UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Luis Humberto Bahú Ben

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Santa Maria, RS

2018

Luis Humberto Bahú Ben

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS
2018

Ben, Luis Humberto Bahú
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO / Luis Humberto Bahú Ben.- 2018.
106 p.; 30 cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Coorientador: Adroaldo Dias Robaina
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018

1. Receita líquida; 2. custos da irrigação; 3. manejo da irrigação; 4. Zea mays. I. Peiter, Marcia Xavier II. Robaina, Adroaldo Dias III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Luis Humberto Bahú Ben

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 10 de agosto de 2018:

Marcia Xavier Peiter, Dr.ª (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Ana Rita Costenaro Parizi, Dr.ª (IFFAR - Campus Alegrete)

Leonita Beatriz Girardi, Dr.ª (IDEAU – Passo Fundo)

Liane de Souza Weber, Drª. (UFSM)

Sirlei Glasenapp, Dr.ª (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

Dedico esta pesquisa a meus pais Eitor e Lourdes...

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) e à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

À professora orientadora Márcia Xavier Peiter pela oportunidade, carinho, amizade, ensinamento e paciência depositada nesta caminhada.

Ao professor coorientador Adroaldo Dias Robaina, pelos ensinamentos, atenção, amizade e profissionalismo.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade.

À professora Ana Rita Costenaro Parizi pela amizade e aprendizado, e por me conduzir ao início e a trajetória do mestrado e doutorado.

À minha namorada e companheira amada Ana Paula pelo cuidado, carinho, compreensão, incentivo e companheirismo na minha trajetória, sempre me dando forças para seguir em frente.

À minha família: meu Pai, Eitor Bernardo Ben e Minha Mãe, Lourdes Bahú Ben pelo apoio e base de vida em meu percurso.

Aos meus irmãos Bernardo Bahú Ben e Milena Bahú Ben pelo apreço, carinho e apoio.

Aos colegas do laboratório de hidráulica e engenharia de irrigação da UFSM, pela amizade e coleguismo.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Muito obrigado!

“A utopia está lá no horizonte. Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos. Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos. Por mais que eu caminhe, jamais alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para isso: para que eu não deixe de caminhar ”

(Eduardo Galeano 1978, p.201)

RESUMO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO

AUTOR: Luis Humberto Bahú Ben
ORIENTADORA: Marcia Xavier Peiter

Devido ao déficit hídrico, a irrigação é de suma importância para a estabilidade e produtividade da cultura do milho. Porém, devido aos custos envolvidos a análise da viabilidade econômica da irrigação é fundamental para justificar seu investimento. Sobre tudo em híbridos de milho devido sua adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. Assim com este trabalho objetivou-se analisar a produção e a viabilidade econômica da irrigação suplementar em diferentes híbridos de milho. O experimento foi conduzido no município de Santiago/RS, nas safras de 2015/2016 (safra I) e 2016/2017 (safra II) em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco lâminas de irrigação (0, 50, 75, 100 e 125% da ETc), quatro híbridos de milho na safra I e seis híbridos na safra II. Foram avaliados: número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e eficiência no uso da água. Através da função de produção dos híbridos e os custos relacionados e não relacionados à irrigação por aspersão fixa para área de 1 ha, obteve-se a receita líquida (RL) nas lâminas de máxima eficiência técnica (Wm), ótima (Wo) e equivalente (We) e no tratamento sem irrigação e, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e a relação benefício custo (B/C). Além disso desenvolveu-se projetos de irrigação por aspersão fixa para áreas de 1, 3, 5, 10, 15, 20 e 25 ha e declividades da linha de recalque de 7 e 15%, e avaliou-se os custos e a ocorrência de economia de escala. Houve melhor distribuição das chuvas na safra II que na safra I, assim as lâminas de irrigação influenciaram, nas duas safras, a massa de 100 grãos, a produtividade e a eficiência no uso da água e, o número de grãos por espiga na safra I. Verificou-se diferentes funções de produção e Wm entre os híbridos. Em relação a RL, a safra I foi maior para todos os híbridos irrigados, com diferentes valores entre os híbridos. Na safra II, apenas um dos híbridos apresentou maior RL, em relação ao não irrigado. O VPL, TIR e B/C foram variáveis entre os híbridos, as safras e as lâminas. Em relação aos custos para as diferentes áreas, houve ampliação, com o aumento do tamanho da área. Portanto a irrigação aumenta o desempenho produtivo dos híbridos, entre 9,9 e 41% e o manejo técnico da irrigação pode ser realizado entre as lâminas de 90,6 e 105,4% da ETc. Os híbridos AG 9025, P 1630 e o DKB 290 apresentaram melhores desempenhos agronômicos, com produtividades entre 16.281,3 e 13.609,1 kg ha^{-1}. A RL, VPL, TIR e R/C indicam que utilização da irrigação é economicamente viável para a maioria dos híbridos. O manejo econômico da irrigação pode ser realizado utilizando lâminas entre 74,3 e 90,1% da ETc para obter a maior RL, estando dependente do híbrido. O AG 9025 proporcionou a maior RL dos híbridos (entre R$ 2.805,51 R$ 1.804,64 ha^{-1}), e, o aumento do tamanho da área irrigada proporciona deseconomias de escala.

Palavras-chave: Receita líquida; custos de irrigação; manejo da irrigação; *Zea mays*.

ABSTRACT

ANALYSIS THE TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF IRRIGATION IN MAIZE HYBRIDS

AUTHOR: Luis Humberto Bahú Ben
ADVISOR: Marcia Xavier Peiter

Due to the water deficit irrigation is important for the stability of the maize crop productivity. However, due to the costs involved, the analysis of the economic viability of irrigation is fundamental to justify its investment. Especially in corn hybrids due to their adaptation to different growing environments. Thus, this work aimed to analyse the production and economic viability of supplemental irrigation in different maize hybrids. The experiment was conducted in the city of Santiago/RS, in the crops of 2015/2016 (crop I) and 2016/2017 (crop II) in a randomized complete block design with five irrigation depths (0, 50, 75, 100 and 125% of ETc), four maize hybrids in the I crop and six hybrids in the II crop. The number of ears per plant, number of grains per ear, mass of 100 grains, grain yield and water use efficiency were evaluated. Through the hybrids production function and the costs related to and not related to fixed sprinkler irrigation for 1 ha area, the net revenue (RL) was obtained in the maximum efficiency irrigation depths (Wm), optimal (Wo) and equivalent (We) and in the treatment without irrigation, and the net present value (NPV), the internal rate of return (IRR) and the cost benefit (B/C) ratio. In addition, fixed sprinkler irrigation projects were developed for areas of 1, 3, 5, 10, 15, 20 and 25 ha and slopes of the 7 and 15% settling pipes, and the costs and the occurrence of economies of scale. There was a better distribution of rainfall in crop II than in crop I, so irrigation depths influenced, in the two harvests, the mass of 100 grains, productivity and water use efficiency, and the number of grains per spike in the I crop. different production functions and Wm among hybrids. In relation to RL, crop I was higher for all irrigated hybrids, with different values among hybrids. In the second crop, only one of the hybrids presented higher RL, in relation to the non-irrigated. The NPV, IRR and B / C were variable among the hybrids, the crops and the blades. In relation to the costs for the different areas, there was an increase, with the increase of the size of the area. Therefore, irrigation increases the productive performance of the hybrids, between 9.9 and 41% and the technical irrigation management can be performed between the depths of 90.6 and 105.4% of the ETc. Hybrids AG 9025, P 1630 and DKB 290 presented better agronomic performance, with yields between 16,281.3 and 13,609.1 kg ha^{-1}. The RL, NPV, IRR and R / C indicate that irrigation utilization is economically viable for most hybrids. The economic management of irrigation can be performed using irrigation depths between 74.3 and 90.1% of the ETc to obtain the highest RL, being dependent on the hybrid. AG 9025 provided the highest RL of the hybrids (between R$ 2,805.51 and R$ 1,804.64 ha^{-1}), and the increase in the size of the irrigated area provides diseconomies of scale.

Keywords: Net revenue; irrigation costs; irrigation management; *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO
Figura 1 – Croqui experimento de campo para as safras 2015/2016 e 2016/2017 (T0 - 0%; T50 - 50%; T75 - 75%; T100 - 100% e T125- 125% da ETc).....29
ARTIGO 1
Figura 1 - Precipitação efetiva e lâmina de irrigação (100% da ETc) nas safras I e II 48
Figura 2 - Número de grãos por espiga para os híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C) e Status (D) em função das lâminas de irrigação para a safra I.....48
Figura 3. Massa de cem grãos para os híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D) AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II.....49
Figura 4 - Produtividade de grãos dos híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D) AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II.....50
Figura 5 - Eficiência no uso da água dos híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D) AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II.....52
ARTIGO 2
Figura 1 - Precipitação efetiva e lâmina de irrigação (100% da ETc) nas safras I e II 59
Figura 2 - Custo fixo não relacionado a irrigação (CFNRI), Custo fixo relacionado e não relacionado a irrigação (CF), custo total (CT) e receitas brutas (RB) de híbridos de milho em função das lâminas de irrigação e sem irrigação (SI), para as safras estudadas.....65
ARTIGO 3
Figura 1 - Percentual de participação de cada componente no custo total de implantação para declividades (D) e áreas. 86
Figura 2. Custo anual total (R$ ha^{-1}) para os diferentes tamanhos de área e declividades.....89
DISCUSSÃO
Figura 1 - Balanço de água no solo para os diferentes tratamentos de irrigação para as safras 2015/2016 e 2016/2017. 94

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Número de espigas por planta (NEP), Número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (MCG), produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA) de cada híbrido observado nas safras I e II 46

ARTIGO 2

Tabela 1 – Parâmetros da função de produção água-cultura para os híbridos estudados nas safras I e II em relação às lâminas de irrigação (% da ETc) 60

Tabela 2 - Valores de lâminas máxima, ótima e equivalente e suas respectivas receitas líquidas de cada híbrido quando irrigado, nas safras I e II..... 67

Tabela 3 - Valores de lâminas máxima, ótima e equivalente e suas respectivas receitas líquidas de cada híbrido quando irrigado, nas safras 2015/2016 e 2016/2017 67

ARTIGO 3

Tabela 1 - Custo dos aspersores, tubulações, conjunto motobomba e total de implantação (R$ ha^{-1}) para cada área e declividade da linha de recalque (LR) do sistema de irrigação..... 83

Tabela 2 - Custos anuais fixos, fixo total, variáveis e variável total (R$ ha^{-1}) para cada tamanho de área e declividade da linha de recalque (%). 87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**
1.1 REVISÃO DE LITERATURA 16
1.1.1 Considerações sobre a cultura do milho **16**
1.1.2 Irrigação e necessidade hídrica em milho **17**
1.1.3 Híbridos de milho **19**
1.1.4 Viabilidade econômica da irrigação **21**
1.1.5 Viabilidade do investimento **21**
1.1.6 Composição de custos **23**
1.1.7 Economia de escala **24**
1.1.8 Função de produção água-cultura **25**
1.2 MATERIAL E MÉTODOS 28
1.2.1 Experimento de campo e função de produção **28**
1.2.2 Condução do experimento **30**
1.2.3 Equipamento de irrigação e manejo utilizado **31**
1.2.4 Dados meteorológicos **31**
1.2.5 Dados de solo **32**
1.2.6 Dados de planta **32**
1.2.7 Função de produção **33**
1.2.8 Análise estatística **33**
1.2.9 Receita líquida, lâmina ótima e equivalente **34**
1.2.10 Determinação dos custos **35**
1.2.11 Análise da viabilidade do investimento **38**
1.2.12 Economia de escala **39**
2 ARTIGO 1 - ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO **41**
3 ARTIGO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO **56**
4 ARTIGO 3 – COMPONENTES DO CUSTO E ECONOMIA DE ESCALA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA **75**
5 DISCUSSÃO **93**
6 CONCLUSÃO **99**
REFERÊNCIAS **100**

1 INTRODUÇÃO

As transformações ocorridas nas últimas décadas na agricultura brasileira, desencadeadas a partir de novos padrões socioculturais e formatos econômicos produtivos, acarretaram uma ascensão da produção agrícola em geral. Aliado a isso, também observa-se o aumento da demanda alimentícia da população, ocasionada principalmente pelo aumento populacional, ocasionando um avanço gradativo na exploração agrícola com objetivo de elevar a produção de alimentos.

Em virtude de fatores essenciais referentes à planta, ao solo, ao clima e também relacionados a economia, a agricultura é uma atividade que apresenta um grau de risco relativamente alto em relação a outros empreendimentos. Consequentemente, o emprego de técnicas e tecnologias destacam-se com o propósito de aumentar e garantir maiores produtividades das culturas, e, de mesmo modo, proporcionar a redução de riscos dos investimentos aplicados para realização das safras, possibilitando assim, o aumento do retorno econômico dos sistemas produtivos.

Dentre os riscos encontrados na agricultura enfatizam-se principalmente, os relacionados ao clima, considerando em primazia a ocorrência de variabilidade espacial e temporal da distribuição das chuvas, e com isso, a consequente ocorrência de déficit hídrico, que, associado aos custos de produção e variações dos preços de venda dos produtos, tem afetado a rentabilidade das lavouras e causado incertezas aos produtores.

Diante desses aspectos, o emprego da irrigação suplementar ganha ênfase, visto a importância do suprimento da necessidade de água às plantas quando nos casos em que, as dotações pluviométricas não são suficientes para suprir a demanda hídrica das culturas. No entanto, seu uso necessita de uma análise detalhada no que se refere a viabilidade econômica devido principalmente, aos custos relacionados em sua utilização, os quais podem não justificar seu uso.

O Brasil apresenta-se entre os maiores produtores mundiais de grãos, sendo que, em relação aos estados, o Rio Grande do Sul (RS) apresenta-se entre os maiores produtores agrícolas (CONAB, 2018) e, ao mesmo tempo, demonstra grande variabilidade produtiva entre as safras, acarretada pela irregularidade na distribuição pluviométrica, o que tem afetado o retorno econômico das culturas.

Em relação às diversas culturas agrícolas, o milho encontra-se entre as mais cultivadas nas propriedades do Estado do RS. Esta cultura assume cada vez maior importância, devido

seu uso na rotação e diversificação de culturas, pela sustentabilidade das propriedades rurais e ainda pelo estado ser grande produtor de carne e leite, onde o milho entra como principal insumo de alimentação e, com isso, sua produção tem importância estratégica nas propriedades.

Atualmente, as pesquisas têm abordado o desenvolvimento de híbridos de milho que, além de possuir atributos de resistência e tolerâncias fitopatológicas, possuem caracteres agronômicos voltados a altos rendimentos de grãos e, portanto, apresentam uma elevada resposta produtiva quando cultivado em condições hídricas adequadas.

Quando considera-se o melhoramento genético do milho voltado a altos rendimentos, pode-se ressaltar a diferença de produtividade entre os genótipos pelas características genéticas de cada material, também pelo ambiente e o manejo utilizado para cada nível de tecnologia empregada em seu cultivo. Em relação a tecnologias de manejo pode se destacar o uso da irrigação suplementar. Desta forma, estes fatores influenciam consideravelmente a produtividade do milho e, consequentemente, o retorno econômico de uma lavoura.

Em um sistema de cultivo irrigado a variabilidade genética junto com a resposta que cada híbrido irá desempenhar, depende também do manejo da irrigação a ser utilizado, como por exemplo, o uso de lâminas de irrigação reduzidas, ou seja, menores que o total consumido pela cultura. Visto isso, a produtividade técnica econômica de cada híbrido de milho irá variar de acordo com a quantidade de água utilizada. O uso de lâminas de irrigação reduzidas em relação a irrigação plena, pode fazer parte de uma estratégia econômica de minimização de custos, isso devido ao menor consumo de energia com o recalque de água, além da redução do consumo de água. Pode se levar em consideração este manejo devido à redução de custos de aplicação, sem minimização significativa da produtividade das culturas.

Por outro lado, observa-se grande variabilidade nos custos de produção e, também nos custos relacionados ao sistema de irrigação, que podem variar em relação a área irrigada e ao local onde será implantado, devido a topografia do terreno e as características de cada equipamento. Estas variabilidades podem refletir diretamente no retorno econômico da irrigação, que embora possa trazer vários benefícios sobre a produtividade das culturas, a sua implantação e operação deve ser analisada economicamente, afim de esclarecer sua utilização através do estudo das despesas e das receitas envolvidas.

Desse modo, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a produção e a viabilidade econômica da irrigação suplementar em diferentes híbridos de milho, e, os objetivos específicos foram: a) Quantificar a demanda de irrigação suplementar, os componentes de

rendimento, a eficiência no uso da água e obter a função de produção água-cultura para os diferentes híbridos de milho; b) Avaliar os custos de produção relacionados e não relacionados à irrigação suplementar em milho; c) Verificar os custos fixos e variáveis relacionados à irrigação em diferentes cenários de área irrigada e topografia do terreno, considerando um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa; d) Quantificar a ocorrência e a magnitude da economia de escala sobre a variação das áreas irrigadas em sistemas de irrigação por aspersão convencional fixa; e) Identificar cenários com lucro máximo e o intervalo de manejo da irrigação para os diferentes híbridos de milho; f) Analisar a viabilidade econômica do uso da irrigação suplementar via aspersão convencional fixa para diferentes híbridos de milho.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse capítulo apresenta-se uma revisão de literatura sobre a irrigação na cultura do milho, através de uma breve consideração sobre a cultura, os híbridos e a influência da deficiência hídrica e da irrigação. Além disso, serão explorados os fatores que envolvem os custos, a viabilidade econômica e o retorno líquido ao irrigante, a fim de, elucidar a situação das pesquisas realizadas e os conceitos existentes.

1.1.1 Considerações sobre a cultura do milho

A cultura do milho (*Zea mays* L.) possui grande importância mundial devido os seus grãos serem utilizados na indústria alimentícia (animal e humana), bem como na produção de óleos, de elementos espessantes e colantes, e ultimamente a Europa e os Estados Unidos têm incentivado sua utilização para a produção de etanol (XAVIER et al., 2014).

Este cereal é cultivado pelo teor de amido e proteína (61 – 78% e 6 – 12% respectivamente) (STRECKER et al., 1990). De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho no Brasil para a produção animal pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido ser consumido na forma de ração. Além disso, seu grão contém certa quantidade de óleo (3,1 a 5,7 % do peso do grão), embora existam variedades com um teor mais elevado.

