1.944,8	728,8	1.951,8	4.398,6	1.655,4	1.513,1	2.019,9
2006	2.975,0	1.879,9	3.140,2	1.733,0	2.677,2	4.419,3	4.062,1	1.939,2	2.575,3	5.498,4
2007	2.528,9	2.512,9	1.626,5	1.806,4	2.177,5	2.501,8	2.652,0	1.681,4	2.347,5	3.660,3
2008	4.353,5	2.788,3	296,7	842,2	923,9	5.427,7	3.003,3	1.492,7	3.967,7	4.138,8
2009	3.929,4	6.000,9	7.623,2	7.483,2	4.683,5	2.248,1	3.874,3	1.179,9	3.154,7	1.057,3
2010	1.365,9	10.38,0	2.155,3	3.414,2	2.626,4	1.906,8	2.207,6	3.850,4	3.197,7	1.852,6
2011	2.023,1	1.334,3	764,6	304,2	539,5	1.107,0	1.953,4	2.876,2	1.570,7	1.754,5
2012	4.643,2	2.843,3	2.795,4	3.892,3	5.052,6	4.876,0	939,6	1.867,8	2.782,7	4.263,6
2013	3.592,7	3.954,8	3.942,0	2.620,8	2.222,5	4.523,0	2.837,6	1.783,2	3.284,2	3.373,5
2014	3.386,4	3.665,0	1.371,0	4.238,6	5.252,1	4.869,2	5.560,1	2.872,9	3.500,9	3.303,6
2015	5.583,9	5.550,6	5.310,1	2.971,4	5.234,8	2.760,4	1.159,4	3.748,4	4.542,0	3.827,4
Máximo	7.451,5	6.000,9	7.623,2	7.483,2	5.707,6	7.566,3	5.560,1	6.833,7	5.616,3	6.869,9
Média	3.749,8	3.308,9	2.698,9	2.610,0	2.862,1	3.309,4	3.054,3	3.148,8	3.101,7	3.444,4
Mínimo	685,8	822,9	296,7	210,2	539,5	711,7	574,3	1.179,9	495,2	807,5

Tabela 24 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para Santa Rosa, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1984	6.553,7	2.425,8	1.391,8	1.107,7	818,1	3.729,3	3.605,9	2.573,4	3.214,8	4.600,1
1985	8.025,1	8.300,2	4.428,5	7.704,0	6.367,4	6.684,1	2.861,4	3.475,1	4.815,8	5.020,8
1986	2.373,1	3.231,7	2.964,8	2.942,0	5.449,8	4.627,0	2.991,9	3.332,8	3.658,9	6.081,7
1987	2.675,0	537,1	882,8	1.549,6	1.958,2	4.314,6	5.334,1	4.610,7	2.660,5	4.281,7
1988	5.458,1	6.373,2	5.349,8	5.549,6	2.958,2	4.037,1	1.860,1	1.943,6	2.090,9	980,8
1989	9.148,7	9.006,7	7.507,4	8.019,1	7.145,3	6.325,4	4.434,2	3.214,5	5.476,4	7.488,5
1990	1.264,5	291,3	2.625,9	4.647,4	5.451,3	4.697,5	4.979,3	2.781,6	6.086,6	4.517,8
1991	4.052,6	3.193,8	1.912,7	2.454,5	667,4	585,6	1.042,8	2.847,0	5.288,1	5.146,1
1992	2.968,1	2.027,8	1.720,8	1.021,8	1.864,5	4.873,1	4.463,2	2.391,4	2.095,7	3.296,7
1993	5.142,7	5.380,8	6.773,8	3.904,1	4.805,2	1.823,2	1.709,6	1.467,0	1.923,3	4.159,4
1994	4.988,6	7.162,9	6.860,8	7.086,0	7.676,7	6.580,1	3.089,7	2.158,2	1.933,1	5.784,6
1995	2.390,1	5.166,2	4.400,8	1.179,0	1.440,2	3.337,8	1.977,9	1.402,2	2.008,0	656,5
1996	6.437,3	8.806,3	7.873,4	7.263,3	3.944,9	3.234,8	1.993,3	2.442,9	3.119,4	3.737,1
1997	4.051,9	975,4	971,6	634,4	1.540,3	3.106,1	2.961,1	5.244,6	7.236,4	5.210,1
1998	755,5	393,0	472,0	1.205,7	1.303,9	2.924,8	2.325,8	4.841,1	7.224,3	3.891,8
1999	7.142,6	3.284,3	2.068,9	1.505,4	1.873,6	3.417,7	2.843,9	1.252,2	850,5	1.759,3
2000	6.182,5	4.193,6	1.168,7	1.764,0	3.309,9	4.791,0	6.422,3	5.483,0	2.361,7	1.690,8
2001	4.172,3	2.332,0	5.616,2	6.032,8	2.184,4	1.204,4	1.723,0	2.928,5	3.575,1	2.459,9
2002	9.892,1	7.338,2	6.353,9	6.110,0	2.334,8	1.656,6	4.824,6	7.859,2	7.469,5	6.502,5
2003	6.510,2	8.893,8	5.946,8	4.839,5	4.624,6	2.639,2	1.736,4	2.958,5	2.308,7	560,2
2004	8.075,9	5.906,7	3.903,7	2.895,1	887,4	769,5	825,7	1.210,6	601,5	1.605,4
2005	8.154,7	5.641,1	1.805,2	1.443,4	1.467,5	1.500,7	3.630,3	2.234,2	3.077,0	3.747,7
2006	1.378,6	2.224,3	3.712,7	2.292,2	4.958,4	3.453,7	3.671,7	2.565,1	4.058,1	4.033,3
2007	6.461,8	4.666,2	5.101,3	2.850,4	3.542,9	5.650,6	3.434,2	4.371,2	2.767,1	2.088,1
2008	6.604,8	4.497,4	753,5	3.438,8	3.704,5	7.054,1	4.181,6	4.146,2	3.275,7	5.030,2
Máximo	9.892,1	9.006,7	7.873,4	8.019,1	7.676,7	7.054,1	6.422,3	7.859,2	7.469,5	7.488,5
Média	5.234,4	4.490,0	3.702,7	3.577,6	3.291,2	3.720,7	3.157,0	3.189,4	3.567,1	3.773,2
Mínimo	755,5	291,3	472,0	634,4	667,4	585,6	825,7	1.210,6	601,5	560,2

Tabela 25 - Valores de produtividade penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) na cultura de milho referentes às épocas de semeadura (A) 1 de agosto, (B) 15 de agosto, (C) 1 de setembro, (D) 15 de setembro, (E) 1 de outubro, (F) 15 de outubro, (G) 1 de novembro, (H) 15 de novembro, (I) 1 de dezembro e (J) 15 de dezembro, para São Luiz Gonzaga, estado do Rio Grande do Sul

Ano	Época									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1991	3.468,2	4.765,2	5.049,8	3.432,3	1.072,3	2.167,3	7.635,0	7.668,8	6.569,4	.
1992	4.567,9	6.263,3	2.785,8	2.908,4	1.164,0	1.883,2	4.392,7	4.544,6	2.343,3	4.201,2
1993	7.559,5	6.612,8	6.951,3	6.356,7	4.122,1	2.216,3	2.201,1	6.542,1	7.205,2	3.377,3
1994	7.699,7	7.149,2	4.729,8	2.437,5	3.127,0	3.066,7	4.536,3	1.836,2	3.726,8	6.873,1
1995	2.188,1	905,1	493,0	271,0	1.909,0	3.338,2	5.993,4	7.041,0	5.830,2	6.000,2
1996	8.128,1	6.763,4	4.317,1	3.488,4	4.927,3	2.731,4	1.594,8	4.125,7	5.719,1	4.594,7
1997	7.641,7	6.506,2	4.278,2	1.421,6	4.230,6	7.912,8	4.595,8	8.664,7	6.951,4	7.569,9
1998	6.223,7	3.716,9	1.468,1	1.323,1	2.941,5	1.002,8	1.092,1	3.275,8	4.357,4	1.980,7
1999	5.562,6	4.333,6	1.210,9	1.855,8	1.978,6	906,7	1.696,5	2.924,9	1.234,8	4.918,2
2000	9.087,1	7.339,1	4.362,8	2.534,7	5.822,7	8.076,8	7.500,0	5.261,6	3.733,7	1.076,7
2001	4.698,7	3.582,0	3.001,6	1.302,5	390,2	690,3	1.746,8	4.554,8	2.804,5	3.664,6
2002	10.607,4	9.278,3	7.352,2	7.854,8	6.087,9	3.312,0	4.916,9	4.528,2	6.912,2	4.997,0
2003	5.851,2	4.034,1	6.675,5	6.192,0	6.019,9	2.861,6	791,9	808,0	175,2	830,6
2004	6.722,2	7.069,1	4.835,7	3.447,6	1.899,8	1.466,3	2.240,7	2.072,0	304,4	1.102,7
2005	7.930,9	5.339,6	2.610,5	3.848,2	1.736,3	2.932,3	2.168,9	2.408,5	1.961,9	4.002,2
2006	6.685,8	4.975,8	5.821,6	3.506,7	5.719,3	6.410,1	7.517,9	6.972,4	6.575,1	8.484,3
2007	7.153,4	5.573,0	5.389,9	2.781,8	2.216,3	4.330,7	3.429,4	1.620,1	2.822,5	4.188,9
2008	5.965,0	4.674,3	737,3	1.013,2	1.509,1	1.615,4	4.428,0	2.529,1	4.125,0	3.447,1
2009	6.302,1	5.993,5	10.463,0	10.048,2	7.572,6	7.354,2	6.786,0	2.321,4	6.304,9	3.446,6
2010	3.380,4	2.803,3	1.549,0	2.842,2	3.580,2	3.471,5	2.734,3	4.017,5	5.384,4	1.685,2
2011	5.863,2	5.027,7	2.582,2	741,0	740,8	702,0	780,6	482,0	1.220,6	1.873,8
2012	7.598,3	5.587,3	2.424,1	5.259,2	6.417,9	6.131,8	1.495,5	1.887,0	7.102,3	6.853,6
2013	5.167,9	4.987,8	5.038,5	7.065,2	4.471,4	4.513,1	3.460,2	1.524,5	3.502,2	3.588,5
2014	6.021,1	4.521,6	1.693,5	2.423,9	5.851,6	7.373,1	7.089,7	5.649,4	2.626,3	5.514,3
2015	6.972,6	6.356,2	6.801,0	6.149,2	8.634,0	7.746,2	2.704,4	4.928,4	8.317,7	.
Máximo	10.607,4	9.278,3	10.463,0	10.048,2	8.634,0	8.076,8	7.635,0	8.664,7	8.317,7	8.484,3
Média	6.361,9	5.366,3	4.104,9	3.620,2	3.765,7	3.768,5	3.741,2	3.927,6	4.312,4	4.098,8
Mínimo	2.188,1	905,1	493,0	271,0	390,2	690,3	780,6	482,0	175,2	830,6

A análise de regressão (Figura 37) demonstra que a penalização começa a se tornar maior com o avanço das datas de semeadura para meses mais quentes, este resultado é associado a ocorrência da maior demanda hídrica na fase reprodutiva com o período em que o volume de precipitações pluviométricas é insuficiente para atender a evapotranspiração, confirmado pelo afastamento das curvas de ETc e ETr (Figuras 4 a 13).

Assim através dos modelos matemáticos apresentados na Tabela 26, é possível estimar a produtividade atingível da cultura de milho, com altos coeficientes de correlação.

Figura 37 - Produtividade potencial penalizada pelo *deficit* hídrico (PA, kg.ha⁻¹) ao longo do ciclo da cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul

Tabela 26 - Modelo matemático, coeficiente de correlação e valor p de significância para a produtividade potencial penalizada (kg.ha^{-1}) pelo *deficit* hídrico (mm) ao longo do ciclo da cultura de milho em 10 épocas de semeadura para diferentes municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Deficit hídrico	Modelo	r	p
Bagé	Máximo			ns
	Média	$Y = 4.105,475 - 575,140x + 50,906x^2$	0,91	0,0019
	Mínimo	$Y = 872,260 - 215,414x + 20,557x^2$	0,77	0,0411
Cruz Alta	Máximo	$Y = 12.678,231 - 1.164,790x + 89,732x^2$	0,89	0,0038
	Média	$Y = 7.070,430 - 980,017x + 80,529x^2$	0,92	0,0016
	Mínimo	$Y = 2.945,629 - 708,416x + 53-129x^2$	0,77	0,0379
Encruzilhada do Sul	Máximo	$Y = 10.233,265 - 980,034x + 7-195x^2$	0,8	0,0264
	Média	$Y = 4.779,799 - 580,476x + 51,677x^2$	0,78	0,0386
	Mínimo	$Y = 3.248,172 - 1.871,224x + 375,578x^2 - 21,512x^3$	0,87	0,0283
Ibirubá	Máximo	$Y = 11.818,766 - 869,043x + 48,595x^2$	0,81	0,0247
	Média	$Y = 7.115,996 - 1.011,135x + 76,888x^2$	0,89	0,0043
	Mínimo			ns
Iraí	Máximo			ns
	Média	$Y = 26.622,030 - 1.943,286x + 349,637x^2 - 18,348x^3$	0,98	0,002
	Mínimo	$Y = 2.123,130 - 540,783x + 46,508x^2$	0,77	0,0444
Júlio de Castilhos	Máximo	$Y = 95,955 + 13,596x - 0,955x^2$	0,81	0,0236
	Média	$Y = 311,582 + 40,148x - 3,288x^2$	0,99	0,0001
	Mínimo	$Y = 141,350 + 9,266x - 1,028x^2$	0,89	0,0037
Passo Fundo	Máximo			ns
	Média	$Y = 6.789,629 - 655,130x - 49,371x^2$	0,88	0,0001
	Mínimo	$Y = 3.979,911 - 821,650x + 55,752x^2$	0,88	0,0024
Santa Maria	Máximo			ns
	Média	$Y = 4.586,407 - 1.015,998x + 175,684x^2 - 8,705x^3$	0,85	0,0438
	Mínimo			ns
Santa Rosa	Máximo	$Y = 10.743,403 - 1.031,892x + 72,939x^2$	0,92	0,0016
	Média	$Y = 5.788,728 - 765,153x + 56,882x^2$	0,95	0,0003
	Mínimo			ns
São Luiz Gonzaga	Máximo	$Y = 11.335,076 - 705,046x + 40,613x^2$	0,81	0,0218
	Média	$Y = 7.071,274 - 1.082,472x + 82,832x^2$	0,93	0,0008
	Mínimo	$Y = 2.224,121 - 586,799x + 44,776x^2$	0,78	0,0360

ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.6. Necessidade e estratégias de manejo de irrigação

Na Tabela 27 é possível observar que houve diferenças significativas entre as estratégias de manejo de irrigação entre locais e épocas de semeadura configurando uma interação fatorial significativa. Para a interpretação dos resultados foi aplicado o teste de

Tukey a 5% de probabilidade, para o fator local, o qual está representado nas Tabelas 27, 28 e 30, e análise de regressão para o fator época o qual é apresentado nas Figuras 38, 39 e 40, bem como seus respectivos modelos nas Tabelas 29, 31 e 34.

Tabela 27 - Desdobramento da análise de variância para produtividade sob condição irrigada (P_i , $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), lâmina de irrigação (L_i , $\text{mm} \cdot \text{ciclo}^{-1}$) e ganho de produtividade (GP , $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$) simulados para a cultura de milho em diferentes locais e datas de semeadura em função da estratégia de manejo de irrigação

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio do erro		
		PA	L_i	GP
Manejo	2	11.688.887.160*	57.261.579,9*	94.670,23*
Época	9	18.843.321*	365.181,8*	950,58*
Local	9	73.783.326*	697.917,0*	5655,82*
Manejo <i>versus</i> Época	18	12.696.471*	78.112,7*	534,26*
Manejo <i>versus</i> Local	18	11.127.609*	73.209,9*	7222,64*
Época <i>versus</i> Local	81	375.629 ^{ns}	4.033,5*	95,03*
Manejo <i>versus</i> Época <i>versus</i> Local	162	273.106 ^{ns}	821,7 ^{ns}	34,46 ^{ns}
Repetição	24	22.091.157*	202.138,5*	107,13*

*Significativa e ns não significativo a 5% de nível de erro.

4.6.1. Produtividade sob condição irrigada

A irrigação deficitária tem sido amplamente investigada como uma estratégia de produção muito valiosa e sustentável em regiões secas, ou com a ocorrência de períodos de seca de curta duração. Esta prática busca maximizar a produtividade da água, ou seja, estabilizar ao invés de maximizar os rendimentos (GEERTS; RAES, 2009), os mesmos autores destacam ainda que esta prática requer um conhecimento preciso da resposta da cultura ao estresse hídrico, pois a tolerância à seca varia consideravelmente de acordo com o genótipo e o estágio fenológico, assim para a otimização destas estratégias deve-se combinar pesquisas a campo com a modelagem da produtividade da água da cultura.

A produtividade sob condição irrigada se manteve entre 6.000 e 8.000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para o manejo de irrigação A, entre 11.000 e 12.000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para o manejo B e de 8.000 a 10.000 para o manejo C, assim foi possível concluir que as maiores produtividades foram obtidas com a disponibilidade hídrica mantendo a CAD acima de 80% do seu valor ao longo de todo o ciclo da cultura de milho.

As diferentes estratégias de manejo de irrigação proporcionaram incrementos na média geral de todos locais e épocas de semeadura na ordem de 70% manejo A, 180% Manejo B e 129% manejo C. A partir deste resultado pode se inferir que a adoção da prática

de irrigação apresenta diferentes potenciais de incremento de rendimentos, e sua escolha deve estar associada a disponibilidade de recursos hídricos locais.

Trabalhos a campo tem demonstrado que o ganho de produtividade com a adoção de sistemas de irrigação, a exemplo de Pegorare et al. (2009) com a adoção de estratégias de irrigação baseadas no atendimento da ETc ao longo de todo o ciclo da cultura de milho promovem incrementos significativos na produtividade, no entanto os ganhos em receita líquida não apresentaram vantagens econômicas, assim a adoção de estratégias de irrigação deficitária baseada no atendimento das necessidades hídricas em períodos de maior demanda hídrica, a exemplo deste trabalho tendem a gerar maior rentabilidade aos produtores.

Outro panorama que vem fomentando a determinação de estratégias de manejo de irrigação mais eficientes quanto ao uso da água é a preocupação global com o uso da água potável pela agricultura que chega a cerca de 70% (FAO, 2007). Assim trabalhos como o de Kang, Shi e Zhan (2000), na China Payero et al. (2006), nos Estados Unidos da América, Farré e Faci (2009) na Espanha, Igbadun et al. (2008) na África destacam a preocupação com a rápida escassez dos recursos hídricos em regiões irrigantes destes países.

Uma recente estimativa realizada por Valipour (2014), demonstra que as áreas equipadas com sistemas de irrigação no mundo podem crescer 70% até o ano de 2035 e 99% até 2060. Estes resultados apontam a necessidade que há de se aumentar a produção em razão da eficiência de uso da água.

O presente trabalho traz contribuições significativas a estratégia de manejo de irrigação, sendo observado que irrigação para manter a CAD a 80% ao longo de todo o ciclo (Manejo B) consome uma lâmina média de 431 mm e mantém a 81% da produtividade potencial, ao passo que a suplementação no estágio reprodutivo mantendo a CAD a 80% entre o início da Floração e o final da Maturação Fisiológica (Manejo C) consome 170 mm e pode manter a produtividade em 67%, e a irrigação suplementar ao longo de todo o ciclo baseada no fator de depleção da água no solo (Manejo A) é capaz de manter a produtividade em 51% com um consumo médio de 160 mm.

A irrigação deficitária tem condições de viabilizar sistemas de irrigação em várias regiões produtoras de milho, observa-se que o manejo C, proporciona incremento de produtividade na ordem de 194% para Bagé, 102% em Cruz Alta, 147% em Encruzilhada do Sul, 113% para Ibirubá, 135% em Iraí, 116% em Júlio de Castilhos, 92% em passo Fundo, 159% para Santa Maria, 146% em Santa Rosa e 116% no município de São Luiz Gonzaga, em relação a produtividade atingível.