Em um cenário mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho, produzindo aproximadamente 6,5% do total produzido no mundo. De acordo com o USDA (2016), na safra 2015-2016 os Estados Unidos lideraram a produção mundial de milho, atingindo um total de 345,486 milhões de toneladas, seguido pela China, com 224,580 milhões de toneladas, e por fim o Brasil, com 67 milhões de toneladas. A cultura do milho (*Zea mays* L.) apresenta grande dispersão geográfica, por ser produzido em grande parte do território nacional. A área total cultivada na safra 2015/2016 foi de 16.645,0 milhões de hectares. O milho é considerado a terceira cultura mais cultivada no Brasil, para o estado do Rio Grande do Sul, a produtividade média de grãos de milho na safra 2017/2018 foi de 6.628 kg ha^{-1} (CONAB, 2018).

Os maiores consumidores de milho no Brasil são os criadores de aves (para corte e postura) e de suínos, que utilizam o milho para a produção de ração (IBGE, 2009). Moraes (2009) relata que entre os vários benefícios a planta de milho pode ser aproveitada

praticamente em sua totalidade, após a comercialização das espigas, os restos da planta podem ser utilizados na incorporação ou como cobertura do solo para plantio direto, ou ainda, ser triturado para compor a silagem para a alimentação animal.

Para o Estado do Rio Grande do Sul, o milho é uma das culturas de grande importância sócio-econômica, principalmente por ser produzido em pequenas e médias propriedades rurais proporcionando a principal fonte de renda a esse segmento de produtores rurais (MARTINS, 2010).

Por outro lado, atrelado a sua importância socioeconômica há na maior parte do Rio Grande do Sul algumas restrições ao cultivo do milho, este fato é caracterizado principalmente devido ao déficit hídrico que ocorre nas principais regiões produtoras, sendo que compreende toda a metade sul e o extremo oeste do Estado (MATZENAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2004).

1.1.2 Irrigação e necessidade hídrica em milho

A disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades da cultura do milho, vários autores destacam que, as oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água (BERGONCI et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004).

O suprimento limitado de água durante a estação de crescimento resulta em déficits de água no solo e nas plantas, atrasando os processos fisiológicos afetando principalmente, o início do emborrachamento, a altura da planta e o crescimento vegetativo do milho com conseqüência na diminuição dos rendimentos de grãos (PAYERO et al., 2009; SINGH et al., 2007).

Wagner et al. (2013) verificaram que a cultura do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade hídrica ao longo do ciclo, sendo que a maior probabilidade de perdas de produção por deficiência hídrica ocorre no estádio da antese-fecundação. Kunz et al. (2007) contemplaram que a deficiência hídrica no milho causa vários efeitos negativos sobre a planta, e afeta diretamente seu rendimento, porém depende do seu estádio de desenvolvimento, do nível da deficiência e da sua duração. Ainda o principal efeito a se manifestar em caso de déficit hídrico é a redução da expansão celular, pois nessas condições o limiar de turgescência para que haja expansão pode não ser atingido, causando o enrolamento das folhas. Deste modo há uma redução da área foliar, diminuindo a absorção da radiação

solar fotossinteticamente ativa e a fotossíntese da planta, o que reduz a produção de grãos (EARL e DAVIS, 2003). Dois dias de déficit hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, enquanto que de quatro a oito dias diminuem em mais de 50% (MAGALHÃES e DURÃES, 2006).

A quantidade de água que a planta consome, perante seu ciclo, é estimada entre 500 e 600 mm, e o consumo diário varia dependendo da temperatura e estágio de desenvolvimento da planta (CRUZ et al., 2010). Souza et al. (2012) estudando a cultivar Eldorado em clima tropical verificaram que o ciclo da cultura no sistema de mono cultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394,1mm e média de 3,46 mm dia^{-1}. Já Almeida (2012) trabalhando com o milho híbrido variedade AG1051 na região de Mossoró verificou um consumo médio por fase de desenvolvimento de 0,8, 3,1, 5,9 e 6,2 $mm.dia^{-1}$, cultivados no período de maio a agosto. Com a mesma variedade e na mesma localidade cultivando no período de novembro a fevereiro obteve valor total de consumo de água de 269,39 mm.

Deste modo, observa-se a importancia da irrigação para a cultura do milho diante de suas necessidades hidricas. Porém, o produtor irrigante deve considerar também os custos relacionados com a irrigação e com a implantação do sistema, devendo analisar se a cultura do milho é economicamente viável (SOARES et al., 2012). Segundo Minuzzi (2012), a irrigação fornece um importante grau de estabilidade para a produção de alimentos devido aos efeitos das estiagens serem suprimidos. De acordo com Andrade et al. (2006), além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, a irrigação proporciona o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de aumentar a densidade de plantio e a possibilidade de uso de cultivares que respondem melhor à irrigação, assim propicia o aumento na produtividade da cultura.

Pavinato et al. (2008), salientam que o cultivo do milho sob irrigação requer algumas alterações nas formas de manejar as lavouras, que são o planejamento de uso intensivo das áreas para compensação do maior investimento realizado quando empregado esta tecnica. Lavouras irrigadas exigem maior investimento em pesquisas, com intuito de suprir a demanda de conhecimento com relação ao manejo de irrigação e consequente avaliação do retorno econômico.

Nesse sentido, Cruz et al. (2010) afirmam que com a irrigação, pode-se aumentar a produtividade do milho para 9.000 kg ha^{-1}, aproximadamente. Do mesmo modo, Parizi (2010), constatou que o uso da irrigação suplementar na cultura do milho aumentou a produção de grãos em 95,4% quando comparado com o tratamento sem irrigação. Já Pegorare

(2009) encontrou com a lâmina suplementar de 608 mm uma produtividade de 6.975 kg ha^{-1}, quando observado o tratamento sem irrigação houve uma produtividade de 2.750 kg ha^{-1}.

Embora vários estudos demonstrem que o uso da irrigação traga aumentos consideráveis na produtividade da cultura do milho, a avaliação econômica se faz necessária para quantificar sua viabilidade, e além disso, oferecer parâmetros para os produtores na tomada de decisão em sua adoção, visto o investimento financeiro que deve ser aplicado para seu uso. Por outro lado, a tomada de decisão em relação a cultivar que será empregada é outro fator a ser considerado no sistema de produção de milho, pois sabe-se que há variabilidade produtiva entre genótipos e podem afetar o retorno econômico.

1.1.3 Híbridos de milho

As cultivares de milho são classificadas em variedades ou híbridos. A variedade possui polinização aberta e compõe um conjunto de plantas com características comuns, material geneticamente estável e de alta variabilidade, o que lhe confere maior estabilidade de produção em relação ao híbrido em condições adversas, porém apresentam menor potencial produtivo. No entanto, o híbrido é caracterizado por sua linhagem genitora, sendo o híbrido simples, por exemplo, obtido a partir do cruzamento de duas linhagens endogâmicas, o que lhe confere alta uniformidade genética, morfológica e fenológica, porém pouca variabilidade genética, necessitando de condições edafoclimáticas favoráveis e disponibilidade adequada de nutrientes para expressar seu alto potencial produtivo (ARGENTA et al., 2003).

O fator produtividade é fortemente influenciado por fatores genéticos, ambientais e de manejo, sendo uma das características mais almejadas nos atuais híbridos de milho destinados para colheita de grãos (KAPPES et al., 2011).

Segundo Scapim et al. (2010), a interação entre genótipo e ambiente, é de suma importância para os melhoristas, pois sua interpretação de cada genótipo pode responder de forma diferente com a mudança do ambiente. Como ambientes distintos, podem-se considerar as diferentes condições de: solo e clima; local; safra; nível de tecnologia (SCAPIM et al., 2000).

A utilização de sistemas de manejo com maior nível tecnológico, como por exemplo: o uso da irrigação, maior aplicação de fertilizantes, dentre outros, constitui uma estratégia que pode contribuir para elevar o rendimento de grãos de milho num determinado local (ARGENTA et al., 2003; SANGOI et al., 2006). Desta forma, a combinação desses fatores

poderá maximizar a exploração dos recursos de cada ambiente, aumentando a produtividade da cultura (ARGENTA et al., 2003). Assim, adequar o tipo de cultivar ao nível tecnológico empregado nas propriedades, contribui significativamente com a melhoria na eficiência de produção das culturas, uma vez que, as características genéticas das cultivares podem interferir na eficiência de utilização dos recursos do meio (SANGOI et al., 2006).

Para Cruz et al. (2010), o primeiro passo na produção de uma cultura é a escolha da cultivar. O rendimento de uma lavoura de milho é o resultado do potencial genético da semente e das condições edafoclimáticas do local de semeadura, além do manejo da cultura. De modo geral, o genótipo é responsável por 50% do rendimento final.

A cultura do milho é caracterizada por exigir uma considerável demanda hídrica e também por ser uma das mais eficientes no uso da água, ou seja, tem uma alta relação de produção de matéria seca por unidade de água absorvida, quando comparado com outras gramineas (SILVA et al., 2012), desde que haja água disponível em quantidade suficiente (SANGOI et al., 2010).

Neste sentido, o produtor deve escolher um híbrido levando em consideração uma série de parâmetros, tais como; tecnologia do híbrido, manejo a ser adodato, (podendo considerar aqui a irrigação), e os tratos culturais. Sempre visando à melhor exploração do potencial genético dos cultivares (CARVALHO et al., 2014).

A adequação do tipo de cultivar ao nível tecnológico empregado nas propriedades contribui significativamente com a melhoria na eficiência de produção das culturas (SANGOI et al., 2006), uma vez que, as características genéticas das cultivares podem interferir na eficiência de utilização dos recursos do meio (BORÉM, 1999). Portanto, a avaliação de híbridos em diferentes ambientes é importante para posicionar as cultivares nos diferentes sistemas de cultivo, em relação aos níveis de investimento tecnológico adotados pelos agricultores (PADILHA et al., 2015).

Deste modo, o uso de cultivares que tenham maior produtividade em manejo irrigados são fatores importantes no sistema de produção do milho (PIZOLATO NETO et al., 2016), porém deve-se considerar o retorno econômico que cada híbrido irá proporcionar, pois além da variabilidade produtiva entre híbridos, há variação considerável entre os preços das sementes de diferentes híbridos. Desta forma, a análise econômica deve ser fator preponderante para a tomada de decisão da escolha do híbrido a ser cultivado (SILVA et al., 2015).

1.1.4 Viabilidade econômica da irrigação

Apesar de haver muitos estudos no Brasil que mostram vantagens técnicas de algumas práticas agrícolas – como a irrigação – existe uma escassez de trabalhos científicos que comprovem a viabilidade econômica. Segundo Silva et al. (2007), a irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos agrícolas, tornando importante o estudo econômico dos componentes envolvidos no sistema de produção irrigado. Embora a irrigação possa trazer inúmeros benefícios aos agricultores, os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando-se sempre que o incremento nos rendimentos sejam maiores que os custos de produção (VILAS BOAS et al., 2011).

Segundo Espíndula Neto (2007), o estudo da viabilidade econômica de um projeto de irrigação traz ao produtor as informações necessárias referentes aos procedimentos no desenvolvimento da adoção da irrigação, tal como atenção aos componentes de manutenção do sistema. Mediante Fernandes (2012), o aumento na produtividade ocasionado pela irrigação, poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, como, muitas vezes, pode não haver um retorno financeiro satisfatório ao investimento executado. Desse modo, tornar-se imprescindível a elaboração de estudos de viabilidade que disponibilizem informações relevantes para a correta tomada de decisão dos produtores, diminuindo as condições de incertezas em relação ao retorno esperado de seu investimento.

Para a análise de um investimento é de suma importância a avaliação dos custos. Segundo Silva et al. (2003), o custo da irrigação pode ser previsto por meio de uma avaliação econômica, na qual se estimam todos os dispêndios e retornos anuais esperados no projeto agrícola. O resultado dessa avaliação econômica indicará se é interessante ou não a implantação de um sistema de irrigação (VILAS BOAS et al., 2011).

1.1.5 Viabilidade do investimento

De acordo com Frizzone e Andrade Júnior (2005), as decisões de investimento resultam de análises das posições econômicas no instante presente, intermediário e futuro. Diversos trabalhos procuraram estimar o custo operacional de produção de uma atividade agrícola, para avaliar os indicadores de lucratividade, nos quais destacam-se a receita líquida,

a renda líquida operacional, o índice de rentabilidade e a taxa de retorno (FURLANETO; ESPERANCINI, 2010).

Conforme Frizzone e Andrade Júnior (2005), os critérios baseados no valor do dinheiro e no fluxo de caixa no tempo são mais coerentes entre si. Para Marchetti (1995), as mais importantes medidas de mérito do investimento ou critérios de análise aplicáveis em análise financeira e econômica são o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), a razão benefício/custo (B/C).

A TIR torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). O VPL referencia os benefícios e os custos ao presente, ou seja, traz os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. A relação B/C atua como indicador que verifica se os benefícios são maiores que os custos (GITMAN, 2002; GUIDUCCI et al., 2012).

Pereira et al. (2015) analisando 3 manejos de irrigação (irrigação plena, com déficit e de salvação) na cana de açúcar em Goiânia, GO em pivô-central rebocável, constatou que a uma taxa de juros de 4%, a receita liquida foi de R$ 1.972,87, R$ 1.379,78 e R$ 984,10 ha^{-1} ano^{-1}, para os manejos respectivamente. Também observou maior VPL na irrigação plena.

Em um experimento em Santa Bárbara do Sul, RS, com o objetivo de quantificar a renda líquida da lavoura irrigada de feijão e avaliar economicamente o sistema de irrigação por pivô central, Jobim et al. (2009), constataram que a irrigação do feijoeiro comum, nas condições ecoclimáticas do Planalto Médio, mostrou-se economicamente viável.

Do mesmo modo, Mousinho (2005) objetivando avaliar a viabilidade econômica da irrigação da cultura do feijão-caupi no estado do Piauí, considerando cultivos irrigados e em sequeiro, observou que o cultivo irrigado foi economicamente viável em todos os cenários analisados. O cultivo de sequeiro apresentou como economicamente viável somente para algumas combinações de localidades, data de semeadura e risco, estando mais condicionado a variabilidade temporal e espacial das chuvas.

Arêdes et al. (2009), analisaram a viabilidade econômica da irrigação na cultura do maracujá, em relação a produção não irrigada em regiões com índices pluviométricos favoráveis à produção, observaram que a irrigação é economicamente viável e superior ao cultivo não irrigado, mesmo nas regiões onde haviam índices pluviométricos favoráveis ao seu cultivo, e, além de ter elevado o retorno econômico, a irrigação ainda reduziu o risco da atividade.

1.1.6 Composição de custos

Os custos são definidos como a soma dos valores de todos os recursos (mão-de-obra, insumos, gastos com combustíveis nas operações mecanizadas, serviços terceirizados, transporte interno, depreciação do maquinário, depreciação das benfeitorias, encargos sociais, seguro agrícola e assistência técnica) utilizados na produção de milho ou outra atividade, em certo período de tempo (REIS, 2002).

Conhecer os custos de produção é fundamental para que o produtor agrícola possa tomar a decisão sobre a melhor combinação de culturas ou criações, além de indicar o sistema de produção mais adequado para cada situação, possibilitando avaliar não somente a rentabilidade da produção, mas também a sustentabilidade do empreendimento (MENEGATTI, 2006). Deste modo, o custo de produção, auxiliará o produtor a planejar futuras ações buscando maximizar o lucro, devendo para tanto aumentar a produtividade quanto minimizar os custos de produção (RICHETTI, 2014).

Para Menegatti e Barros (2007), o cálculo do custo de produção deve considerar os diferentes níveis tecnológicos abrangendo todas as condições de cultivo, sendo estes custos classificados como fixos ou variáveis.

Na irrigação os custos devem incluir todos os associados com a compra do equipamento, operação e manutenção do sistema de irrigação. Adicionalmente ao custo do sistema de irrigação deve ser adicionado outros custos associados com a produção da cultura irrigada (THOMPSON et al., 1983).

Assim, considera-se que os custos fixos são aqueles em que as quantidades de insumos não são alteradas em função do aumento ou decréscimo da quantidade produzida. Já os custos variáveis são aqueles em que as quantidades de insumos acompanham a alteração do volume de produção (CONAB, 2010).

Além disso, Favetta (1998) enfatiza que os custos fixos de um sistema de irrigação compreendem também, sua depreciação e a remuneração do capital investido. Sendo a depreciação o custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados inúteis pelo desgaste físico, ou quando perdem valor com o decorrer dos anos devido às inovações tecnológicas (HOFFMANN et al., 1987). Já de acordo com Zocoler (1998), os custos com reparos e manutenção correspondem ao custo anual necessário para manter o bem de capital em condições de uso.

Frizzone (2007) comenta que os custos fixos em sistemas de irrigação são do tipo amortizáveis e não amortizáveis. Os amortizáveis compreendem a depreciação do sistema de irrigação e os juros sobre o volume de capital investido. O procedimento mais utilizado para calcular os custos fixos amortizáveis consiste em determinar anuidade constante em cada ano de vida do projeto. Os custos fixos não amortizáveis são os de manutenção do sistema de irrigação. Estes compreendem os gastos com conservação, reparação e renovação de elementos deteriorados.

Em relação aos custos variáveis Frizzone, (2007) e Favetta (1998) elucidam que estes se referem à mão de obra, custo da energia utilizada para operar o sistema de irrigação, bem como, em alguns casos o custo da água utilizada para a irrigação entre outros. Estes custos são em função do volume de água requerido que depende da necessidade de água da cultura, da condição climática e da eficiência da irrigação.

Dentre os custos variáveis de um sistema de irrigação, o consumo de energia destaca-se como um dos principais componentes (MELO, 1993; FRIZZONE et al., 1994; BONOMO et al., 2000), pois compreendem aproximadamente 70% dos custos variáveis (MELO, 1993). Isso ocorre segundo Scaloppi (1985), por envolver a quantidade de energia necessária para transportar a água do local de captação à área a ser irrigada, sendo que, o consumo total depende da quantidade de água a ser aplicada, da energia hidráulica exigida pelo sistema de irrigação e da eficiência total do sistema de bombeamento.

1.1.7 Economia de escala

Economia de escala é a propriedade pela qual o custo total médio no longo prazo cai á medida que a quantidade produzida aumenta (MANKIW, 2001).

Se a empresa apresentar retornos crescentes à escala pode-se dizer que ela realiza economias de escala, ou seja, na medida em que se aumenta uma unidade na produção, o custo cresce à taxas decrescentes. Por outro lado, quando o custo é crescente em relação ao aumento da produção, pode se dizer que ela está realizando deseconomias de escala (PINDYCK e RUBINFELD, 1994).

A literatura econômica define economias de escala tanto em termos de custo como de produção. Na perspectiva do custo, há economias de escala nas situações em que o custo médio decresce à medida que a produção se eleva. Na ótica da produção, surgiriam economias

de escala caso o produto aumentasse de modo mais que proporcional ao uso dos insumos (CAETANO, 1990).