Em se tratando das épocas de semeadura, a Figura 38 demonstra que o mês de agosto e dezembro apresentam tendência de maior produtividade, sendo visível a inflexão da curva a partir das semeaduras na segunda quinzena de setembro a início de dezembro para os manejos A e C. Já o manejo B foi responsável pelas maiores produtividades irrigadas, independente da época de semeadura, sendo ainda que este apresentou grande estabilidade ao longo das datas, com tendência de redução da Pi com o atraso da semeadura.

Pandey, Maranvelli e Admou (2000), ao estudarem o efeito da irrigação deficitária na produtividade de milho obtiveram reduções na ordem de 11,1% na produtividade quando a irrigação foi limitada na fase vegetativa, 22,6% na fase vegetativa e reprodutiva e ainda 52% quando o *deficit* foi imposto apenas na fase reprodutiva, corroborando com os resultados aqui obtidos, em que a não suplementação da demanda hídrica na fase vegetativa promoveu menor impacto sobre a produtividade Manejo C quando comparado a suplementação ao longo de todo o ciclo no manejo A.

Tabela 28 - Efeito da estratégia de manejo de irrigação sobre a produtividade sob condição irrigada (Pi, kg.ha⁻¹) simulada (17 a 25 ciclos) para a cultura de milho em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Produtividade sob condição irrigada		
	Manejo A	Manejo B	Manejo C
Bagé	6.663,83 Dc*	11.368,24 Aa	8.545,25 Fb
Cruz Alta	7.218,46 Bc	11.510,78 Aa	9.678,45 Ab
Encruzilhada do Sul	6.719,54 Dc	11.094,03 Ba	8.823,62 Db
Ibirubá	7.036,87 Cc	11.516,25 Aa	9.652,91 Ab
Iraí	6.674,49 Dc	11.200,88 Ba	9.056,84 Cb
Júlio de Castilhos	7.260,63 Bc	11.420,01 Aa	9.409,84 Bb
Passo Fundo	7.473-16 Ac	11.544,08 Aa	9.768,79 Ab
Santa Maria	6.048,32 Ec	11.111,25 Ba	8.680,05 Eb
Santa Rosa	6.609,81 Dc	11.022,98 Ba	9.256,51 Bb
São Luiz Gonzaga	6.665,81 Dc	11.131,45 Ba	9.309,63 Bb

* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 38 - Produtividade sob condição irrigada média (P_i , kg.ha⁻¹) em função da estratégia de manejo de irrigação para a cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul

Tabela 29 - Modelo matemático, coeficiente de correlação e valor p de significância para a produtividade sob condição irrigada (Pi, kg.ha⁻¹) em função do manejo de irrigação para a cultura de milho em 10 épocas de semeadura em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Manejo	Modelo	r	p
Bagé	A	$Y=7.638,226-481,250x+43,441x^2$	0,87	0,0056
	B	$Y=11.327,628+30,783x-3,343x^2$	0,88	0,0046
	C	$Y=9.325,072-257,004x+16,459x^2$	0,97	0,0001
Cruz Alta	A	$Y=8.375,872-531,951x+45,930x^2$	0,86	0,0084
	B	$Y=11.298,100+114,862x-10,885x^2$	0,85	0,0109
	C	$Y=10.206,972-124,505x+4,058x^2$	0,92	0,0012
Encruzilhada do Sul	A	$Y=7.616,648-410,137x+35,289x^2$	0,83	0,0160
	B			ns
	C	$Y=9.662,230-288,228x+19,393x^2$	0,97	0,0001
Ibirubá	A	$Y=8.499,682-602,954x+47,674x^2$	0,88	0,0054
	B	$Y=11.384,752+83,754x-9,016x^2$	0,87	0,0001
	C	$Y=10.377,416-201,276x+9,469x^2$	0,87	0,0056
Iraí	A	$Y=8.053,002-922,526x+155,143x^2-7,624x^3$	0,84	0,0451
	B	$Y=11.099,010+58,539x-6,460x^2$	0,84	0,0129
	C	$Y=9.592,166-172,363x+9,975x^2$	0,85	0,0099
Júlio de Castilhos	A			ns
	B			ns
	C	$Y=9.866,685-138,734x+7,897x^2$	0,89	0,0031
Passo Fundo	A	$Y=8.463,853-411,917x+33,024x^2$	0,87	0,0064
	B	$Y=11.509,219+31,601x-3,698x^2$	0,78	0,0339
	C	$Y=10.296,355-145,567x+7,003x^2$	0,92	0,0013
Santa Maria	A			
	B			ns
	C	$Y=9.224,78-193,355x+13,473x^2$	0,89	0,0033
Santa Rosa	A			ns
	B			ns
	C	$Y=10.086,964-265,206x+16,316x^2$	0,97	0,0001
São Luiz Gonzaga	A	$Y=7.992,240-529,302x+41,139x^2$	0,84	0,0140
	B	$Y=10.867,018+153,836x-15,130x^2$	0,9	0,0025
	C	$Y=9.639,971-0,047x-8,595x^2$	0,91	0,0016

ns = não significativo a 5% de probabilidade.

4.6.2. Lâmina de irrigação

A Tabela 30 traz os resultados das simulações da lâmina de irrigação obtidas para cada estratégia de manejo, assim, é possível observar que a estratégia A foi responsável pelos

menores valores acumulados com uma média de 160,7 mm, ao passo que o manejo B deteve o maior valor, com uma lâmina média de 431,5 mm e a estratégia C com lâmina intermediária acumulou 170,7 mm ao longo de todo o ciclo de cultivo simulado.

Dentre os municípios analisados, Bagé apresentou as maiores lâminas de irrigação, ao passo que Passo Fundo, Santa Rosa e Júlio de Castilhos apresentaram as menores lâminas acumuladas. Köpp et al. (2015) realizaram a determinação da necessidade de irrigação através da ETc, sendo que observaram valores de lâmina mínima 189, média de 393 e máxima de 551 mm, valores próximos dos aqui apresentados para a cultura de milho, sendo a época de semeadura de 15 de outubro responsável pelos maiores valores em relação as datas de implantação da cultura.

A Figura 39 e as Tabela 30 e 31 revelam que para o presente trabalho também as semeaduras de outubro necessitaram de maior lâmina de irrigação, sendo este resultado melhor observado no manejo B. As demais estratégias apresentaram uma distribuição homogênea, sendo o que todas tiveram em semeaduras de agosto a menor lâmina simulada.