Em relação a irrigação Castro Junior (2015) afirma que, normalmente, a medida que se aumenta a área do projeto de irrigação, há uma tendência à diminuição do custo por hectare, devido principalmente à diluição dos custos fixos, desse modo pode-se considerar que ocorre economias de escala, pois enquanto a produção se eleva, os custos se diliuem com esse aumento.

Bonomo et al. (2000), observou-se, para os diferentes sistemas de irrigação que os custos totais médios apresentaram uma tendência de queda com o aumento da área irrigada, tal comportamento deveu-se a redução do custo inicial do equipamento com o aumento da área irrigada, sendo mais acentuado para sistemas por pivô central.

Por outro lado, Vieira et al. (2011) analisando os tipos de irrigação por gotejamento, aspersão convencional, fixa e em malha, em áreas entre 3 e 50 ha, para o cultivo da cultura do café em Minas Gerais, constataram que, para todos os sistemas há uma tendência de aumento do custo unitário (R$ ha^{-1}) com o aumento do tamanho da área irrigada. Neste caso, pode-se considerar que ocorre deseconomias de escala com o aumento da área irrigada.

1.1.8 Função de produção água-cultura

Usualmente o manejo de irrigação é realizado procurando atender plenamente à demanda hídrica dos cultivos, com vista para o aumento da produtividade, independentemente da quantidade de água utilizada (PAZ et al., 2000). Na maioria das vezes, a quantidade de água aplicada para alcançar a máxima lucratividade é menor do que a necessária para atender totalmente a evapotranspiração da cultura. Assim, pode-se aplicar um déficit hídrico controlado, para reduzir os custos com a irrigação e ao mesmo tempo obter uma maior produtividade econômica da água (ENGLISH; NAVAID, 1996). Segundo Blanco et al. (2011), o manejo da irrigação deve ser baseado nos resultados econômicos e não na máxima produtividade técnica.

A análise econômica é complexa pois depende de uma série de fatores econômicos e biofísicos, entre os quais a produtividade esperada da cultura irrigada com limitações hídricas é uma das mais importantes informações (PAYERO et al., 2009). Todavia, os impactos da irrigação deficitária sobre a produtividade e suas relações com os resultados econômicos podem ser negativos ou positivos, pois depende do manejo da irrigação adotado, do

desempenho do sistema de irrigação, dos custos de produção (LORITE et al., 2007), além do preço de venda do produto.

Segundo Vieira et al. (2014), para quantificar os benefícios econômicos da irrigação, é necessário quantificar o aumento esperado na produtividade em função do aumento da água aplicada, representada pela função de produção água-cultura. Se caracterizando um dos elementos básicos para estudos econômicos relativos ao planejamento de irrigação. A partir da função de resposta, é possível obter a solução ótima para uma determinada combinação insumo-produto, que possa maximizar a receita líquida do produtor (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001).

A definição de um intervalo de manejo da água de irrigação, a partir de uma função de produção conhecida, permite a utilização adequada da irrigação. A definição deste intervalo de manejo de irrigação, ao se considerar uma abordagem econômica, pode ser definida como uma estratégia ótima para o manejo da água (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005).

Segundo Figueiredo et al. (2008), eficiência econômica, com caráter maior de "otimização", compreende explicitamente aspectos econômicos, como custos e lucros, que não são normalmente considerados no manejo tradicional da irrigação, que tem sido praticado para maximizar a produtividade. No entanto, irrigar para maximizar o lucro é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar somente para obter o máximo rendimento físico da cultura (FIGUEIREDO et al., 2008). Para estes autores, uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica na aplicação de menores lâminas do que na irrigação plena, mesmo com a consequente redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa.

De acordo com Vilas Boas et al. (2008); Santana et al. (2009); Silva et al. (2008); Oliveira, (2009) o modelo matemático quadrático é o mais comumente utilizado nas análises econômicas das pesquisas agrícolas na obtenção da função de produção. Do mesmo modo, Frizzone e Andrade Júnior (2005) salientam que, geralmente, a produtividade da cultura quando submetida a diferentes lâminas de irrigação, apresenta curva de resposta do modelo matemático do tipo quadrático, bem como, pode apresentar também, comportamento linear. Seus parâmetros são determinados através da análise de regressão.

Desse modo, Vieira et al. (2014) estudando lâminas de reposição de 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da ETc, totalizando (chuva + irrigação) 1.878,4 mm na lâmina de 150% da ETc, no cultivo de cana de açúcar em Jaíba, MG, observaram um comportamento quadrático da

produtividade em relação a água aplicada. Estes autores constataram que a lâmina que proporcionou a máxima produtividade técnica foi de 1.537,2 mm com 112,3 t ha^{-1}, enquanto o máximo rendimento econômico foi obtido com uma lâmina de 1.333,8 mm e 108,5 t ha^{-1}.

Do mesmo modo, Ramos et al. (2012) estudando estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes, verificaram que o intervalo de lâmina de irrigação entre 290 mm a 325 mm foi a que maximizou a receita líquida para a produção de grãos verdes para a cultivar BRS Guariba; por outro lado, quando verificado a cultivar BRS Paraguaçu as lâminas entre 325 a 363 mm, foi a que maximizou a receita líquida.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os métodos e o material empregado nas etapas desenvolvidas para atingir os objetivos propostos, salientando que este trabalho foi dividido em 3 artigos científicos integrados. Deste modo, serão expostos os procedimentos utilizados no experimento de campo e da obtenção da função de produção (Artigo 1); obtenção de custos de produção, da receita líquida, lâmina ótima de irrigação e indicadores econômicos (Artigo 2); realização do dimensionamento de sistemas de irrigação para diferentes tamanhos de áreas e declividades (Artigo 3). A metodologia deste estudo, no que se refere à sua construção escrita, foi norteada pelos aspectos expostos nos procedimentos científicos do Manual de Dissertações e Teses da Universidade Federal de Santa Maria – MDT/UFSM (2015).

1.2.1 Experimento de campo e função de produção

O experimento de campo foi realizado em uma área experimental da Fazenda Liberdade localizado no distrito de Tupantuba, município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul. Cujas coordenadas geográficas são 29º 09’ 50’’ S, 54º 51’ 32’’ O e altitude de 439 m.

O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (MORENO, 1961), é caracterizado como subtropical úmido (Cfa) com temperaturas médias de 17,9 ºC e média de precipitações de 1769 mm. Porém, a distribuição das precipitações durante o período de verão normalmente é irregular, causando períodos de estresse hídrico para as culturas, além do mais, a demanda evaporativa da atmosfera é elevada no período, e, as precipitações normalmente não são suficientes para suprir as necessidades das culturas (NIED et al., 2005).

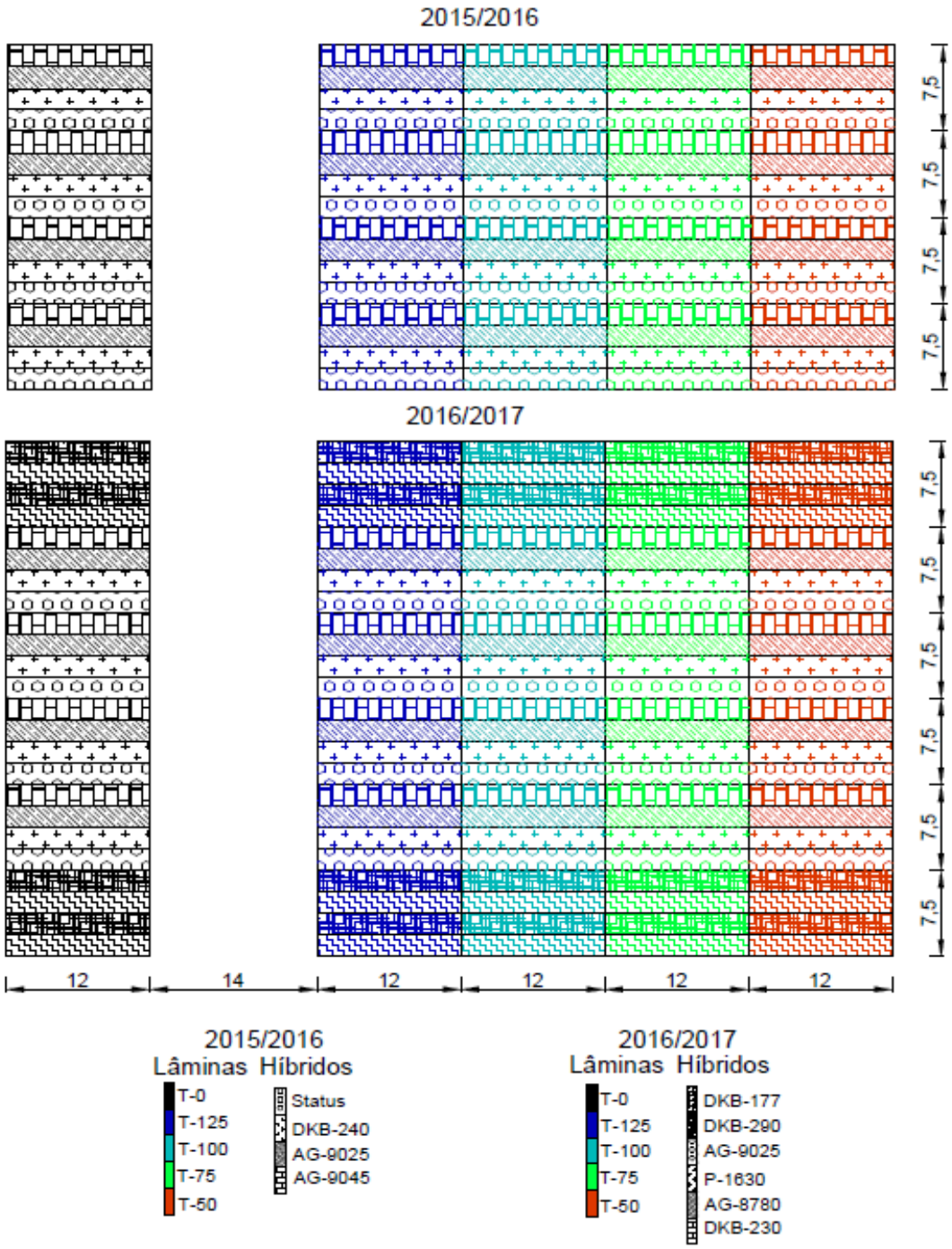
O experimento foi realizado em dois anos agrícolas referente as safras 2015/2016 e 2016/2017, safra I e II respectivamente. A área utilizada para realização do experimento possui medidas de 80 x 70 m, totalizando 5.600 m^{-2}, sendo que foi dividida em parcelas experimentais com dimensões de 2 x 12 m, ou seja, quatro linhas de semeadura com 12 m de comprimento e cada bloco com 7,5 m.

A semeadura do milho foi realizada no dia 05 de outubro de 2015 e no dia 30 de outubro de 2016, com auxílio de uma semeadora direta e espaçamento entre linhas de 0,5 m, onde foram alocadas a quantidade de aproximadamente 8,5 sementes m^{-2}.

O delineamento experimental utilizado foi de Blocos ao Acaso, Bifatorial com 4 repetições, sendo o fator “A” Lâminas de Irrigação e o fator “D” Híbridos de milho. Na figura

1 está representado o croqui experimental com a distribuição dos tratamentos de irrigação e dos híbridos para as safras estudadas.

Figura 1 – Croqui experimento de campo para as safras 2015/2016 e 2016/2017 (T0 - 0%; T50 - 50%; T75 - 75%; T100 - 100% e T125- 125% da ETc).



Fonte: Autor.

Na Safra I os tratamentos do fator “A” possuíam 5 lâminas de irrigação suplementar sendo a reposição de água de: 0 – sem irrigação, 50, 75, 100 e 125% da Evapotranspiração da cultura (Etc). No fator “D” haviam 4 híbridos de milho. Os híbridos utilizados neste experimento foram: Agroceres 9025 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce; Agroceres 9045 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce; Dekalb 240 PRO 3 do tipo simples e ciclo precoce e o Syngenta Status Viptera 3 do tipo simples e ciclo precoce (CRUZ et al., 2015).

Na Safra II, o fator “A” possuiu as mesmas lâminas de irrigação utilizadas no experimento 1. Já o fator “D” era composto de 6 híbridos de milho. Os híbridos utilizados foram o Pionner 1630 Herculex do tipo simples e ciclo superprecoce; Agroceres 9025 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce; Agroceres 8780 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce; Dekalb 177 PRO 3 do tipo simples e ciclo precoce; Dekalb 230 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce e o Dekalb 290 PRO 3 do tipo simples e ciclo superprecoce (CRUZ et al., 2015).

1.2.2 Condução do experimento

Na safra I foi colocado a lanço 2,0 t ha^{-1} de calcário 90 dias antes da semeadura dos híbridos, conforme interpretação da análise química do solo da área experimental, seguindo a recomendação do manual de adubação e calagem do RS e SC, para elevar o pH a 6,5.

Nos dois anos de experimento foi colocado a lanço 15 dias antes da semeadura a quantidade de 80 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl). Já na linha, no momento da semeadura, foi colocada a quantidade de 430 kg ha^{-1} de fertilizante com a formulação 5-18-18 de NPK. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada quando as plantas se encontravam nos estádios v3 e v7 de desenvolvimento, a quantidade colocada foi de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma de ureia por aplicação.

Em ambas as safras, 30 dias antes da semeadura, foi realizada uma dessecação total da área experimental e durante o ciclo da cultura foi realizado mais duas aplicações de herbicidas, a primeira aos 10 DAE e a segunda aos 25 DAE. Para controle de insetos, foram realizadas duas aplicações aos 25 e aos 60 DAE, e, para o manejo de doenças foi realizada duas aplicações de fungicida aos 48 e aos 70 DAE.

1.2.3 Equipamento de irrigação e manejo utilizado

O equipamento de irrigação utilizado foi do tipo aspersão convencional, constituída por uma linha principal medindo 48 m com diâmetro de 75 mm e cinco linhas laterais fixas, medindo 36 m cada, ambos de PVC e diâmetro de 50 mm. O espaçamento entre linhas laterais foi de 12 m, interligadas com engate rápido. Os aspersores foram conectados a estas linhas com espaçamento de 12 m e altura de 2,5 m em relação ao solo.

Os aspersores utilizados foram da marca Naandanjain, modelo 427, giro completo, com um bocal, os quais possuiam diferentes diâmetros para cada linha lateral, com objetivo de distribuir diferentes lâminas de irrigação para cada tratamento. Sendo que, nas linhas um e dois haviam bocais com 4,0 mm de diâmetro, na linha 3 bocais com 3,2 mm de diâmetro e nas linhas 4 e 5 bocais de 2,0 mm de diâmetros.

As lâminas de irrigação foram estabelecidas com base nos dados coletados para o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), que foi verificado após a instalação do equipamento de irrigação, e ajustado com a devida lâmina pré-determinada para cada tratamento de acordo com a combinação do diâmetro, dos bocais, dos aspersores e abertura dos registros de cada linha lateral.

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ETc). Para obtenção da Evapotranspiração de referência (ETo) utilizou-se a equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 1998). As irrigações foram realizadas em turno de rega fixo de 7 dias. A quantidade de água aplicada foi calculada pela multiplicação da ETo e o Coeficiente de Cultura (Kc) diminuindo, se ocorrida, a precipitação efetiva do período. O Kc utilizado foi de acordo com Doorenbos e Kassam (1994).

Para determinação da precipitação efetiva, foi subtraída da precipitação total o escoamento superficial ocorrido, através da metodologia de Millar (1978), sendo que, para as condições do local do experimento considerou-se o valor de 30% de escoamento.

1.2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho foram coletados de uma estação automática, estando localizada a uma distância de aproximadamente, 100 metros do experimento, coordenadas geográfica 29° 03’ 40,38” S e 54° 48’ 44,52” O).

Os elementos meteorológicos determinados diariamente pela estação foram: precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (ºC), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), radiação solar (MJ m^{-2} dia^{-1}), velocidade do vento (m s^{-1}) e a evapotranspiração de referência (mm).

1.2.5 Dados de solo

Foi feita uma coleta de solo da área experimental para realização de análises físicas, físico-hídricas e químicas do solo. As amostras para a determinação das características físicas e físico-hídricas foram retiradas através de uma trincheira em intervalos de 20 cm até a profundidade de 80 cm, sendo encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Em cada um dos pontos de amostragem, foram coletadas amostras deformadas para a determinação da densidade de partícula, e amostras indeformada para determinação da densidade do solo, microporosidade, porosidade total e curva característica de água no solo.

Para determinação das características químicas do solo a área experimental foi dividida em 12 partes, onde de cada parte foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0 cm - 20 cm e logo após foi misturada para compor a amostra total da área. Seguindo a metodologia conforme CQFS (2004). A amostra foi encaminhada para o Laboratório de Análises Químicas dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

1.2.6 Dados de planta

Os dados avaliados em relação a planta foram os componentes de produção, a produtividade e a eficiência no uso da água. Em relação aos componentes de rendimento do milho, foram coletadas espigas de 20 plantas de cada unidade experimental e avaliados: número de espigas por planta (NEP), número de grãos por espiga (NGE) e a massa seca de cem grãos (MCG). Uma vez conhecido os componentes de produção determinou-se a produtividade final de grãos (PG) em kg ha^{-1} através da equação 1:

$$PG = \frac{\text{n° plantas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{n° espigas}}{\text{Planta}^{-1}} \cdot \frac{\text{n° grãos}}{\text{espiga}^{-1}} \cdot \text{massa cem grãos (g)}.0{,}113 \qquad (1)$$

Verificou-se também a eficiência do uso da água, sendo esta referente a quantidade de grãos produzida por metro cúbico de água fornecido por hectare, considerando chuvas e irrigações.

1.2.7 Função de produção

Após a obtenção da produtividade de grãos realizou-se o ajuste da função de produção água-cultura, através de uma equação polinomial de segundo grau (equação 2) conforme Frizzone (2005).

$$Y(W) = a + bW + cW^2 \qquad (2)$$

onde:

Y (W)	- produção de grãos em kg ha^{-1};
W	- lâmina total de água em mm;
a, b e c	- parâmetros da equação.

Após a obtenção da função de produção foi obtida a lâmina de água para produção máxima de grãos (Máxima eficiência técnica) determinada através da equação 3.

$$W_m = \frac{-b}{2c} \qquad (3)$$

onde:

W_m - lâmina que resulta na máxima produtividade técnica (mm).

1.2.8 Análise estatística

Para interpretação dos resultados experimentais foi realizada a análise de variância (ANOVA), em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software SISVAR, versão 9.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG. Quando houve efeito significativo entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey

para o tratamento qualitativo (híbridos) e análise de regressão para os quantitativos (lâminas de irrigação).