Tabela 30 - Efeito da estratégia de manejo de irrigação sobre a lâmina de irrigação (Li, mm.ciclo⁻¹) simulada (17 a 25 ciclos) para a cultura de milho em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Lâmina de irrigação		
	Manejo A	Manejo B	Manejo C
Bagé	219,60 Ba*	504,36 Aa	194,56 Ca
Cruz Alta	131,04 Dc	403,96 Ae	160,44 Bb
Encruzilhada do Sul	167,40 Bc	451,32 Ac	174,52 Bb
Ibirubá	139,59 Cd	417,41 Ad	167,99 Bb
Iraí	168,06 Cc	475,97 Ab	187,63 Ba
Júlio de Castilhos	133,78 Cd	405,60 Ae	152,55 Bb
Passo Fundo	117,57 Ce	387,08 Af	147,01 Bb
Santa Maria	195,52 Bb	494,48 Aa	191,88 Ba
Santa Rosa	141,44 Cd	368,52 Ag	158,32 Bb
São Luiz Gonzaga	143,85 Cd	426,63 Ad	179,86 Bb

* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 39 - Lâmina de irrigação média (L_i , mm.ciclo^{-1}) estimada em função da estratégia de manejo de irrigação para a cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul

Tabela 31 - Modelo matemático, coeficiente de correlação e valor p de significância para a lâmina de irrigação (Li, mm.ciclo⁻¹) em função do manejo de irrigação para a cultura de milho em 10 épocas de semeadura em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Manejo	Modelo	r	p
Bagé	A	$Y=144-180+29,590x-2,268x^2$	0,97	0,0001
	B	$Y=391,013+54,3782x-4,824x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=151,693+28,391x-2,942x^2$	0,98	0,0001
Cruz Alta	A	$Y=70,373+22,400x-1,624x^2$	0,95	0,0001
	B	$Y=260,240+59,688x-4,794x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=128,013+21-147x-2,178x^2$	0,94	0,0001
Encruzilhada do Sul	A	$Y=112,220+23,598x-1,938x^2$	0,94	0,0006
	B	$Y=307,493+163,568x-5,345x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=141,333-23,131x-2,442x^2$	0,94	0,0005
Ibirubá	A	$Y=71,760+25,844x-1,915x^2$	0,95	0,0003
	B	$Y=264,494+63,079x-5,024x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=128,801+23,496x-2,323x^2$	0,86	0,0073
Iraí	A	$Y=115,333+24,699x-2,088x^2$	0,94	0,0004
	B	$Y=383,021+45,927x-4,076x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=172,724+16,346x-1,877x^2$	0,89	0,0038
Júlio de Castilhos	A	$Y=95,955+13,596x-0,955x^2$	0,81	0,0236
	B	$Y=311,582+40-148x-3,288x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=141,350+9,266x-1,028x^2$	0,89	0,0037
Passo Fundo	A	$Y=76,528+14,217x-0,958x^2$	0,89	0,0039
	B	$Y=267,965+49,757x-4,008x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=126,349+15,644x-1,692x^2$	0,9	0,0024
Santa Maria	A	$Y=137,233+23,738x-1,877x^2$	0,94	0,0005
	B	$Y=389,546+51,406x-4,618x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=164,060+21,678x-2,374x^2$	0,97	0,0001
Santa Rosa	A	$Y=77,700+23,987x-1,771x^2$	0,95	0,0003
	B	$Y=232,040+52,496x-3,954x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=121,240+21,654x-2,130x^2$	0,97	0,0001
São Luiz Gonzaga	A	$Y=61,865+29,117x-2,0284x^2$	0,98	0,0001
	B	$Y=251,628+68,476x-5,235x^2$	0,99	0,0001
	C	$Y=116,922+33,126x-3,095x^2$	0,93	0,0008

ns = não significativo a 5% de probabilidade.

4.6.3. Ganho de produtividade

A adoção de uma estratégia de irrigação pode levar o produtor a diferentes resultados, o discernimento para escolha do melhor sistema deve levar sempre em consideração a

margem de lucro real ao produtor e o uso racional dos recursos naturais. Assim, neste trabalho são observadas respostas quadráticas e cúbicas, com aumento do ganho de produtividade em decorrência do avanço das épocas de semeadura, em decorrência do melhor atendimento hídrico em períodos de maior luminosidade e temperatura.

Assim as informações geradas revelam que além da irrigação promover incremento de produtividade, ela viabiliza o cultivo em períodos considerados desfavoráveis ou impróprios devido ao risco hídrico (Figuras 34 e 35). Portanto a adoção da prática de irrigação para o estado do Rio Grande do Sul, pode gerar um incremento médio na produtividade de 23 kg.mm^{-1} . Logo, ao desenvolver um estudo de sua viabilidade, tanto produtor quanto projetista, podem relacionar o local, com a época mais favorável de semeadura, prevendo o ganho médio decorrente da estratégia que se pretende adotar com os modelos propostos na Tabela 33.

A suplementação com *deficit* aqui descrita pela estratégia de manejo C apresentou os maiores ganhos de produtividade (Tabela 32), sendo que a mesma foi crescente de agosto para dezembro (Figura 40), em decorrência das melhores condições de radiação solar e temperatura, resultando em maior atividade metabólica. Em Santa Rosa foram observados os maiores ganhos ($34,34 \text{ kg.mm}^{-1}$) e Iraí e São Luiz Gonzaga, os menores ($27,15$ e $27,66 \text{ kg.mm}^{-1}$).

No manejo B, foram obtidos menores ganhos relativos a lâmina de irrigação. Esse resultado é justificado pela alta lâmina necessária para o referido tratamento (Tabela 30). Sendo assim, para o manejo B, Santa Rosa apresentou os maiores valores de ganho de produtividade (na ordem de $19,6 \text{ kg.mm}^{-1}$).

Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Ben et al. (2016), que ao trabalhar com diferentes lâminas de irrigação na cultura de milho, observaram um aumento da produtividade até 100% da ETc, no entanto a partir de 75% da ETc a produtividade se estabilizou, logo, é possível observar que a maior eficiência de aproveitamento da água em retorno produtivo não se deu com as maiores lâminas de irrigação, sendo que no mesmo trabalho a lâmina de 125% da ETc reduziu a produtividade média.

Parizi et al. (2016), ao simularem o efeito de diferentes estratégias de irrigação para a cultura de milho com o modelo calibrado para o município de Santiago-RS, observaram que o ganho de produtividade foi reduzido ao passo que houve maior disponibilidade hídrica ao longo de todo o ciclo, assim observaram que irrigações superiores a 70% da lâmina de chuva tendem a reduzir a produtividade de água tanto na produção de grãos como na produção de massa seca.

Em condições de disponibilidade hídrica limitada à estratégia C, apresenta-se como uma ferramenta que pode incrementar o ganho de produtividade de 34,34 a 27,15 kg.mm⁻¹ nas regiões estudadas, sendo que essa estratégia permite atingir até 77% da produtividade potencial da cultura de milho.

Em trabalho desenvolvido por Paredes et al. (2014), utilizando diferentes modelos para determinar a produtividade deplecionada, e os comparando com as produtividades obtidas a campo, revelam que a metodologia utilizada neste trabalho, pode ser utilizada com grande precisão (6,8% de erro) para determinar a produtividade atingível e assim simular situações contrastantes, a exemplo das estratégias de irrigação.