1.2.9 Receita líquida, lâmina ótima e equivalente

A receita líquida da produção (RL) foi obtida pela diferença entre o valor monetário total de produção, dos custos não relacionados à irrigação, dos custos fixos e variáveis relacionados à irrigação dado pela equação 4.

$$RL = Y_W\left(a + bW + cW^2\right).P_p - (C_{NRI} + C_{FRI} + C_{VRI}.W) \quad (4)$$

onde:

RL - Receita líquida da produção (R$ ha^{-1});

P_p - preço de grãos de milho (R$ kg^{-1});

Y_w - produtividade em função da quantidade de água aplicada (kg ha^{-1});

C_{NRI} - custos não relacionados a irrigação (R$ ha^{-1});

C_{FRI} - custos fixos relacionados a irrigação (R$ ha^{-1});

C_{VRI} - custos variáveis relacionados a irrigação (R$ mm^{-1}).

A derivada primeira da equação 4 em relação à lâmina de água aplicada permite obter a lâmina de irrigação que corresponde à máxima eficiência econômica (Wo), ou seja, a lâmina ótima de irrigação, representada através da equação 5.

$$Wo = -\frac{b}{2c} + \frac{b}{2c} \cdot \frac{C_{vri}}{p_p} \quad (5)$$

onde:

Wo – Lâmina que corresponde à máxima eficiência econômica (mm).

O preço do produto foi obtido através da publicação da CONAB para o preço médio do Rio Grande do Sul, na média dos dois anos de experimento nos meses referentes ao período de colheita de milho.

Estabeleceu-se um intervalo de lâmina de irrigação, do qual a irrigação é mais rentável. Frizzone e Andrade Junior, (2005) consideram o intervalo entre a lâmina de água para a máxima produtividade física (Wm), como ponto superior do intervalo e, a lâmina de água equivalente à máxima produtividade física (We), como ponto inferior do intervalo, sendo esta a equivalente a receita líquida na lâmina para a máxima produção.

A lâmina equivalente (We) foi estimada pela Equação 6:

$$We=\frac{-B\pm\sqrt{b^2-4AC}}{2A} \tag{6}$$

onde:

A= Pp.b;

B= Pp.b-CVRI;

$C=\frac{Pp.b^2}{4.b}-\frac{CVRI.b}{2.c}$.

1.2.10 Determinação dos custos

Os custos são divididos em: C_{NRI} - custos não relacionados à irrigação; C_{FRI} - custos fixos relacionados à irrigação e C_{VRI} - custos variáveis relacionados à irrigação.

Em relação aos custos não relacionados a irrigação (C_{NRI}), são todos aqueles referentes ao sistema produtivo da cultura, sejam operacionais ou com insumos, construídos de todas as operações e insumos necessários (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra). Os valores que contemplam este custo foram obtidos através de planilha eletrônica disponibilizada pela EPAGRI/CEPA (2017) e adaptado com insumos utilizados para cultivo de milho para alta tecnologia.

Os custos fixos relacionados à irrigação (C_{FRI}), são os custos de aquisição do sistema de irrigação. Este valor foi distribuído ao longo da vida útil do mesmo (R$ ha^{-1}) e pela área irrigada. Este custo está sempre presente, independentemente da lâmina de água aplicada.

Para obter os custos de aquisição do sistema de irrigação, foi realizada através de planilhas eletrônicas a simulação do dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa. Os custos dos equipamentos foram adquiridos através de uma pesquisa em empresas da região.

Considerou-se também à depreciação, à remuneração do capital e ao seguro dos componentes do sistema de irrigação. O custo com depreciação do sistema de irrigação (CD) utilizou-se a equação 7, conforme metodologia proposta pela CONAB, (2010).

$$CD=[(VN-VR)/VUh].HsTr \quad (7)$$

onde:

CD - depreciação do componente do sistema (R$);

VN - valor de aquisição do componente, novo (R$);

VR - valor residual do componente (R$);

VUh - vida útil do componente (h);

HsTr - total de horas trabalhadas por hectare.

O valor residual foi de 20% do valor de compra do sistema. Já a vida útil considerou-se de 20 anos.

O custo de oportunidade de investimento foi calculado como sendo o custo dos juros do mercado financeiro sobre o capital investido, conforme sugerido por Frizzone e Andrade Júnior (2005). O custo dos juros sobre o capital investido (CJ) foi calculado considerando-se a taxa de 6,0% ao ano (CONAB, 2010), aplicados sobre o valor de aquisição dos equipamentos, conforme equação 8.

$$CJ = TAJ \,.\, VAE \quad (8)$$

onde:

CJ - juros sobre o capital investido (R$);

TAJ - taxa anual de juros (%);

VAE - valor de aquisição dos equipamentos (R$).

O custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação também deve ser considerado sendo este pago à seguradora, ou armazenado em uma poupança a fim de restituir futuros gastos com danos que podem ocorrer com o sistema.

Assim, o custo com seguro foi determinado como sendo de 0,35% do valor médio do bem novo, dividido pela área irrigada pelo bem (CONAB, 2010), como na equação 9.

$$CS=\frac{VN}{2}.0,35 \quad (9)$$

Onde:

CS - Custo com seguro (R$);

VN - valor de aquisição do componente, novo (R$);

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação e o número de irrigações, da mão-de-obra empregada e da manutenção do sistema, conforme a equação 10.

$$CVRI = CvE+CvMo+CvMan \quad (10)$$

onde:

CvE - custo variável com energia elétrica em R$,

CvMo - custo com mão-de-obra empregada na irrigação em R$;

CvMan - custo com manutenção dos equipamentos em R$;

O custo variável da energia elétrica foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação (Equação 10).

$$CvE=Pw.Ee.T.w \quad (11)$$

onde:

Pw - potência do conjunto motobomba (Kw h^{-1});

Ee - preço da energia elétrica em R$ Kw^{-1};

T - tempo para aplicação de um milímetro de água h mm^{-1} e w é a lâmina de irrigação mm ha^{-1}.

A determinação da potência necessária para aplicação de um milímetro de água via irrigação foi calculada com os dados do projeto para um hectare.

O valor da energia considerado foi de 0,32 R$ kW h^{-1}, considerando o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Rio Grande Energia, 2017).

O custo de mão de obra foi calculado utilizando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação (Marouelli & Silva, 2011), considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB (2010), como na Equação 12.

$$CvMo=Ni.Ns.0,5.VSMin/220.w/100 \quad (12)$$

onde:

Ni - número de irrigações;

Ns - número de setores do sistema de irrigação;

VSMin - valor do salário mínimo rural em R$.

O número de setores do sistema de irrigação foi de seis, determinado na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado foi de R$ 1.175,15 (Rio Grande do Sul, 2017) e o número de irrigações conforme a necessidade na Safra estudada.

Os valores dos custos com manutenção foram calculados sobre 1% do valor do bem novo do sistema de irrigação, acrescido de 10% do valor gasto com energia (CONAB, 2010), conforme a Equação 13.

$$CvMan=VN.0,01+(CvE/10) \quad (13)$$

1.2.11 Análise da viabilidade do investimento

A análise da viabilidade foi realizada com a relação benefício-custo (B/C) pelo valor presente líquido (VPL) e pela taxa interna de retorno (TIR) sem irrigação e no sistema irrigado considerando a lâmina ótima. Para a análise do investimento construiu-se um fluxo de caixa com taxa de desconto de 6,0% ao ano (CONAB, 2010).

O VPL foi calculado por meio da Equação 14.

$$VPL=\sum_{t=0}^{N}\frac{Ft}{(1+j)^{t}} \quad (14)$$

onde:

VPL - valor presente líquido, em R$ ha^{-1};

j - taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal;

N - horizonte do projeto, em anos;

t - tempo (período) do projeto, em anos,

Ft - fluxo de caixa líquido em cada ano, em R$ ha^{-1}.

A taxa interna de retorno de um projeto foi obtida através da Equação 15

$$\sum_{i=0}^{N}\frac{Ft}{(1+\rho)^{t}}=0 \quad (15)$$

em que:

ρ - taxa interna de retorno, em decimal.

j - taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal;

N - horizonte do projeto, em anos;

t - tempo (período) do projeto, em anos,

Ft - fluxo de caixa líquido em cada ano, em R$.$ha^{-1}$.

A razão benefício/custo foi calculada por meio da Equação 16.

$$B/C=\frac{\sum_{t=0}^{n}B/(1+j)^{t}}{\sum_{t=0}^{n}C/(1+j)^{t}} \quad (16)$$

onde:

B/C - razão benefício/custo;

B - receitas, em R$ ha^{-1},

C - despesas, em R$ ha^{-1}.

1.2.12 Economia de escala

Para verificação da ocorrência de economia de escala foi dimensionado sistemas de irrigação para 6 tamanhos de área (1, 3, 5, 10, 15, 20 e 25 ha) em 2 declividades da tubulação

de recalque (7 e 15%). Posteriormente, foi realizado os custos para cada sistema dimensionado, levando em consideração, o custo de implantação os custos fixos e variáveis, conforme mencionado no item anterior.

Considerou-se que retornos crescentes à escala, são obtidos a partir da redução dos custos (C), em relação ao aumento da área. Se o C continua constante para o aumento da área diz que os retornos são constantes à escala. Se o Custo aumenta, os retornos são decrescentes, ou seja, ocorrem deseconomias de escala. Ao mesmo tempo se o custo apresentar um comportamento quadrático, se considera o ponto ótimo o ponto que minimiza os custos de produção.

2 ARTIGO 1 - ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO

Estratégias de irrigação suplementar no desempenho agronômico de híbridos de milho

Resumo: A adaptação do híbrido ao nível de tecnologia e ao manejo de irrigação contribui com a melhoria da produtividade e do uso da água. Assim, objetivou-se neste trabalho analisar a influência de lâminas de irrigação nos componentes de produção, na produtividade, na máxima produtividade técnica e na eficiência do uso da água em híbridos de milho. O experimento foi conduzido no município de Santiago/RS, nas safras de 2015/2016 (safra I) e 2016/2017 (safra II). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, bifatorial, com cinco lâminas de irrigação (0, 50, 75, 100 e 125% da ETc), quatro híbridos de milho na safra I e seis híbridos na safra II. Foram avaliados: número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e eficiência no uso da água. As lâminas de irrigação influenciaram, nas duas safras, a massa de 100 grãos, a produtividade e a eficiência no uso da água e, o número de grãos por espiga na safra I. Verificou-se diferentes funções de produção e lâmina de máxima eficiência técnica entre os híbridos. A irrigação aumentou o desempenho produtivo dos híbridos, entre 9,9 e 41% e a lâmina de máxima eficiência técnica variou entre as lâminas de 90,6 e 105,4% da ETc. Os híbridos AG 9025, P 1630 e o DKB 290 apresentaram melhores desempenhos agronômicos, com produtividades entre 16.281,3 e 13.609,1 kg ha^{-1}.

Palavras-chave: déficit hídrico, *Zea mays* L., eficiência no uso da água, genótipos, lâminas de irrigação.

Supplementary irrigation strategies in the agronomic performance of maize hybrids

Abstract: Hybrid adaptation to technology and irrigation management contributes to improved productivity and water use. Thus, the objective of this study was to analyze the influence of irrigation strategies on production components, productivity, maximum technical productivity and water use efficiency in maize hybrids. The experiment was conducted in the municipality of Santiago/RS, in the harvests of 2015/2016 (crop I) and 2016/2017 (crop II). The experimental design was a randomized block design with five irrigation strategies (0, 50, 75, 100 and 125% of ETc), four maize hybrids (crop I) and six hybrids (II crop). Were determined the number of ear per plant, the number of grains per ear, the mass of 100 grains, the grain yield and water use efficiency. The irrigation depths influenced, in the two harvests, the mass of 100 grains, the productivity and the efficiency in the water use, and the number of grains per ear in the I crop. Different production functions and irrigation depth of maximum technical efficiency between the hybrids were verified. Irrigation increased the productive performance of the hybrids, between 9.9 and 41% and the irrigation depth of maximum technical efficiency ranged between 90.6 and 105.4% of ETc. Hybrids AG 9025, P 1630 and DKB 290 presented better agronomic performance, with yields between 16,281.3 and 13,609.1 kg ha^{-1}.

Key words: water deficit, *Zea mays* L., water use efficiency, genotypes, irrigation levels

INTRODUÇÃO

O déficit hídrico causado pela irregularidade na distribuição das chuvas é um dos principais fatores que limitam o rendimento de grãos da cultura do milho nas regiões produtoras e, deste modo, percebe-se o crescente investimento dos produtores em sistemas de

irrigação buscando maiores produtividades. Em seu estudo, Sousa et al. (2015) e Ben et al. (2016) observaram acréscimo de 55 e 59%, respectivamente, na produtividade de grãos de milho com a utilização da irrigação suplementar.

Ao mesmo tempo, existe na agricultura, elevada competição da água com outros setores produtivos, necessitando adotar estratégias de manejo que visem à economia deste insumo, sem prejudicar a produtividade das culturas irrigadas (Mantovani et al., 2013). A utilização de lâminas de irrigação reduzidas ou deficitária, pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência no uso da água sem influenciar significativamente a produtividade das culturas (Gheysari et al., 2015).

Outro fator a ser considerado é a utilização de híbridos de milho que apresentem maior produtividade e eficiência no uso da água. Kaman et al. (2011), verificaram distintas respostas na produtividade de grãos e da água para genótipos de milho e manejos de irrigação.

Estas respostas segundo Sangoi et al. (2006), são influenciadas pelas características genéticas específicas de cada genótipo, onde podem apresentar diferenças na eficiência da utilização dos recursos do meio. Desse modo, a adaptação do tipo de cultivar, ao nível de tecnologia e de manejo empregado contribui significativamente com a melhoria na eficiência de produção e do uso da água (Silva et al., 2015a).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de diferentes lâminas de irrigação nos componentes de produção, na produtividade, na máxima produtividade técnica e na eficiência do uso da água em híbridos de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos de campo nas safras de 2015/2016 e 2016/2017 (safra I e safra II, respectivamente), na área experimental da Fazenda Liberdade localizada no município de Santiago, RS, Brasil, com coordenadas geográficas 29º 09’ 50’’ Sul e 54º 51’

32’’ Oeste, e, com altitude de 439 m. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (Streck et al., 2008) e clima subtropical úmido (Cfa) com temperaturas médias de 17,9 ºC e média de precipitações de 1769 mm, segundo a escala de Koopen (Moreno, 1961).

A semeadura na safra I foi realizada no dia 05 de outubro de 2015, e na safra II no dia 30 de outubro de 2016. Adotou-se espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de 8,5 sementes m^{-2}. As unidades experimentais (UE) possuíam medidas de 2 x 12 m e totalizaram um número de 80 UE na safra I e 120 UE na safra II.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, bifatorial, com quatro repetições, sendo o fator “A” lâminas de irrigação e o fator “D” híbridos de milho, considerando os principais cultivados na região. Nas duas safras, os tratamentos do fator “A” haviam cinco lâminas de irrigação suplementar, sendo a reposição de água de 0 (T0), 50 (T1), 75 (T2), 100 (T3) e 125% (T4) da Evapotranspiração da cultura (ETc). Na safra I, o fator “D” foi composto de quatro híbridos de milho, sendo: Agroceres 9025 PRO 3; Agroceres 9045 PRO 3; Dekalb 240 PRO 3 e o Syngenta Status Viptera 3. Na safra II, o fator “D” foi composto de seis híbridos, sendo: Pionner 1630 Herculex; Agroceres 9025 PRO 3; Agroceres 8780 PRO 3; Dekalb 177 PRO 3; Dekalb 230 PRO 3 e o Dekalb 290 PRO 3.

Para o manejo da adubação adotou-se a recomendação do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (CQFS, 2004), para uma expectativa de rendimento de 16 t ha^{-1}.

A irrigação foi realizada por um sistema de aspersão convencional com espaçamento de 12m x 12m, formado por cinco linhas laterais de 36 m. Os aspersores utilizados possuíam diferentes bocais em cada linha lateral para obtenção das lâminas de irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado através da evapotranspiração da cultura (ETc), em um turno de rega fixo de sete dias. A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada através de Penman-Monteith/FAO (Allen et al., 1998) e o Coeficiente de Cultura (Kc), de acordo com

Doorenbos & Kassam (1994). Para o cálculo das irrigações considerou-se a precipitação efetiva, conforme metodologia proposta por Millar (1978).

O total de precipitação efetiva ocorrida na safra I foi de 799 mm, e houve a necessidade de aplicar 169 mm de água no tratamento de 100% da ETc. Já na safra II a precipitação efetiva ocorrida foi de 683 mm e a lâmina de irrigação aplicada no tratamento de 100% da ETc foi de 134 mm. Em ambas as safras foram realizadas 06 irrigações ao total (Figura 1).

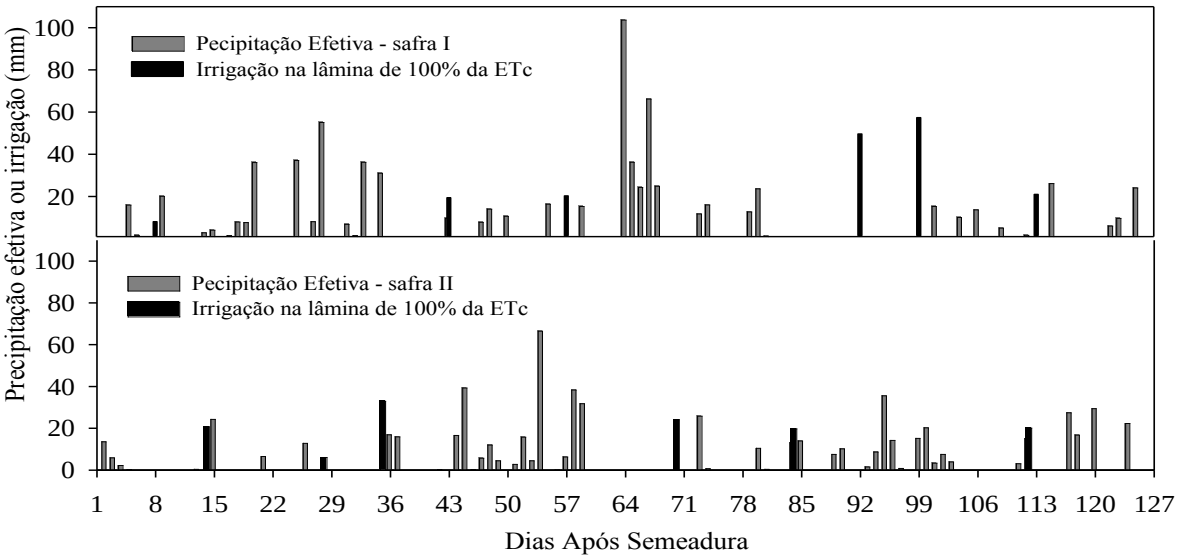


Figura 1. Precipitação efetiva e lâmina de irrigação (100% da ETc) nas safras I e II

A colheita dos híbridos foi realizada aos 135 dias após emergência nas safras I e II, sendo coletadas aleatoriamente, espigas de 20 plantas da área útil das UE e avaliados o número de espigas por planta (NEP), o número de grãos por espiga (NGE) e a massa seca de 100 grãos, em gramas (MCG). Após a obtenção destes dados estimou-se a produtividade final de grãos (PG) em kg ha^{-1} à 13% de umidade (base úmida), através da Eq. 1.

$$PG=\frac{n°plantas}{m^2} \cdot \frac{n°espigas}{Planta^{-1}} \cdot \frac{n°grãos}{espiga^{-1}} \cdot Massa100grãos(g) \cdot 0{,}113 \qquad (1)$$

Ao mesmo tempo, foi analisada a eficiência do uso da água (EUA), sendo esta a quantidade de grãos produzidos por metro cúbico de água fornecido por hectare.