Fang et al. (2014), ao quantificarem a produtividade da cultura de milho e da eficiência de uso da água com base em irrigações deficitárias com diferentes níveis de suplementação na fase vegetativa e reprodutiva, observaram que a reposição da ET_c na fase reprodutiva de 100% de e 60% para a fase vegetativa apresentaram a maior produtividade dentre os tratamentos, assim como maior produtividade de água. Assim os autores também concluíram que a satisfação da exigência de água da cultura durante o estágio reprodutivo é mais importante do que durante o estágio vegetativo para alcançar alta produtividade de grãos e condições de água limitada.

Benjamin et al. (2015) desenvolveram trabalho para quantificar os efeitos da irrigação deficitária acumulativos na produção de biomassa e de grãos na cultura de milho em dois sistemas de manejo do solo e concluíram que a irrigação deficitária, resultou em produtividades inferiores, mas que, no entanto, a adoção de prática de manejo do solo que promovem maior armazenamento de água pode compensar este *deficit*, minimizando a diferença em relação suplementação hídrica completa.

Tabela 32 - Ganho de produtividade (GP, kg.mm⁻¹) em função da estratégia de manejo de irrigação simulada (17 a 25 ciclos) para a cultura de milho em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Ganho de produtividade		
	Manejo A	Manejo B	Manejo C
Bagé	17,67 Bb*	16,76 Bb	29,18 Ca
Cruz Alta	18,72 Bb	16,42 Bc	29,82 Ca
Encruzilhada do Sul	19,12 Bb	16,62 Bc	29,99 Ca
Ibirubá	17,77 Bb	16,47 Ac	29,79 Ca
Iraí	16,79 Bb	15,21 Cc	27,15 Da
Júlio de Castilhos	24,25 Ab	17,34 Bc	32,77 Ba
Passo Fundo	20,31 Bb	16,48 Bc	31,25 Ca
Santa Maria	15,16 Cb	16,13 Bb	29,07 Ca
Santa Rosa	20,65 Bb	19,60 Ab	34,34 Aa
São Luiz Gonzaga	16,57 Bb	15,88 Bb	27,66 Da

* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 40 - Ganho de produtividade (GP, kg.mm⁻¹) em função da estratégia de manejo de irrigação para a cultura de milho em (A) Bagé (25 ciclos), (B) Cruz Alta (25 ciclos), (C) Encruzilhada do Sul (25 ciclos), (D) Ibirubá (17 ciclos), (E) Iraí (23 ciclos), (F) Júlio de Castilhos (25 ciclos), (G) Passo Fundo (25 ciclos), (H) Santa Maria (25 ciclos), (I) Santa Rosa (25 ciclos) e (J) São Luiz Gonzaga (25 ciclos), estado do Rio Grande do Sul

Tabela 33 - Modelo matemático, coeficiente de correlação e valor p de significância para a ganho de produtividade (GP, kg.ha⁻¹) em função do manejo de irrigação para a cultura de milho em 10 épocas de semeadura em dez municípios do estado do Rio Grande do Sul

Local	Manejo	Modelo	r	p
Bagé	A	$Y=22,7755-1,865x+0-134x^2$	0,82	0,0204
	B	$Y=18,0346-0,5917x+0,051x^2$	0,78	0,0001
	C	$Y=33,458-2,723x+0,278x^2$	0,92	0,0016
Cruz Alta	A	$Y= 14,364+3,331x,0,610x^2+0,031x^3$	0,85	0,0375
	B			ns
	C	$Y=23,927+1,745x,0,0964x^2$	0,86	0,0080
Encruzilhada do Sul	A	$Y= 18,324+2,729x -0,804x^2+ 0,055x^3$	0,92	0,0065
	B	$Y=19,072-0,977x+0,076x^2$	0,81	0,0220
	C	$Y=33,5102-2,407x+0,252x^2$	0,89	0,0028
Ibirubá	A	$Y= 8,511+7,396x -1,517x^2+0,089x^3$	0,91	0,0094
	B	$Y= 11,633+3,730x-0,760x^2+0,045x^3$	0,90	0,0117
	C	$Y=24,6572+0,940x,0,0018x^2$	0,84	0,0127
Iraí	A			ns
	B	$Y= 12,623+2,360x-0,5296x^2+0,033x^3$	0,92	0,0059
	C	$Y= 19,987+5,113x-1,1270x^2+0,074x^3$	0,89	0,0166
Júlio de Castilhos	A			ns
	B	$Y=18,424-0,751x+0,079x^2$	0,84	0,0151
	C	$Y=29,985-0,338x+0,121x^2$	0,94	0,0007
Passo Fundo	A	$Y= 13,807+6,237x-1,365x^2+0,042x^3$	0,88	0,1850
	B	$Y= 14,405+1,974x-0,464x^2+0,030x^3$	0,92	0,0052
	C	$Y=27,557-0,100x+0,081x^2$	0,92	0,0016
Santa Maria	A			ns
	B	$Y= 17,881-0,860x+0,077x^2$	0,86	0,0093
	C	$Y= 32,304-2,546x+0,2797x^2$	0,95	0,0002
Santa Rosa	A			ns
	B			ns
	C	$Y=33,405-1,309x+0,211x^2$	0,93	0,0008
São Luiz Gonzaga	A	$Y= 9,067+5,925x -1,130x^2+0,061x^3$	0,86	0,0361
	B	$Y= 11,425+3,661x -0,758x^2+0,045x^3$	0,89	0,0187
	C	$Y=24,097-0,181x+0,0667x^2$	0,79	0,0314

ns = não significativo a 5% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Pela metodologia proposta, conclui-se que há necessidade de irrigação em todas as localidades e épocas estudadas.

A evapotranspiração potencial da cultura de milho variou de 473 a 593 mm.ciclo⁻¹, ao passo que o *deficit* hídrico foi de 143 a 360 mm entre os locais estudados, com maior valor observado na semeadura de outubro.

Os valores de *deficit* hídrico acumulados para os municípios analisados foram de: (i) Bagé: 312 mm, (ii) Cruz Alta: 239 mm, (iii) Encruzilhada do Sul: 260 mm, (iv) Ibirubá: 247 mm, (v) Iraí: 286 mm, (vi) Júlio de Castilhos: 215 mm, (vii) Passo Fundo: 206 mm, (viii) Santa Maria: 302 mm, (ix) Santa Rosa: 240 mm e (x) São Luiz Gonzaga: 264 mm.

Nas condições de capacidade de água disponível variável ao longo do ciclo, e profundidade efetiva do sistema radicular máxima de 50 cm, o excedente hídrico manteve-se superior ao *deficit* hídrico em todas as localidades e épocas estudadas.

A antecipação da semeadura para o mês de agosto resultou nas maiores produtividades em condições de sequeiro, em média 4967,83 kg.ha⁻¹,

A estratégia de manejo de irrigação que promoveu a maior produtividade sob condição irrigada foi a que manteve a uma capacidade de água disponível a 80% ao longo de todo o ciclo da cultura de milho.