Os dados obtidos foram avaliados através da análise de variância, pelo teste F. As médias referentes ao fator lâminas de irrigação foram submetidas à análise de regressão e, as médias do fator híbrido comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao NEP, NGE, MCG, PG e EUA, nas safras I e II, para o fator híbrido podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Número de espigas por planta (NEP), Número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (MCG), produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA) de cada híbrido observado nas safras I e II

Híbridos – safra I					
Variável[1]	Status	AG 9045	AG 9025	DKB 240	CV (%)
NEP (un.)	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	0,0
NGE (un.)	408,0 c	440,6 b	493,4 a	495,8 a	8,2
MCG (g)	25,9 c	29,4 b	36,0 a	27,0 c	4,2
PG (kg ha^{-1})	10.975,9 d	12.494,1 c	16.281,3 a	13.577,9 b	6,1
EUA (kg m^{-3})	1,26 c	1,36 bc	1,70 a	1,47 b	11,8

Híbridos – safra II							
Variável[1]	P 1630	DKB 290	DKB 177	AG 8780	DKB 230	AG 9025	CV (%)
NEP (un.)	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	0,0
NGE (un.)	543,4 a	529,0 a	486,8 b	468,9 b	466,6 b	418,6 c	7,3
MCG (g)	25,8 de	27,7 c	24,9 f	26,9 cd	31,4 b	34,1 a	5,7
PG (kg ha^{-1})	13.609,1 ab	13.996,7 ab	10.557,6 c	13.156,0 b	13.194,8 b	14.293,4 a	8,5
EUA (kg m^{-3})	1,75 ab	1,81 ab	1,36 c	1,70 b	1,69 b	1,84 a	8,9

[1]Médias seguidas por letras diferentes nas linhas são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de erro

Não houve interação estatisticamente significativa entre os tratamentos testados, para as variáveis analisadas. Em relação ao NEP, não foi observado diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, sendo que, a média geral para todos os híbridos e lâminas de irrigação foi de 1,0 espiga $planta^{-1}$.

Entre os híbridos avaliados, os maiores valores de NGE foram observados para o AG 9025 e o DKB 240 (safra I). Estes híbridos apresentaram 21,2% maior NGE, em relação ao Status, que obteve menor NGE. Na safra II o P 1630 e o DKB 290 foram os híbridos que se sobressaíram com 28,1% maior NGE, em relação ao de menor NGE (AG 9025).

Para a MCG o AG 9025 destacou-se em ambas as safras. Na safra I, o híbrido apresentou 36,1% maior MCG, em relação ao DKB 240 e o Status, que obtiveram os menores valores de MCG. Na safra II houve diferença de 32% com o de menor MCG (P 1630). Na pesquisa de Silva et al. (2015b), também constataram diferentes valores de MCG para diferentes híbridos estudados, sendo esta uma característica muito influenciada pelo potencial genético do híbrido, caracterizando-se como um dos principais componentes de rendimento da cultura do milho.

Em relação à PG o híbrido AG 9025 destacou-se com 16.281,3 kg ha^{-1}, ou seja, 48% superior ao híbrido Status, que obteve a menor produtividade (10.975,9 kg ha^{-1}). Este híbrido também apresentou 30,3 e 19,9% maior PG que os híbridos AG 9045 e DKB 240, respectivamente, na safra I. Na safra II, o híbrido AG 9025 destacou-se novamente com produtividade de 14.293,4 kg ha^{-1}, contudo, não apresentou diferença estatisticamente significativa com o P 1630 e o DKB 290. Em média, estes híbridos produziram 32,3% mais que o DKB 177, sendo este, o que apresentou a menor produtividade de grãos nesta safra.

Conforme Araújo et al. (2016), resultados contrastantes para a produtividade de grãos entre os híbridos são advindos da interação genótipo x ambiente e das condições de cultivo. Portanto, pode-se destacar que, a diferença e o potencial genético, e a melhor adaptação dos híbridos de maior produtividade na região e nas condições do local do estudo, como um dos fatores que influenciam no desempenho produtivo.

Para a EUA, observou-se comportamento semelhante ao da PG, onde o híbrido AG 9025 destacou se com 1,70 (safra I) e 1,81 kg m^3 (safra II). Este comportamento semelhante ocorre

devido a quantidade de água aplicada ser a mesma para todos os híbridos em cada tratamento, logo, o mais produtivo apresentará maior EUA.

Para o efeito das lâminas de irrigação houve significância estatística para as variáveis NGE, na safra I, MCG, PG e EUA nas safras I e II.

O NGE pode ser visualizado na Figura 1. Observou-se que os tratamentos irrigados proporcionaram maior NGE em relação ao T0. Não houve influência das lâminas de irrigação para o NGE na safra II. A partir dos 91 DAE da safra I (Figura 2), houve períodos de déficit hídrico, o que pode ter comprometido o enchimento dos grãos da ponta da espiga e, assim, afetado o NGE nos tratamentos com as menores lâminas de irrigação.

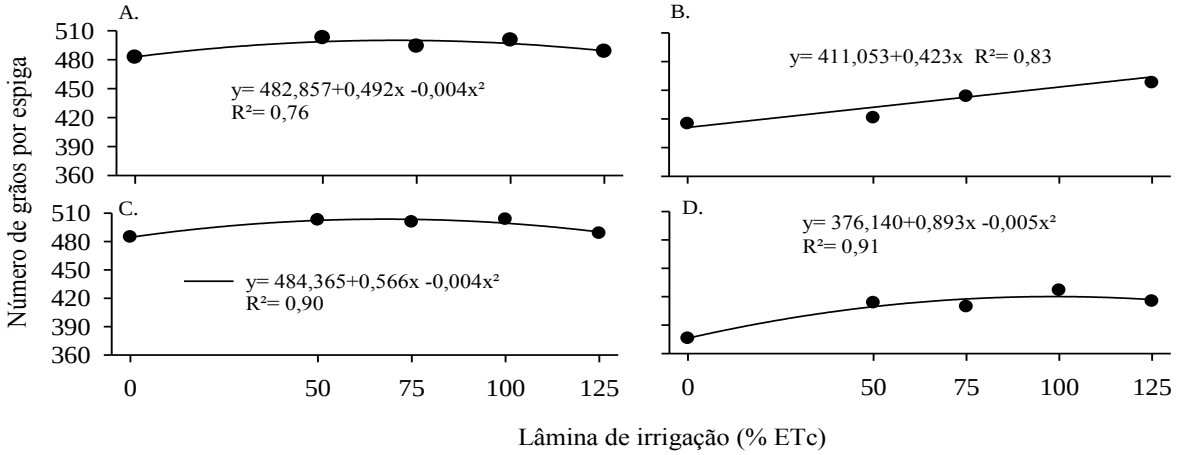


Figura 2. Número de grãos por espiga para os híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C) e Status (D) em função das lâminas de irrigação para a safra I

Semelhante a esse estudo, Souza et al. (2016) observaram que NGE apresentou comportamento quadrático em função das lâminas de irrigação, em que o máximo valor obtido da equação de regressão foi de 487 NGE, correspondente a aplicação de uma lâmina de irrigação de 84,7% da ETc.

Na Figura 3, podem ser visualizadas as MCG dos híbridos em função das lâminas de irrigação, nas safras estudadas.

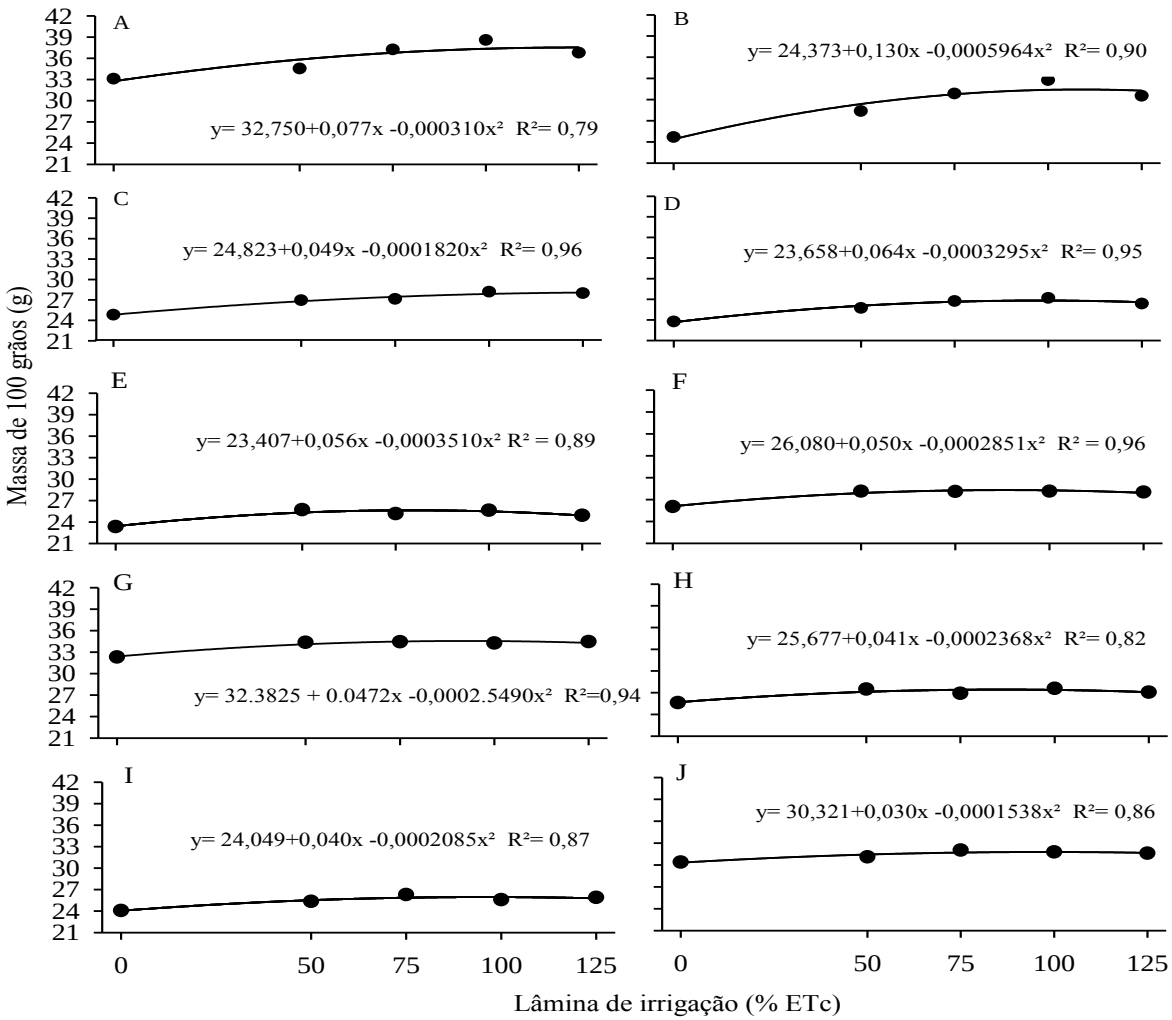


Figura 3. Massa de 100 grãos para os híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D) AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II

A MCG nos tratamentos irrigados apresentou valores maiores em relação ao T0. Houve ajuste a um modelo de regressão quadrático para todos os híbridos em estudo, apresentando a máxima eficiência técnica (MET) variando entre lâminas de 97 (Status) e 134% (DKB 240) da ETc, na safra I. Na safra II a MET variou entre lâminas de 80 e 97% da ETc. Entre os híbridos, o AG 9025 destacou-se com MCG de 37,52 g na Safra I e, 34,5 g na safra II, na lâmina de MET.

Do mesmo modo, Liu et al. (2017) estudaram lâminas de irrigação entre 20 e 120% da ETc

e, em comparação com a irrigação plena (100% da ETc), verificaram que houve diminuição gradativa da MCG, com a lâmina de irrigação, de até 27% na lâmina de 20% da ETc. Já para a lâmina de 120% da ETc a diminuição foi de 3,1%, em relação a 100% da ETc, sendo atribuído este comportamento ao excesso hídrico.

A PG dos híbridos de milho em função das lâminas de irrigação pode ser observada na Figura 4. Nota-se que em ambas as safras a irrigação aumentou a PG, sendo possível o ajuste de funções de produção polinomiais, com identificação da lâmina de MET, através da derivada primeira da equação de cada híbrido. Resultados semelhantes foram observados por Kresović et al. (2016) no qual observaram relação quadrática da produtividade de grãos em função da água aplicada.

Observou-se também que a lâmina MET e o acréscimo de produtividade que a irrigação proporcionou para cada um dos híbridos foram distintos. A lâmina de MET para a safra I variou entre 90,1 (DKB 240) e 99% (AG 9045) da ETc, enquanto que para a safra II variou entre 90,6 (DKB 290) e 105,4% (P 1630) da ETc. Já o acréscimo de produtividade ficou entre 21,5 (DKB 240) e 41,0% (AG 9045) na safra I e, 9,9 (DKB 230) e 17,6% (AG 8780) na safra II, em comparação da MET com o T0. Segundo Sousa et al. (2015) estes resultados se devem provavelmente a diferença na tolerância dos híbridos ao déficit hídrico, e suas respostas a irrigação.

Resultados semelhantes a Kaman et al. (2011), em que realizaram um estudo sobre irrigação plena e deficitária em genótipos em Adana, Turquia, encontraram diferentes valores de produtividade de grãos, em relação ao manejo da irrigação e entre os genótipos avaliados, com maiores produtividades nos tratamentos sem restrição hídrica. Estas respostas para Sangoi et al. (2006), se devem pelas características genéticas específicas de cada híbrido, onde podem ocorrer diferenças na eficiência da utilização dos recursos do meio, podendo considerar, neste caso, a irrigação e o déficit hídrico.

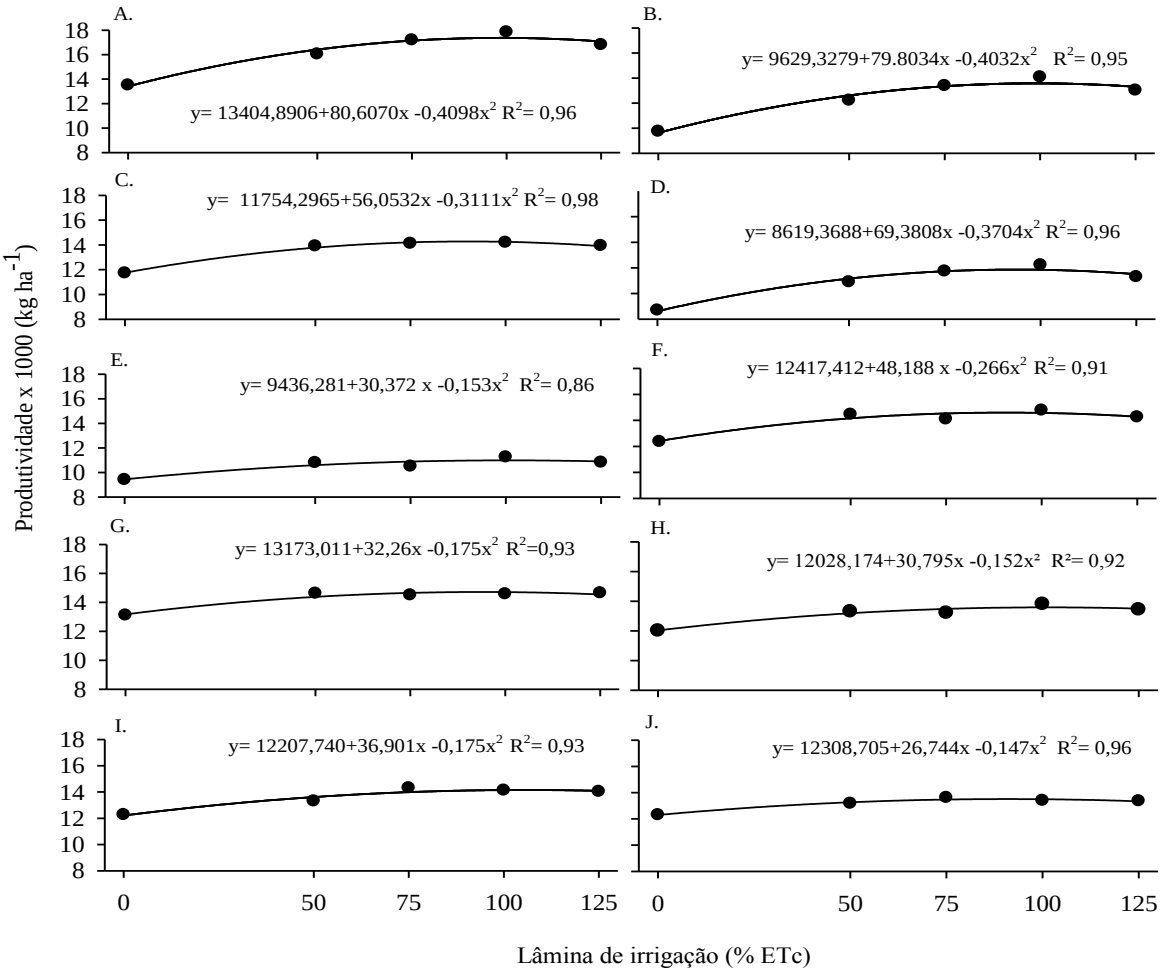


Figura 4. Produtividade de grãos dos híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D), AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II

A EUA para as lâminas de irrigação pode ser analisada na Figura 5. A lâmina de MET apresentou variação entre os híbridos de 45,7 (DKB 240) e 68,0% da ETc (AG 9025) para a safra I e, 0 (DKB 230) e 45,5% da ETc (DKB 290) na safra II. A diferença da EUA, entre as safras, pode ser atribuída devido ao maior déficit hídrico ocorrido na safra I, onde houve maior amplitude de produtividade entre os tratamentos irrigados e o T0 e, consequentemente o mesmo ocorreu com a EUA.

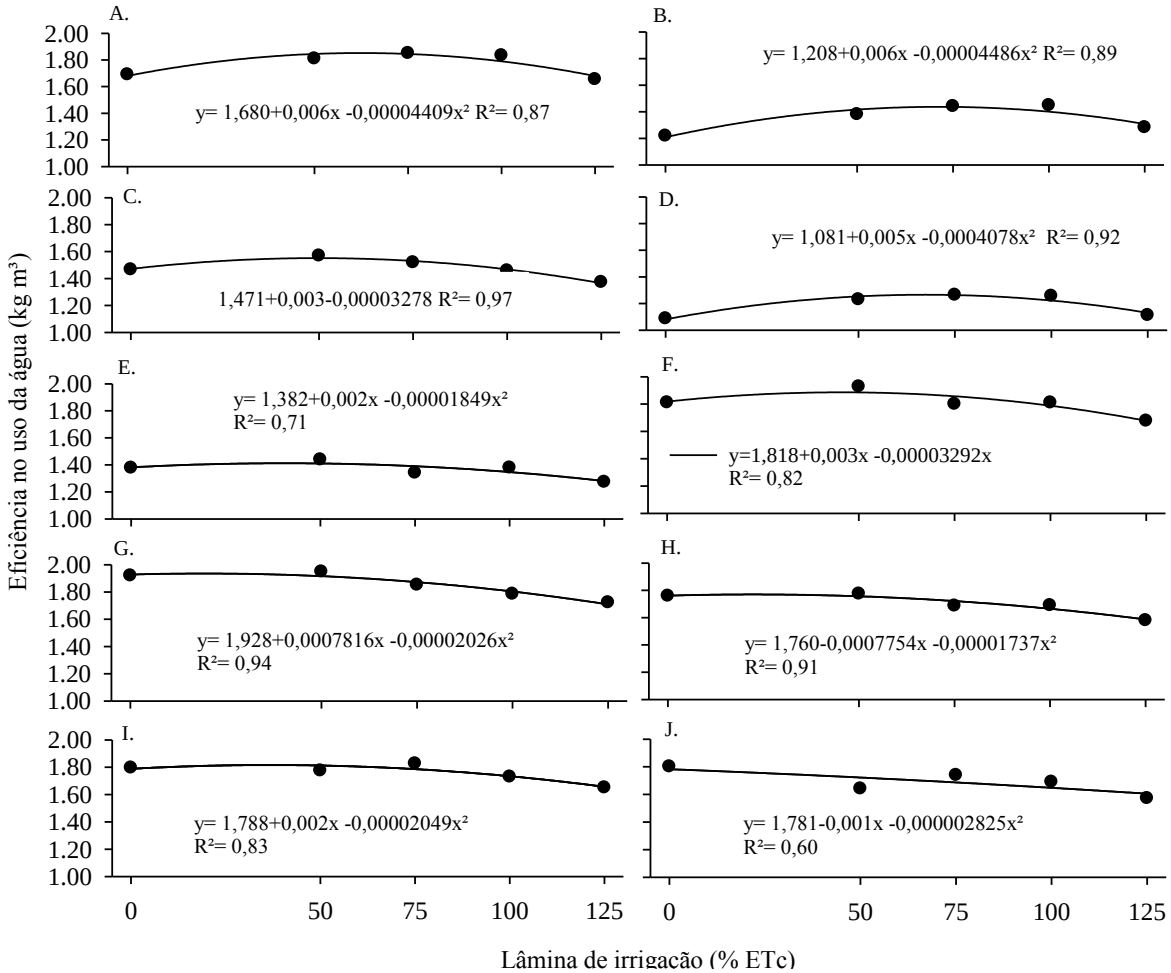


Figura 5. Eficiência no uso da água dos híbridos AG 9025 (A), AG 9045 (B), DKB 240 (C), Status (D) AG 177 (E), DKB 290 (F), AG 9025 (G), AG 8780 (H), P 1630 (I) e DKB 230 (J) em função das lâminas de irrigação, para as safras I e II

Em seu trabalho, Zhanga et al. (2017) também observaram a diminuição da EUA com o aumento da lâmina de irrigação, onde a EUA foi maior com aplicação de uma lâmina de 70% da ETc. Para Magalhães et al. (2009), híbridos de milho que apresentam maior EUA são um indicativo de características de tolerância à deficiência hídrica. Porém, é desejável que híbridos utilizem a água com eficiência tanto na condição de déficit hídrico, como em níveis adequados, considerando que, o produtor sempre busca maior rendimento de grãos (Sousa et al. 2015).

CONCLUSÕES

1 A irrigação proporcionou aumento nos componentes de rendimento e acréscimo de produtividade de grãos em todos os híbridos analisados variando entre 9 e 41%.

2 A lâmina de máxima eficiência técnica na produtividade de grãos foi diferente entre os híbridos, podendo manejar a irrigação entre 90,6 e 105,4% da evapotranspiração da cultura.

3 A eficiência do uso da água é maior entre as lâminas de 0 a 68% da ETc, dependendo do híbrido e da necessidade de irrigação.

4 Os híbridos AG 9025, P 1630 e o DKB 290 apresentaram o melhor desempenho produtivo, com produtividades entre 16.281,3 e 13.609,1 kg ha^{-1}.

LITERATURA CITADA

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration. Rome: FAO, 1998. 328p. Irrigation and Drainage Paper, 56.

Araújo, L. S.; Silva, L. G. B.; Silveira, P. M.; Rodrigues, F.; Lima, M. L. P.; Cunha, P. C. R. Desempenho agronômico de híbridos de milho na região sudeste de Goiás. Revista Agro@mbiente, v.10, p.334-341, 2016.

Ben, L. H. B.; Peiter, M. X.; Robaina, A. D.; Parizi, A. R. C.; Silva, G. U. Influence of irrigation levels and plant density on "second-season" maize. Revista Caatinga, v.29, p.665–676, 2016.

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO – Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por. Gheyi HR, Sousa AA, Damasceno FAV & Medeiros JF).

Gheysari, M., Loescher, H.W., Sadeghi, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J., Hoogenboom, G. Water-yield relations and water use efficiency of maize under nitrogen fertigation for semiarid environments: experiment and synthesis. Advances in Agronomy, v.130, p. 175–229, 2015.

Kaman, H.; Kirda, C.; Sesveren, S. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management, v.98, p.801–807, 2011.

Kresović, B.; Tapanarova, A.; Tomić, Z.; Životić, L.; Vujović, D.; Sredojević, Z.; Gajić, B. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. Agricultural Water Management, v.169, p.34–43, 2016.

Liu, H.; Wanga, X.; Zhanga, X.; Zhanga, L.; Li, Y.; Huang, G. Evaluation on the responses of maize (*Zea mays* L.) growth, yield and water use efficiency to drip irrigation water under mulch condition in the Hetao irrigation District of China. Agricultural Water Management, v.179, p.144–157, 2017.

Magalhães, P. C.; Souza, T. C.; Albuquerque, P. E. P.; Karam, D.; Magalhães, M. M.; Cantão, F. R. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 8, p. 223-232, 2009.

Mantovani, E.; Delazari, F. T.; Dias, L. E.; Assis, I. R.; Vieira, G. H. S.; Landim, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. Horticultura Brasileira, v.31, p.602-606, 2013.

Millar, A. A. Drenagem de terras agrícolas: Bases agronômicas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276p.

Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação, 1961. 42p.

Sangoi, L.; Ernani, P. R.; Silva, P. R. F.; Horn, D.; Schmitt, A.; Schweitzer, C. Desempenho agronômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.5, p.218–231, 2006.

Silva, A. G.; Francischini, R.; Martins, P. D. S. Desempenhos agronômico e econômico de cultivares de milho na safrinha. Revista Agrarian, v.8, p.1-11, 2015a.

Silva, J. P.; Ferreira, P. V.; Carvalho, I. D. E.; Oliveira, F. S. Desempenho de genótipos alagoanos de milho em diferentes densidades de semeadura. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.10, p.82-90, 2015b.

Sousa, R. S.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q.; Brito, R. R. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.14, p.49-60, 2015.

Souza, E. J.; Cunha, F. F.; Magalhães, F. F.; Silva, T. R.; Santos, O. F.; Eficiência do uso da água pelo milho doce em diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada em cobertura. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.10, p.750-757, 2016.

Streck, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Giasson, E.; Pinto, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

Zhanga, G.; Liu, C.; Xiao, C.; Xie, R.; Ming, B.; Houb, P.; Liu, G.; Xua, W.; Shena, D.; Wangb, K.; Li, S. Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. Field Crops Research, v.211, p.137–146, 2017.

3 ARTIGO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Viabilidade econômica da irrigação em híbridos de milho

Resumo: A análise da viabilidade econômica da irrigação é fundamental para justificar o investimento nesta técnica. Assim, neste estudo objetivou-se analisar os custos, a viabilidade econômica e a lâmina ótima de irrigação para híbridos de milho em sistema irrigado e não irrigado. Obteve-se a função de produção de oito híbridos, cultivados em duas safras agrícolas (2015/2016 - safra I e 2016/2017 - safra II) e os custos relacionados e não relacionados à irrigação, obteve-se a receita líquida (RL) nas lâminas de máxima eficiência técnica, ótima e equivalente e no tratamento sem irrigação, além do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e relação benefício custo (B/C). O custo não relacionado à irrigação foi de R$ 3.904,89 ha^{-1}; o custo fixo da irrigação foi de R$ 446,61 ha^{-1} e o custo variável de R$ 2,24 mm^{-1} (safra I) e R$ 1,76 mm^{-1} (safra II). A RL na safra I foi maior para todos os híbridos irrigados, com diferentes valores entre os híbridos. Na safra II devido a menor necessidade de irrigação, apenas um dos híbridos apresentou maior RL, em relação ao não irrigado. O VPL, TIR e B/C foram variáveis entre os híbridos e sistema. Logo, a irrigação na cultura do milho apresenta viabilidade econômica em anos com maior necessidade de irrigação e em híbridos mais produtivos e responsivos ao uso desta técnica. A lâmina ótima de irrigação é variável entre os híbridos. O híbrido AG 9025 apresentou maior RL, TIR, VPL e B/C que os demais, com ou sem uso de irrigação.

Palavras-chave: receita líquida, custos da irrigação, *Zea mays*, retorno econômico

Economic feasibility of irrigation maize hybrids

Abstract: The analysis of the economic viability of irrigation is fundamental to justify the investment in this technique. Thus, the objective of this study was to analyze costs, economic viability and optimal irrigation depth for maize hybrids in irrigated and rainfed systems. By obtaining the production function of eight hybrids, cultivated in two agricultural crops (2015/2016 - crop I and 2016/2017 - crop II) and related and not related to irrigation, net income (RL) was obtained in the strategies of maximum efficiency technical, optimal and equivalent and in the rainfed systems, also the net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and cost benefit relation (B/C). The rainfed systems cost was R$ 3,904.89 ha^{-1}. The fixed cost of irrigation was R$ 446.61 ha^{-1} and the variable cost of R$ 2.24 mm^{-1} (crop I) and R$ 1.76 mm^{-1} (crop II). The net income in the I crop was higher for all irrigated hybrids, with different values among the hybrids. In crop II, due to the lower need for irrigation, only one of the hybrids presented higher RL, in relation to the not irrigated. The NPV, IRR and B/C were variable among hybrids and system. Therefore, irrigation in maize crop presents economic viability in years with greater need of irrigation and hybrids more productive and responsive to the use of this technique. The optimal irrigation depth varies among hybrids. The hybrid AG 9025 presented higher RL, NPV, IRR and B/C than the others, with irrigation or rainfed.

Keywords: net revenue, costs irrigation, *Zea mays*, economic return

INTRODUÇÃO

A irrigação na cultura do milho é muito enfatizada pela literatura, principalmente em relação à maximização do rendimento de grãos por unidade de água aplicada e pela eficiência no uso da água (Irmak et al., 2015). No entanto, poucas pesquisas buscam analisar as

condições econômicas relacionadas ao emprego da irrigação, onde considera-se as receitas e os custos do investimento no sistema, bem como, o volume de água aplicado, buscando uma maior receita líquida e eficiência econômica (Klocke et al. 2012; Paredes et al., 2014).

Segundo Martins et al. (2016), a eficiência econômica objetiva a otimização dos recursos investidos e, normalmente, não é considerada no manejo da irrigação. Todavia, irrigar para maximizar o lucro é um problema desafiador, se relacionarmos quando o objetivo é obter a máxima produtividade, pois, nesse foco ocorre a aplicação de menores lâminas que na irrigação plena, possibilitando uma redução de produtividade, porém com vantagem econômica significativa (Frizzone, 2007).

Um dos elementos básicos para estudos econômicos relativos a irrigação é a obtenção da função de produção água-cultura, pois, através desta função é possível obter um nível ótimo de volume de água a ser aplicado para maximizar a receita líquida (Santos Júnior et al., 2015; Djaman et al., 2013). Por outro lado, a função de produção pode ser diferente entre cultivares a serem utilizadas.

Verifica-se que, vários estudos que buscaram comparar híbridos irrigados e sob déficit hídrico obtiveram diferentes respostas produtivas em relação ao suprimento hídrico (Kaman et al., 2011; Sousa et al., 2015). Assim, com a variabilidade na relação entre a produtividade e o volume de água aplicado entre híbridos, a receita bruta e os custos, serão díspares e, por conseguinte, a receita líquida, a lâmina ótima e a viabilidade econômica de irrigação.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar os custos, a viabilidade econômica e a lâmina ótima de irrigação para híbridos de milho em sistema produtivo irrigado e não irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização da viabilidade econômica da irrigação, foi conduzido dois experimentos de campo, em nível de manejo de alta tecnologia e obtido a função de produção de oito híbridos, além disso foi realizado o levantamento dos custos e das receitas envolvidas em seu cultivo.

Os experimentos foram semeados em outubro, nas safras agrícolas de 2015/2016 (Safra I) e 2016/2017 (Safra II), no município de Santiago, RS. Foram aplicadas lâminas de irrigação de 0, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração da cultura (ETc) em um manejo com turno de rega fixo de sete dias. Utilizou-se a equação de Penman-Monteith/FAO (Allen et al., 1998) para a obtenção da ETo e o Coeficiente de Cultura de acordo com Doorenbos & Kassan (1994). Na Figura 1 está representada a precipitação efetiva e lâmina de irrigação no tratamento de 100% da ETc nas safras I e II.

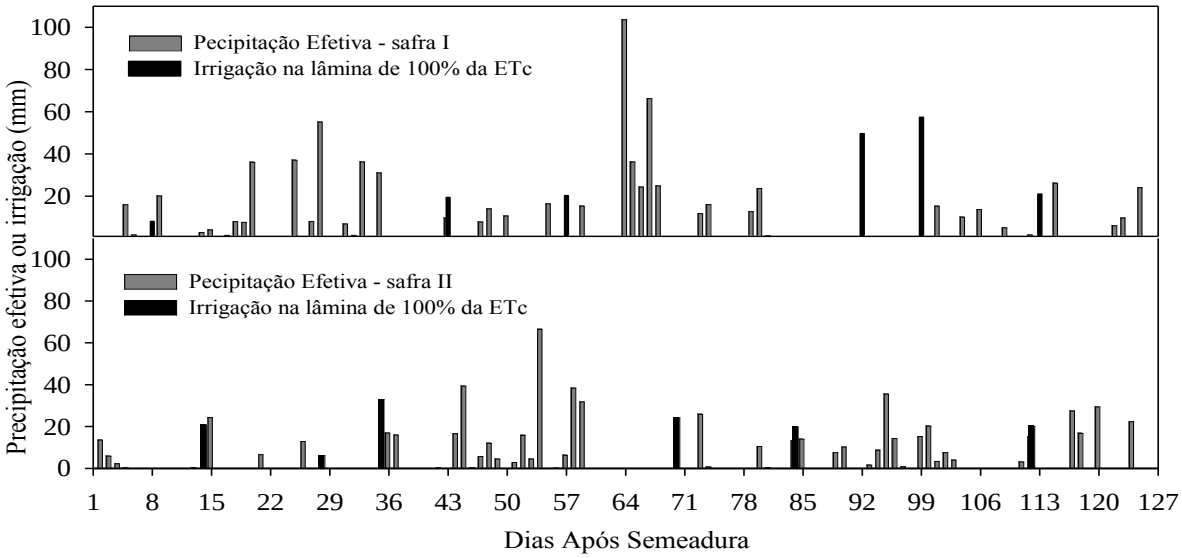


Figura 1. Precipitação efetiva e lâmina de irrigação (100% da ETc) nas safras I e II

Os híbridos de milho utilizados foram: Na safra I - Agroceres 9025 PRO 3 e Agroceres 9045 PRO 3 de ciclo superprecoce, Dekalb 240 PRO 3 e Syngenta Status Viptera 3 de ciclo precoce. Na safra II - Pionner 1630 Herculex, Agroceres 9025 PRO 3 e Agroceres 8780 PRO 3 de ciclo superprecoce e o Dekalb 177 PRO 3 de ciclo precoce.

Com a obtenção da produtividade, ajustou-se a funções de produção água-cultura através da Eq.1:

$$Y = a + bw + cw^2 \quad (1)$$

em que: Y - é a produtividade de grãos em kg ha^{-1}; w - é a lâmina de irrigação em mm e a, b e c - coeficientes da equação de cada híbrido, estando representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros da função de produção água-cultura para os híbridos estudados nas safras II e I em relação às lâminas de irrigação (% da ETc)

Safra	Híbrido	Coeficientes da equação			
		a	b	c	R^2
I	DKB 240	11754,3	56,05	-0,31	0,96
	AG 9025	13404,89	80,61	-0,41	0,98
	AG 9045	9629,33	79,80	-0,4	0,95
	Status	8619,37	69,38	-0,37	0,96
II	DKB 177	9436,28	30,37	-0,15	0,86
	AG 9025	13521,67	24,48	-0,13	0,93
	P 1630	12207,74	36,90	-0,18	0,93
	AG 8780	12028,17	30,80	-0,15	0,92

Para obtenção da receita bruta (RB) realizou-se a multiplicação da produtividade de grãos (Y), pelo preço do quilograma de milho (Pp). Considerou-se o valor médio de R$ 0,44 kg^{-1}, conforme valores médios observados na região e safras estudadas (I e II).