Os maiores ganhos de produção foram obtidos com a adoção de sistema de irrigação deficitário, com manutenção da capacidade de água disponível a 80% no período compreendido entre o início da floração e o início da maturação fisiológica da cultura de milho (30,1 kg.mm⁻¹).

Para as condições do presente trabalho, pode-se concluir que a produtividade potencial da cultura de milho sofreu uma redução de 71% em decorrência do *deficit* hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnica 136, Sete Lagoas, setembro de 2010.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and drainage, 1998. 297 p.
- AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de LATOSSOLOS e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico nas microrregiões de Teresinha e Litoral Piauiense**. 2000. 566 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- AYDINSAKIR, K. et al. (Ed.) The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 128, p. 65-71, 2013.
- BARRETT, J.W.H.; SKOGERBOE, G.V. Effect of irrigation regime on maize yields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 104, p. 179-194, 1978.
- BASSOI, L.H. et al. Distribuição do sistema radicular de milho em terra roxa estrutura latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, p. 541-548, 1994.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 24-30, 2012.
- BEN, L.U.B. et al. Influence of irrigation levels and plant density on "second-season" maize. **Revista Caatinga**, Mossoró, vol. 29, n. 3, p. 665-676, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1983-21252016000300665&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 10 fev. 2017.
- BENJAMIN, J. G. et al. Cumulative deficit irrigation effects on corn biomass and grain yield under two tillage systems. **Agricultural Water Management**, v. 159, p. 107-114, 2015.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico de milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Córdoba, v. 1, p. 23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS. Ascar, 2014. 84 p.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Nino Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 423-432, 2005.

BETRÁN, F.J. et al. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 51-65, 2003.

BONECARRÉRE, R.A.G. **Adaptação do método da zona agroecológica para simulação estocástica da produtividade da cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 200 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BORG, H.; GRIMES, D.W. Depths development of roots with time: an empirical description. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 1, p. 194-197, 1986.

BRASIL. Ministério da agricultura e reforma agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**. Passo Fundo, ano 4, v. 3/4, p. 37- 48. 2008.

BRUNINI, O. et al. Riscos climáticos para a cultura de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001.

BRYANT, K.J. et al. (Ed.). Simulating corn yield response to irrigation timings: validation of the Epic model. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, p. 237-242, 1992.

ÇAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 1-6, 2004.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:789-796, 2005.

CARDOSO, W.S. et al. Indústria de milho. In: BORÉM, A.; RIOS, S.A. (Ed.). **Milho biofortificado**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 173-195.

CARLESSO, R. Manejo del riego y asesoramiento al regante: riego suplementario y siembra directa. In: PAYSANDÚ, U.Y.; GIMÉNEZ, L. et al. (Org.). **Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas**. Montevideu: INIA, 2010. cap. 9, p. 103-114.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção**. Brasília: CONAB, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 20 fev. 2017.

CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1)

CUNHA, N.G. et al. Estudo de solos do município de Encruzilhada do Sul-RS. Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 2005.

CUNHA, N.G. et al. Estudo de solos do município Iraí-RS. Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica - 104, 2010.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison. v. 52, p. 272-274, 1960.

DIDONET, A.D. et al. Crescimento e desenvolvimento de milho: acúmulo de massa seca do grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 36, n. 3. p. 447-456, 2001.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979a. 212 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água na produtividade das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979b. 193 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1984. 144 p.

DURÃES, F.O.M. et al. Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcaes. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2004. 17 p. (Circular Técnica, 39).

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Indicators of water stress in corn (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Sciences**, New York, v. 64, n. 3, p. 537-546, 1984.

ECK, H.V. Effects of water deficits on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 6, p. 103-140, 1986.

FANCELLI, A.L. Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre planta de milho. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 13, n. 13, p. 20-23, 2015.

FANCELLI, A.L. Estratégias de manejo. Piracicaba: USP/Esalq/LPV, 2013. 180 p. (material de aula)

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANG, Q.X. et al. Quantifying corn yield and water use efficiency under growth stage-based deficit irrigation conditions. **Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water**, n. practicalapplic, p. 1-24, 2014.

FAO. 2007. Climate change and food security: a framework document. Rome: FAO.

FARRÉ, I.; FACI, J.M. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 383-394, 2009.

FIGUEIREDO, M.G. et al. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1-1135>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

FINGER, R. Modeling the sensitivity of agricultural water use to price variability and climate change an application to Swiss maize production. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 109, p. 135-143, 2012.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura de milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FORSTHOFER, E.L. et al. Desempenho agrônômico e econômico de milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 399-407, 2006.

FORSTHOFER, E.L. et al. Desempenho fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1341-1348, 2004.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ALMEIDA, C.X. Compactação de um Latossolo Vermelho de textura argilosa afetando o sistema radicular e a produtividade de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 5, p. 654-665, set/out, 2009.

FRIZZONE, J.A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. **Engenharia Rural**, Jaboticabal, v. 15, n. 1, p. 37-56, 2004.

FRIZZONE, J.A.; SILVEIRA, S.F.R. Análise econômica de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (Ed.) **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Brasília: SRH; Viçosa: UFV; Porto Alegre: ABRH, 2000. cap. 5, p. 449-617.

GADIOLI, J.L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000.

GAVLOSKI, J.E.; WHITFIELD, G.H.; ELLIS, C.R. Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Sciences**, New York, v. 72, p. 361-368, 1992.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.

GILLEY, J.R.; WATTS, D.G.; SULLIVAN, C.Y. **Management of irrigation agriculture with a limited water and energy supply**. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, 1980. 168 p.

GUO, R. et al. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 1185-1194, 2010.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HATTERSLEY, P.W. Characterization of C₄ type leaf anatomy in grasses (Poaceae). Mesophyll: bundles sheath area ratios. **Annual of Botany**, London, v. 53, n. 2, p. 163-179, 1984.

IGBADUN, H.E. et al. Effects of deficit irrigation scheduling on yields and soil water balance of irrigated maize. **Irrigation Science**, v. 27, n. 1, p. 11-23, 2008.

IQBAL, M.A. et al. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 135, p. 61-72, 2014.

JAMA, A.O.; OTTMAN, M.J. Timing of the first irrigation in corn and water stress conditioning. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1159-1164, 1993.

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field crops research**, v. 67, n. 3, p. 207-214, 2000.

KLEIN, C.; KLEIN, V.A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.

KLEIN, V.A. Física do solo. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, v. 3, p. 124. 2014.

KLOCKE, N.L. et al. Field scale limited irrigation scenarios for water policy strategies. **Appl. Eng. Agric.** v. 20, n. 5, p. 623-631, 2004.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 2000. 36p.

KONGYAN, Y. Water saving farming technologies. **New AG International**, Middlesex, p. 46-53, 2005.