A receita líquida da produção (RL) foi obtida pela diferença entre a RB e os custos totais de produção (Eq.2). Estes custos compreendem os custos não relacionados à irrigação (CNRI), os custos fixos relacionados a irrigação (CFRI) e os custos variáveis relacionados à irrigação (CVRI), sendo o CFRI e CVRI nulo para o tratamento sem irrigação (SSI) pois, nesta situação desconsiderou-se o uso do sistema de irrigação.

$$RL=Yw.Pp - CNRI - CFRI- CVRI.w \quad (2)$$

onde, RL- receita liquida em R$ ha^{-1}, CNRI -custo não relacionado a irrigação em R$ ha^{-1}, CFRI - custo fixo relacionado a irrigação em R$ ha^{-1} e CVRI - custo variável relacionado com a irrigação em R$ mm^{-1}.

A lâmina que maximiza a RL (lâmina ótima) foi obtida através da Eq.3:

$$Wo=\frac{Cvri-Pp.b}{2.Pp.c} \quad (3)$$

onde, Wo - lâmina ótima de irrigação em mm e a, b e c os coeficientes da função de produção.

Estabeleceu-se um intervalo de lâmina de irrigação, do qual a irrigação é mais rentável, conforme Frizzone & Andrade Junior, (2005), sendo o intervalo de RL entre a lâmina de água para a máxima produtividade física (Wm) e a lâmina de água equivalente à máxima produtividade física (We).

A lâmina de água para a produção máxima (Wm) foi obtida pela Eq.4.

$$Wm=\frac{-b}{2c} \quad (4)$$

onde, Wm - lâmina para a máxima produtividade, b e c - coeficientes da equação.

A lâmina equivalente (We) foi estimada pela Eq.5:

$$We=\frac{-B\pm\sqrt{b^2-4AC}}{2A} \quad (5)$$

onde, A - Pp.b; B - Pp.b-CVRI e C - $\frac{Pp.b^2}{4.b}-\frac{CVRI.b}{2.c}$

O CFNRI foi construído de todas as operações e insumos necessários (horas-máquina, mão-de-obra, preparo de solo, sementes, produtos fitossanitários, terra, etc.), obtidos através da planilha eletrônica da EPAGRI/CEPA (2017), adaptado para cultivo de milho sob alta tecnologia. Os custos relacionados à irrigação foram divididos em CFRI e CVRI e, para determiná-los utilizou-se a metodologia da CONAB (2010), sendo projetado um sistema de

irrigação por aspersão convencional fixa, conforme metodologia proposta por Biscaro (2009) para área de 1 ha.

Para a projeção do sistema fixou-se os valores de: altura geométrica de sucção 4m; altura geométrica de recalque 7,7 m; linha principal e linhas laterais em nível; altura das elevações dos aspersores de 2,5 m, comprimento da tubulação de recalque de 110 m, comprimento da tubulação de sucção de 10 m.

Os valores de compra do equipamento de irrigação foram obtidos através de consultas ao comércio da região em Reais, nos meses de agosto e setembro de 2017, sendo a cotação média do dólar neste período de R$ 3,11.

Os CFRI foram obtidos conforme Eq.6.

$$CFRI = CD + CJ + CS \tag{6}$$

onde, CD - custo com a depreciação dos componentes do sistema em R$ ha^{-1}; CJ - custo com juro sobre o capital investido em R$ ha^{-1} e CS - custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação em R$ ha^{-1}.

Os valores de CD foram calculados utilizando-se a Eq. 7.

$$CD = \frac{(VN-VR)}{VUh} . HsTr \tag{7}$$

onde, VN - valor de aquisição do componente novo em R$ ha^{-1}, VR - valor residual do componente em R$ ha^{-1}, Vuh - vida útil do componente em horas e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente. O valor residual foi de 20% do valor novo e a vida útil utilizada de 20 anos.

Os valores de CJ foram calculados considerando-se a taxa de remuneração de 6,0% ao ano, aplicados sobre o valor médio dos equipamentos, conforme Eq. 8.

$$CJ = \{[((VN.QM)/2)/CAT].HsTr\}.J \tag{8}$$

onde, QM - quantidade do bem; CAT - capacidade de trabalho (h) e J - taxa de remuneração.

O valor de CS foi determinado como sendo 0,35% do valor do bem novo (Eq. 9).

$$CS=(VN/2).0,35.(HsTr/Vuh) \quad (9)$$

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação, o número de irrigações, da mão-de-obra e da manutenção do sistema, conforme a Eq. 10.

$$CVRI = CvE+CvMo+CvMan \quad (10)$$

onde: CvE - custo variável com energia elétrica em R$ ha^{-1}, CvMo - custo com mão-de-obra empregada na irrigação em R$ ha^{-1} e CvMan - custo com manutenção dos equipamentos em R$ ha^{-1}.

O custo variável da energia elétrica foi calculado conforme a Eq. 11.

$$CvE=Pw.Ee.T.w \quad (11)$$

onde, Pw - potência do conjunto motobomba (Kw h^{-1}), Ee - preço da energia elétrica em R$ Kw^{-1} e T - tempo para aplicação de um milímetro de água h mm^{-1}.

A determinação da potência necessária para aplicação de água foi obtida dos dados do projeto e o valor da energia considerado foi de R$ 0,32 kWh^{-1}, sendo este o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Rio Grande Energia, 2017).

O custo de mão de obra foi calculado considerando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare por irrigação (Marouelli & Silva, 2011), conforme Eq. 12.

$$CvMo=Ni.Ns.0,5.VSMin/220.w/100 \quad (12)$$

onde, Ni - número de irrigações, Ns - número de setores do sistema de irrigação e VSMin - valor do salário mínimo rural em R$.

O número de setores do sistema de irrigação foram seis determinados na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado foi de R$ 1.175,15 (Rio Grande do Sul, 2017) e o número de irrigações realizadas foram seis, em ambas as safras.

Os valores dos custos com manutenção foram calculados, conforme a Eq. 13.

$$CvMan=VN.0,01+(CvE/10) \quad (13)$$

Além da RL considerou-se também para análise econômica os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício Custo (B/C). O VPL é definido como a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, conforme Eq. 14.

$$VPL=\sum_{t=0}^{N}\frac{Ft}{(1+j)^t} \quad (14)$$

onde, VPL - valor presente líquido, em R$ ha^{-1}; j - taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal; N - horizonte do projeto, em anos; t - período do projeto, em anos e Ft - fluxo de caixa líquido em cada ano, em R$ ha^{-1}.

A taxa interna de retorno obtida através da Equação 15

$$\sum_{i=0}^{N}\frac{Ft}{(1+\rho)^t}=0 \quad (15)$$

onde, ρ - taxa interna de retorno, em decimal.

A razão benefício/custo foi calculada por meio da Equação 16.

$$B/C=\frac{\sum_{t=0}^{n}B/(1+j)^t}{\sum_{t=0}^{n}C/(1+j)^t} \quad (16)$$

onde, B/C - razão benefício/custo; B - receitas, em R$ ha^{-1} e C - despesas, em R$ ha^{-1}.

Adotou-se uma TMA de 6% ao ano, e um horizonte de projetos de 20 anos, conforme vida útil do sistema de irrigação. Considerou-se viável o manejo e híbrido que aprsentou VPL positivo, TIR maior que a TMA e R/C maior que 01.

Ao final foram obtidos os custos e as receitas no manejo (SSI) e nas Wo, Wm e We de cada híbrido, e então, comparado para fornecer um indicativo do híbrido e do manejo de maior RL para as condições estudadas. Além disso, comparou-se o VPL, a TIR e o B/C dos híbridos e manejo SSI e irrigado na lâmina ótima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O custo fixo não relacionado à irrigação (CFNRI), custo fixo da irrigação (CFRI), custo fixo total (CFT), custo variável da irrigação (CVRI) e a receita bruta (RB) de cada híbrido de milho, para os tratamentos irrigados e SSI nas safras I e II, estão representados na Figura 2.

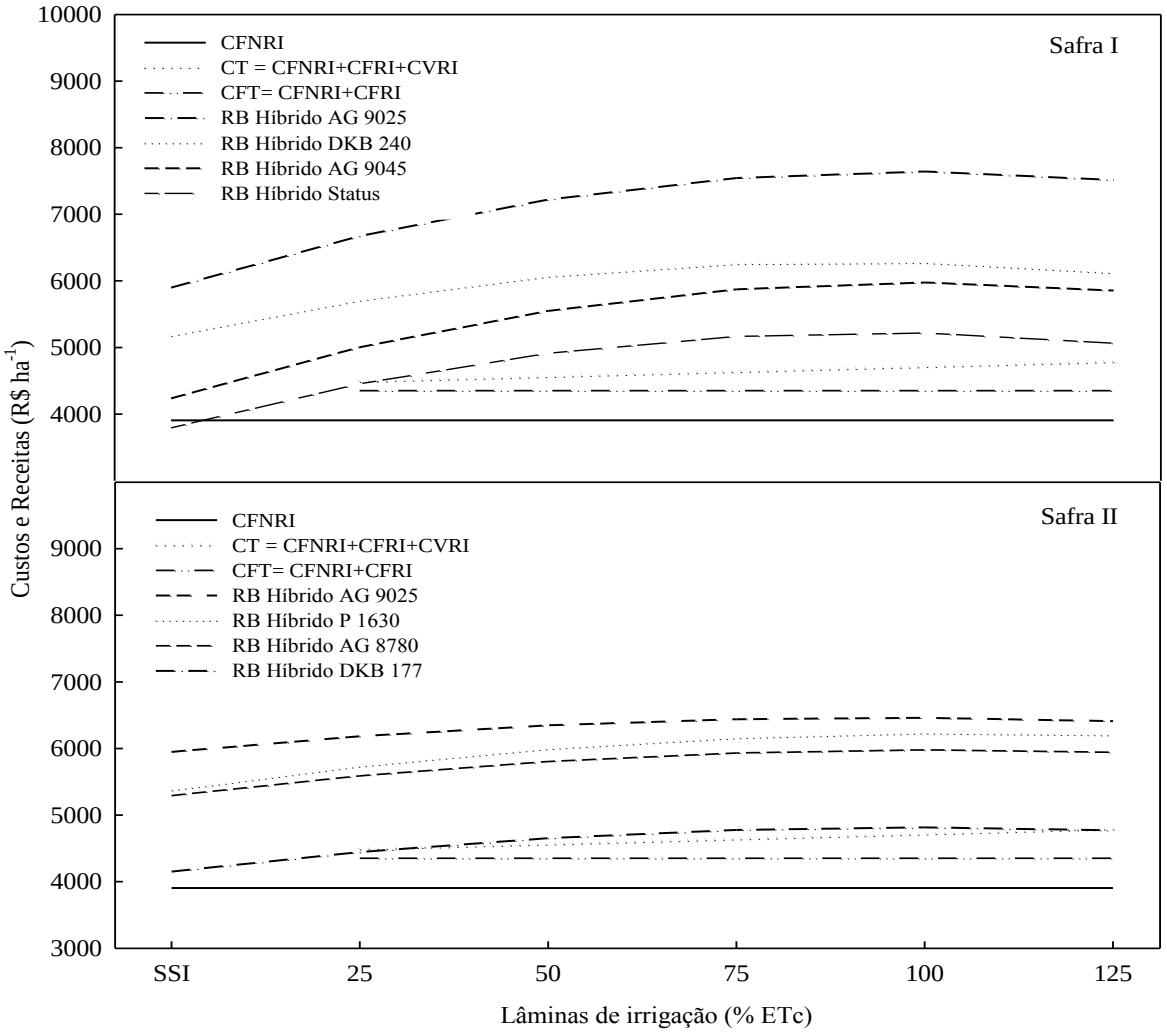


Figura 2. Custo fixo não relacionado a irrigação (CFNRI), custo fixo relacionado a irrigação (CFRI), custo fixo total (CFT), custo variável da irrigação (CVRI) e receitas brutas (RB) de híbridos de milho em função das lâminas de irrigação e SSI, para as safras estudadas.

O CNRI alusivos à implantação e condução dos híbridos foi de R$ 3.904,89 ha^{-1}, para as duas safras estudadas e constantes entre os tratamentos. Este custo foi mais elevado que os

publicados pela CONAB (2017) com valor de R$ 3.521,43 ha^{-1} para a região de Santo Ângelo, RS. Por sua vez, nesta condição a expectativa de rendimento utilizada foi de 7.200 kg ha^{-1}, abaixo do utilizado neste trabalho, sendo de 16.000 kg ha^{-1}, aumentando os custos com insumos, principalmente com adubação.

Em relação ao CFRI verificou-se um valor de R$ 446,61 ha^{-1}. Este custo é referente à depreciação, juros sobre o capital investido e seguro do equipamento de irrigação para um horizonte de projeto de 20 anos. O valor deste custo está abaixo ao apresentado por Vieira et al. (2011), para o mesmo tipo de sistema de irrigação, com área de 3 ha verificou o valor de R$ 511,61 ha^{-1}, porém, diferente desta pesquisa, este autor avaliou o custo com estrutura, e, com isso elevou seu custo anual.

O CVRI apresentou aumento linear de R$ 131,62 ha^{-1} a R$ 430,63 ha^{-1}, para a safra I e R$ 115,71 ha^{-1} a R$351,12 ha^{-1}, na safra II, entre as lâminas de 25 e 125% da ETc, respectivamente. O CVRI na safra II foi menor devido ter sido necessária a aplicação de uma lâmina de irrigação menor que para a safra I.

Os valores de lâmina máxima (Wm), ótima (Wo), equivalente (We) e SSI e as suas respectivas receitas líquidas, para os diferentes híbridos podem ser observadas na Tabela 2. A Wm é considerada o ponto superior e a We o ponto inferior do intervalo de manejo de irrigação. Já a Wo apresenta-se como a receita líquida máxima irrigada.

O intervalo entre We e Wm variou entre os híbridos. Na safra I, o DKB 240 apresentou o maior intervalo, ficando entre 62,3 e 90,1% da ETc, respectivamente. Nos híbridos da safra II, o AG 9025 apresentou o maior intervalo entre We e Wm, sendo entre as lâminas de 53,5% e 95,2% da ETc, respectivamente. A diferença entre os intervalos de manejo de irrigação, entre os híbridos deve-se a resposta da produtividade em relação às lâminas de irrigação, o que proporciona diferentes funções de produção. Assim, quando os híbridos são menos sensíveis

ao déficit hídrico, a amplitude de produtividade é menor entre as lâminas e SSI, aumentando o intervalo entre We e Wm.

Em relação à Wo, houve variação entre os híbridos entre 76,2% e 88,3% da ETc, na safra I, sendo a maior Wo apresentada pelo DKB 240 e a menor pelo híbrido AG 9045, respectivamente. Na safra II a variação da Wo entre os híbridos foi entre74,3% da ETc, para o AG 9025 a 90,1% da ETc, para o P 1630.

Tabela 2. Valores de lâminas máxima, ótima e equivalente e suas respectivas receitas líquidas de cada híbrido quando irrigado, nas safras I e II

Safra						
I				II		
Híbrido	Lâmina		Receita Líquida	Híbrido	Lâmina	Receita Líquida
	-	% ETc	R$ ha^{-1}		% ETc	R$ ha^{-1}
DKB 240	SSI	0	1.267,00	DKB 177	0	247,07
	Wm	90,1	1.457,41		100	126,26
	Wo	76,2	1.483,75		82,3	147,03
	We	62,3	1.457,41		64,7	126,26
AG 9025	SSI	0	1.993,26	AG 9025	0	2.044,65
	Wm	98,3	2.785,51		95,2	1.780,12
	Wo	87,8	2.805,51		74,3	1.804,64
	We	77,3	2.785,51		53,5	1.780,12
AG 9045	SSI	0	332,01	P 1630	0	1.466,52
	Wm	99	1.115,30		105,4	1.521,59
	Wo	88,3	1.135,63		90,1	1.539,59
	We	77,5	1.115,30		74,8	1.521,59
Status	SSI	0	-112,37	AG 8780	0	1.387,51
	Wm	93,7	383,27		101,3	1.282,99
	Wo	82	405,39		83,7	1.303,71
	We	70,4	383,27		66,1	1.282,99

Embora possua diferenças consideráveis entre os valores de Wo, Wm e We, a receita líquida obtida entre estas lâminas são próximas, podendo o manejo da irrigação ser realizado considerando qualquer uma delas, pois, ao final ocorre pouca diferença na RL.

Comportamento semelhante a este trabalho foi reportado por Ramos et al. (2012), onde, estudando estratégias ótimas de irrigação em cultivares de feijão-Caupi observaram entre as cultivares que a Wo, Wm e a We também foram diferentes, sendo justificado devido as diferentes funções de produção água-cultura encontrada para cada cultivar.

Entre a comparação da RL na Wo, no tratamento SSI e entre os híbridos observou-se que, os tratamentos irrigados, em relação ao SSI apresentaram maior RL somente na Safra I, uma vez que, as chuvas apresentaram maior irregularidade de distribuição e afetou mais produtividade no tratamento SSI, que na Safra II. Na safra I a RL variou de R$ 405,39 ha^{-1} (Status) e R$ 2.805,51 ha^{-1} (AG 9025), representado acréscimo de 127,7% e 29,0% em relação ao SSI, respectivamente. O híbrido AG 9025 foi o que apresentou a maior RL tanto irrigado quanto SSI. Já o híbrido Status, além de ter apresentado a menor RL que os demais híbridos quando irrigado, no cultivo SSI a RL foi negativa, sendo de R$ -112,00 ha^{-1}, impossibilitando sua implantação em sistema de cultivo em nível de alta tecnologia e sem utilização de irrigação.

Na safra II no cultivo irrigado, somente o híbrido P1630 apresentou RL maior que SSI. A RL deste híbrido quando irrigado foi de R$ 1.539,59 ha^{-1}, representando 4,7% superior que SSI. Para os demais híbridos a RL foi maior em cultivo SSI, sendo o AG 9025 o que se destacou com R$ 2.044,65ha^{-1}, enquanto que, irrigado a RL deste híbrido foi de R$ 1.804 ha^{-1} apresentando diferença de 16,2%. SSI este híbrido apresentou maior RL que todos os híbridos avaliados, irrigado senão irrigados, nesta safra.

A menor RL encontrada quando irrigado em relação ao SSI, na safra II deve-se a menor amplitude de produtividade entre os sistemas de cultivo proporcionada principalmente, pela

melhor distribuição das chuvas e, também, devido ao sistema irrigado possuir os custos relacionados à irrigação, necessitando haver uma produtividade que proporcione maior receita para cobrir estes custos. Desse modo, em anos com menor ocorrência de déficits hídrico ou com melhor distribuição de chuvas, a irrigação pode proporcionar menor RL para o cultivo de milho que quando em sequeiro. Por outro lado, salienta-se que, normalmente, a maioria das safras agrícolas há possibilidade de ocorrer déficit hídrico, mesmo em anos climaticamente favoráveis, além de, fenômenos climáticos como o La Niña que afeta a distribuição e o volume das chuvas (Bergamaschi et al., 2004).