KÖPP, L.M. et al. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura de milho em municípios do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 2, p. 235-246, 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. Artes e Textos, 2000. 531 p.

LI, Z.; SUN, Z. Optimized single irrigation can achieve high corn yield and water use efficiency in the Corn Belt of Northeast China. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 75, p. 12-24, 2016.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M.A.V. (Ed.). **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANEEL/MME/MMA.SRH/OMM/PNUD, 1999. p. 73-82.

MAGALHÃES, P.C. et al. **Fisiologia de milho**. Sete Lagoas, EMBRAPA.CNPMS, 2002, 23 p. (Circular Técnica, 22).

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA.CNPMS, 1995. 27 p. (Circular Técnica, 20).

MARCHETTI, V. **Risco e decisão em investimento produtivo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 95 p.

MARCOLIN, C.D. **Uso de funções de pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto**. 2009. 187 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

MAROUELLI, W.A. et al. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V.F. et al. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 157-232.

MARTIN, D.L.; STEGMANN, E.C.; FERERES, E. Irrigation scheduling principles. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMAN, K.H. (Ed.). **Management of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph, MI: ASAE, 1990. p. 155-203.

MATZENAUER, R. et al. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fepagro, p. 105, 2002.

MATZENAUER, R. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. Evapotranspiração da cultura de milho, I: Efeito de épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 9-14, 1998.

MEDEIROS, S.L.P. et al. Relação entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1-10, 1991.

MEYER, S.J.; HUBBARD, K.G.; WILHITE, D.A. A crop specific drought index for corn. I. Model development and validation. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, p. 388-395, 1993.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cadeia produtiva de milho**. Brasília: MAPA, 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acesso em: 6 jan. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria nº 162, 20 de julho de 2016. Dispõe sobre a aprovação do Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2016/2017. **Lex**: coletânea de legislação e jurisprudência, Brasília, MAPA, 2 Trim. 2016.

MOREIRA, J.A.A. Manejo de irrigação para cultura de milho no sistema plantio direto: coeficiente de cultura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Palestras...** Goiânia: ABMS, 2010. CD ROOM.

NAIRIZI, S.; RYDZEWSKI, J.R. Effects of dated soil moisture stress on crop yields. **American Journal of Experimental Agriculture**, Baltimore, v. 13, p. 51-59, 1977.

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Short- and long-term responses of corn to pre-anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 107-113, 1992.

NEWELL, R.L.; WILHELM, W.W. Conservation tillage and irrigation effects on corn root development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 160-165, 1987.

NICOLOSO, R.S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento da produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NICOLOSO, R.S.; et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento da produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NIED, A.H. et al. Épocas de semeadura de milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

NUNES, M.C.M; CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entre sulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas, v. 32, n. especial (2008), p. 2839-2845, 2008.

OLIVEIRA, C.A.O.; LIMA, K.B.O. Panorama recente da oferta e demanda de milho no RS. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 30, 2016, Bento Gonçalves. Anais eletrônicos... Bento Gonçalves: ABMS, 2016. Disponível em: http://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/1280.pdf. Acesso em: 27 fev. 2017.

OLIVEIRA, J.S. **Mineralogia e adsorção de fósforo em solos do rio grande do Sul**. 2015. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2015.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H.; SUERO, E.E. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 87-94, 1995.

PANDEY, R.K.; MARANVILLE, J.W.; ADMOU, A. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 1-13, 2000.

PAREDES, P. et al. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. **Agricultural water management**, v. 135, p. 27-39, 2014.

PARIZI, A.R.C et al. Corn yield under various simulated irrigation depths. *Engenharia Agrícola*, v. 36, n. 3, p. 503-514, 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p503-514/2016>. Acesso em: 10 fev. 2017.

PAYERO, J.O. et al. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 10, p. 1387-1397, 2009.

PAYERO, J.O. et al. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 101-112, 2006.

PEGORARE, A.B. et al. Irrigação suplementar no ciclo de milho "safrinha" sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. [Online]. 2009, v. 13, n. 3 [cited 2017-03-29], p. 262-271. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415.43662009000300007&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1415.4366. <http://dx.doi.org/10-1590/S1415.43662009000300007>.

PEITER, M.X. **Estudo do manejo de irrigação via modelo de simulação**. 1998. 183 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PEREIRA, A.R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PETRY, M.T. **Simulação da necessidade de irrigação no estado do Rio Grande do Sul para compensar perdas por deficiência hídrica para milho, soja e feijão**. 2004. 174 p. Tese (Doutorado Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PILAUÍ, F. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões. RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 283-290, 2012.

PIRES, R.C.M. et al. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2001, v. 1, p. 121-194, (Série Engenharia Agrícola).

QUADROS, M.F.L. et al. Climatologia de precipitação e temperatura. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, edição comemorativa de 10 anos, 2005.

REICHERT, J.M. et al. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009.

RIGHI, E.; BASSO L.A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 12, n. 1, p. 101-117, 2016).

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, p. 21, 1992. Special Report, n. 48.

ROSEGRANT, M.W.; CAI, X.; CLINE, S.A. **Global water outlook to 2025: averting an impending crisis**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute: International Water Management Institute, 2002. 28 p.

SANGOI, L. et al. **Exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 96 p.

SANGOI, L. et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 861-869, 2001.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. *Cadernos de Pesquisa*, São Luís, v. 20, n. especial, 2013.

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, v. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 2003. 200 p.

SASEENDRAN, S.A. et al. Use of crop simulation models to evaluate limited irrigation management options for corn in a semiarid environment. **Water Resources Research**, v. 44, n. 7, 2008.

SENTELHAS, P.C; ORTOLANI, A.A; PEZZOPANE, J.R.M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

SIEGA P.C. **Efeito da época de semeadura na produção de grãos de híbridos de milho**. 2015. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava. PR, 2015.

SOUZA G.M.; BARBOSA A.M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 13, n. 13, p. 30-34, 2015.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition and reactions**. 2 ed., New York, John Wiley & Sons, 1994, 443p.

STONE, L.R. Crop water use requirements and water use efficiencies. In: ANNUAL CENTRAL PLAINS IRRIGATION CONFERENCE AND EXPOSITION, 2003, Kansas. **Proceedings ...** Kansas: Colby, 2003. p. 127-133.

STORCK, L. et al. Duração do subperíodo semeadura, florescimento, crescimento e produtividade de grãos de milho em condições climáticas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo (RBMS)**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 27-39, 2009.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4th ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848 p.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Climatology**, NJ: Drexel Institute of Technology, Centerton, v. 8, n. 1, 1955, 104 p.

TRAORE, S.B. et al. Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 5, p. 1027-1035, 2000.

VALIPOUR, M. Future of the area equipped for irrigation. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 12, p. 1641-1660, 2014.

ZALAMENA, J. et al. Distribuição de agregados em um Argissolo Vernalhe sob diferentes usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. p. 4.