Este fato foi enfatizado no trabalho de DeJonge et al. (2007), onde estudando a viabilidade econômica da irrigação em Iowa, EUA, observaram que, embora a irrigação aumente a produtividade em até 686 kg ha^{-1}, o retorno líquido foi superior em apenas 01, dos 28 anos simulados, devido nesta região a precipitação apresentar-se bem distribuída durante as safras, o que pode ser diferente em locais com maiores riscos de déficit hídrico.

Os indicadores de viabilidade econômica VPL, TIR e B/C podem ser observados na Tabela 3 para as safras estudadas. Nota-se que semelhante a RL estes indicadores também foram diferentes entre os híbridos e entre o sistema de cultivo irrigado e SSI.

Verificou-se VPL positivo para a maioria dos híbridos analisados, exceto para o Status, em ambos os sistemas, e o DKB 177 nos tratamentos irrigado, onde apresentaram VPL negativo. Ou seja, a maioria dos híbridos independente de ser irrigado ou SSI são economicamente viáveis. Porém, o híbrido que apresentou maior destaque para o VPL, em ambas as safras foi o AG 9025, sendo que no sistema irrigado o VPL foi de R$ 22.039,85 (safra I) e R$ 10.686,84 (safra II). Já no sistema SSI o VPL foi de R$ 20.175,23 (safra I) e R$ 19.004,99 (safra II).

Tabela 3. VPL, TIR e B/C para os híbridos no sistema SSI e no sistema irrigado na Wo para as safras I e II

safra	Híbrido	VPL (R$)		TIR (%)		B/C	
		Irrigado	SSI	Irrigado	SSI	Irrigado	SSI
I	DKB 240	R$ 6.909,71	R$ 11.845,07	12%	32%	1,11	1,25
	AG 9025	R$ 22.039,85	R$ 20.175,23	23%	51%	1,33	1,42
	AG 9045	R$ 2.885,25	R$ 1.120,85	8%	9%	1,04	1,02
	Status	-R$ 5.474,12	-R$ 3.976,18	1%	-3%	0,92	0,92
II	DKB 177	-R$ 8.338,81	R$ 146,59	-2%	6%	0,87	0,99
	AG 9025	R$ 10.686,84	R$ 19.004,99	15%	48%	1,17	1,40
	Pionner 1630	R$ 7.621,16	R$ 14.133,49	12%	38%	1,12	1,30
	AG 8780	R$ 4.926,04	R$ 13.227,26	10%	36%	1,08	1,28

O menor VPL observado no sistema irrigado associa-se ao maior custo relacionado à irrigação, enquanto que SSI este é desconsiderado, por outro lado, quando os valores de VPL foram menores SSI, isso deve-se a menor produtividade dos híbridos.

Comportamento semelhante ao VPL ocorre com a TIR, onde a maioria dos híbridos apresentaram valores superiores a taxa mínima de atratividade, considerada de 6% ao ano, se destacando novamente o híbrido AG 9025, com valores entre 15 e 51%.

O B/C também evidenciou a viabilidade econômica da maioria dos híbridos, onde esse indicador foi superior a 01, excetuando o híbrido Status e o DKB 177, onde obtiveram valores menores que 01, sendo inviável sua utilização independente se irrigado ou SSI.

Em relação ao sistema irrigado e o SSI, os indicadores apresentam uma contraposição em relação à viabilidade econômica e entre as safras. Considerando que é mais rentável quanto maior for o VPL, a TIR e o B/C, em relação à safra I seria mais rentável irrigar, se considerar o VPL, para o híbrido AG 9025 e AG 9045, porém, a TIR e o B/C indicam o contrário para a maioria dos híbridos.

Já na safra II os maiores valores de VPL, TIR e B/C foram obtidos SSI, indicando ser mais economicamente viável não utilizar sistema de irrigação. Entretanto salienta-se que, como mencionado anteriormente, houve melhor distribuição das chuvas na safra II ocorrendo condições com menores períodos de déficit hídrico, o que favoreceu a produtividade dos híbridos SSI e diminuiu a amplitude de produtividade entre irrigado e SSI, isso pode ser considerado também, em menor escala, para a safra I, em relação a maioria das safras agrícolas do estado (Bergamaschi et al., 2004).

Do mesmo modo Pereira et al (2015) avaliando a irrigação da cana de açúcar em manejo de irrigação plena, com déficit e de salvamento, observou que embora a irrigação plena proporcione maior VPL e B/C, a TIR foi maior no manejo de salvamento.

CONCLUSÕES

1. A utilização da irrigação suplementar é viável economicamente para a maioria dos híbridos de milho estudados, exceto para o híbrido DKB 177 e Status.

2. Devido a maior produtividade em anos com menor ocorrência de déficit hídrico a irrigação pode proporcionar receita líquida, valor presente líquido, taxa interna de retorno e razão benefício custo, inferior que quando cultivado em sistema de sequeiro.

3. A lâmina ótima de irrigação apresentou variação entre 74,3 e 90,1% da ETc, entre os híbridos estando dependente das características de respostas a irrigação e a tolerância ao déficit hídrico de cada híbrido.

4. O híbrido AG 9025 proporcionou maior valor presente líquido, taxa interna de retorno uma receita líquida entre os demais, com ou sem irrigação, sendo a receita líquida de R$ 2.805,51 ha^{-1}, quando irrigado na lâmina ótima e, R$ 2.044,65ha^{-1}, quando não irrigado.

LITERATURA CITADA

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration. Rome: FAO, 1998. 328p. Irrigationand Drainage Paper, 56.

Bergamaschi, H.; Dalmago, G. A.; Bergonci, J. I.; Bianchi, C. A. M.; Müller, A. G.; Comiran, F.; Heckler B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesquisa agropecuária brasileira, v.39, p.831-839, 2004.

Biscaro, G. A. Sistemas de irrigação por aspersão. Dourados. Editora da UFGD, 2009. 134p.

Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - EPAGRI/CEPA. Custo de Produção safra 2016/17.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Custos de produção agrícola: Planilhas de Custos de Produção - Culturas de 1ª Safra. Brasília: CONAB, 2018.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.

DeJonge, K. C.; Kaleita, A. L.; Thorp, K. R. Simulating the effects of spatially variable irrigation on corn yields, costs, and revenue in Iowa. Agricultural Water Management, v.92 n.2, p.99–109, 2007.

Djaman, K.; Irmak, S.; Rathje, W. R.; Martin, D. L.; Eisenhauer, D. E. Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St Joseph, MI, v.56, n.2, p.273-293, 2013

Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO – Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p.

Frizzone J. A.; Andrade Junior A. S. Planejamento de irrigação: Análise de decisão de investimento. Embrapa informações tecnológicas, Brasília, DF, 2005. 626p.

Frizzone, J. A. Planejamento da Irrigação com uso de técnicas de otimização. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. INOVAGRI, v.1, p.24–49, 2007.

Irmak, S. “Inter-annual variation in long-term center pivot irrigated maize evapotranspiration (ET) and various water productivity response indices: Part I. Grain yield, actual and basal ET, irrigation yield production functions, ET-yield production functions, and yield response factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.141, p.1–17, 2015.

Kaman, H.; Kirda, C.; Sesveren, S. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management, v.98, p.801–807, 2011.

Klocke, N. L.; Currie, R. S.; Tomsicek, D. J.; Koehn, J. W. Sorghum yield response todeficit irrigation. Transaction of the ASABE, v.55, p.947-955, 2012.

Marouelli, W. A.; Silva, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2. ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.

Martins, J. D.; Petry, M. T.; Rodrigues, G. C.; Carlesso, C. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. Irriga, Botucatu, edição especial, grandes culturas, p.150-165, 2016.

Paredes, P.; Rodrigues, G. C.; Alves, I.; Pereira L. S. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economicreturns of maize under various irrigation management strategies. Agricultural Water Management, v.135 p.27–39, 2014.

Pereira, R. M.; Alves Júnior, J.; Casaroli, D; Sales, D. L.; Rodriguez, W. D. M; Souza, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Cerrado brasileiro. Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015.

Ramos, H. M. M.; Bastos, E. A.; Andrade Júnior, A.S.; Marouelli, W. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.4, p.576-583, abr. 2012.

Rio Grande do Sul. LEI Nº 14.987, de 3 de maio de 2017. Dispõe sobre o reajuste dos pisos salariais no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul para as categorias profissionais que menciona, com fundamento na Lei Complementar Federal n.º 103, de 14 de julho de 2000, que autoriza os Estados e o Distrito Federal a instituir o piso salarial a que se refere o inciso V do art. 7.º da Constituição Federal, por aplicação do disposto no parágrafo único do seu art. 22. Palácio Piratini. Porto Alegre. 3 de maio de 2017.

Rio Grande Energia. Tarifas, taxas e tributos. - RGE SUL, 2017.

Santos Júnior, J. L. C.; Frizone, J. A.; Paz, V.P.S. Water use optimization through alternative water depths in the Formoso Irrigation District. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.19, n.7, p.621–629, 2015.

Sousa, R. S.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q.; Brito, R. R. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.14, n.1, p. 49-60, 2015.

Vieira, G. H. S.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Montes, P. D. R.; Cunha, F. F. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. Engenharia na agricultura, v.19 n.1, 2011.

4 ARTIGO 3 – COMPONENTES DO CUSTO E ECONOMIA DE ESCALA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA

COMPONENTES DO CUSTO E ECONOMIA DE ESCALA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA

Resumo: Os custos envolvidos na implantação e operação de sistemas de irrigação são de suma importância para o planejamento econômico da agricultura irrigada. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar os custos de implantação, fixos e variáveis anuais e, a ocorrência de economia de escala para um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa para diferentes tamanhos de área e declividades da linha de recalque. Para isso, desenvolveu-se projetos de irrigação, para áreas de 1, 3, 5, 10, 15, 20 e 25 ha e declividades da linha de recalque de 7 e 15%, e avaliados o custo de implantação, os fixos e variáveis anuais e seus componentes e, a ocorrência de economia de escala. Houve aumento do custo de implantação, fixo e variável, com o aumento do tamanho da área, sendo que, para o custo fixo e o de implantação, houve aumento devido ao custo exponencial do valor das tubulações e pela sua maior participação no custo total. Já o custo variável devido a manutenção seguir o custo de implantação. Portanto, o custo com as tubulações possui maior participação na implantação do sistema. O custo de implantação e os custos fixos e variáveis totais crescem com o aumento do tamanho da área irrigada. O custo variável da energia é constante com o aumento do tamanho da área e aumenta em aproximadamente 5,2%, da declividade de 7 para 15%. O aumento do tamanho da área irrigada proporciona deseconomias de escala.

Palavras-chave: custos fixos e variáveis, tamanhos de área, declividade, custo de implantação

COMPONENTS OF COST AND ECONOMY OF SCALE IN FIXED-SPRAY IRRIGATION SYSTEM

Abstract: The costs involved in the implementation and operation of irrigation systems are of paramount importance for the economic planning of irrigated agriculture. Therefore, the objective of this work was to determine the implantation costs, fixed and annual variables, and occurrence of economies of scale for a fixed conventional sprinkler irrigation system for different sizes the pumping pipe. For this, irrigation projects were developed for areas of 1, 3, 5, 10, 15, 20 and 25 ha and slopes in the pumping pipe of 7 and 15%. There was an increase in the fixed and variable implantation costs due to the increases in the size of the area. For fixed and installation costs, there was an increase due to the exponential cost of the pipes and their greater participation in the total cost. The variable cost due to maintenance follows the cost of deployment. Therefore, the cost with the pipelines has greater participation in the implementation of the system. The cost of implementation and the total fixed and variable costs increase with increases in the size of the irrigated area. The variable cost of energy is constant with increasing area size and increases, by approximately 5.2%, as the slope increases from 7 to 15%. Increasing the size of the irrigated area provides diseconomies of scale.

Keywords: fixed and variable costs, area sizes, declivity, deployment cost

INTRODUÇÃO

As vantagens da utilização da irrigação constituem-se em proporcionar menores riscos, maior eficiência na utilização e aplicação de insumos, e, principalmente, a eliminação dos

efeitos da deficiência hídrica causada pela má distribuição das chuvas, proporcionando assim, maior garantia e aumento na produtividade das culturas agrícolas (SOARES et al., 2016).

Apesar de a irrigação possibilitar estas vantagens, Silva et al. (2007) afirmam que esta tecnologia requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos agrícolas, e, com isso deve-se considerar as questões econômicas envolvidas em seu emprego, pois, a implantação e operação de sistemas de irrigação envolvem vários custos.

Para Fernandes et al. (2008) estes custos referem-se aos relacionados com a compra do equipamento de irrigação, bem como, sua implantação, operação, depreciação e manutenção durante sua vida útil, podendo estes custos serem divididos em fixos e variáveis.

O método de irrigação por aspersão convencional é muito utilizado pelos agricultores, principalmente em pequenas e médias propriedades rurais devido a sua ampla aplicabilidade (MARTINS et al., 2011). Este método é dividido em vários tipos, sendo a permanente ou fixa a que tem apresentado maior interesse pelos agricultores, sobretudo, pela menor necessidade de mão de obra, já que, todas as tubulações permanecem fixas no terreno cobrindo toda a área, todavia, em relação ao o custo de implantação deste sistema, salienta-se que é mais elevado em comparação aos demais tipos (TESTEZLAF, 2017; ZHANG et al., 2018).

Outro fator a ser considerado além do custo de implantação é a variabilidade deste custo e dos custos anuais totais em relação à área irrigada do sistema. Castro Junior et al. (2015) afirmam que, normalmente, na medida que se aumenta a área do projeto de irrigação, há uma tendência à diminuição do custo por hectare, devido principalmente à diluição dos custos fixos e de implantação.

Bonomo et al. (2000) analisando diferentes equipamentos de irrigação para o café, observou que o aumento da área do sistema de, 25 para 125 ha ocasionou uma diminuição linear dos custos, na ordem de R$ 849,49 para R$ 344,56 ha^{-1}, na média dos equipamentos. Por outro lado, no trabalho de Vieira et al. (2011), também analisando diferentes sistemas de

irrigação, observaram que houve um aumento dos custos com o aumento do tamanho da área irrigada.

Quando ocorre o aumento do tamanho da área irrigada, a produção segue este padrão e o custo médio diminui mais que proporcionalmente, pode-se considerar que ocorre economia em escala, por outro lado, se os custos aumentaram mais que proporcionalmente com o aumento do tamanho da área irrigada pode-se considerar que houve deseconomia de escala (DEMEU et al., 2015)

Este fator influencia significativamente a tomada de decisão e o planejamento da irrigação para os produtores rurais, pois embora o aumento da área irrigada possibilite aumento da produção, os custos podem não apresentar o mesmo comportamento.

Deste modo, a obtenção dos custos relativos à irrigação e a observação da ocorrência de economia de escala podem auxiliar os técnicos e agricultores, na análise econômica de projetos e dimensionamento de sistemas de irrigação. Assim, objetivou-se neste estudo determinar os custos de implantação, fixos, variáveis e a ocorrência de economia de escala para o sistema de irrigação por aspersão fixa em diferentes tamanhos de área e declividades na linha de recalque.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram desenvolvidos diferentes projetos de irrigação de forma teórica, atendendo requisitos básicos de projetos de acordo com a metodologia de Biscaro (2009). Assim, para a estimativa dos custos do sistema de irrigação utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão convencional fixa (ACF), considerando áreas (A) com 7 tamanhos distintos (1, 3, 5, 10, 15, 20 e 25 ha) e com duas diferentes declividades geométricas na linha de recalque, sendo de 7 (D7) e 15% (D15), totalizando 14 projetos.

Adotou-se o valor de 110 m de comprimento da tubulação de recalque, 10 m de sucção, desnível geométrico de sucção de 4 m e considerou-se a linha principal e as linhas laterais instaladas em terreno plano (em nível) e regular, onde, as linhas principais foram posicionadas no centro da área, contendo linhas laterais em ambos os lados. Utilizou-se a altura de instalação dos aspersores nas linhas de irrigação de 2,5 m em relação ao solo.

Para o dimensionamento dos sistemas de irrigação foram utilizados dados de evapotranspiração máxima diária de 8,4 mm.

As características consideradas para determinação da demanda hídrica foram: capacidade de campo (0_{cc}= 0,33 m^3 m^{-3}), ponto de murcha permanente (0_{pm}= 0,16 m^3 m^{-3}), densidade do solo (ds= 1,3 g cm^{-3}), fator de disponibilidade hídrica (f= 0,5), profundidade do sistema radicular (z= 70 cm), eficiência dos sistemas de irrigação (Ea= 85 %), sendo esta eficiência considerada adequada para sistemas de irrigação por aspersão (BISCARO, 2009).

Para as irrigações optou-se por um turno de rega de 6 dias, levando em considerando que um trabalhador deve ter um dia de folga na semana. A partir destes dados foram determinadas a taxa de aplicação necessária para atender a demanda de cada projeto desenvolvido. O tempo de irrigação diário foi definido próximo a 8h diárias devido ao período de trabalho diário.

Do mesmo modo, para o melhor aproveitamento dos recursos e redução dos custos com os sistemas de irrigação, foram realizadas a setorização dos sistemas de irrigação, com diferentes números de linhas laterais operando simultaneamente, atendendo toda a área pretendida.

Para realizar o cálculo das perdas de carga principal ou distribuída ao longo das tubulações das linhas laterais, principal, recalque e sucção foi utilizada a equação de Hazen-Williams, Equação 1.

$$hf=10,645\frac{L}{D^{4,87}}\frac{Q^{1,85}}{C^{1,85}} \qquad \text{Eq. 1}$$

sendo, hf - Perda de carga principal (m), L - Comprimento (m), C- Coeficiente Hazen-Williams, D - Diâmetro da tubulação(m) e Q - Vazão ($m^3\ s^{-1}$).

Já as perdas de carga secundária ou localizada nas linhas de irrigação foram determinadas através do método dos coeficientes das peças, Equação 2. Os diâmetros das tubulações foram definidos de maneira que a velocidade máxima de escoamento não ultrapasse 2 m s^{-1}. Considerando para a tubulação de sucção um diâmetro comercial superior ao utilizado no recalque. Também, nas linhas laterais foi permitida a variação máxima de 20 % da pressão de serviço do aspersor, sendo esta de 25 mca.

$$hfloc=\sum K\,.\,\frac{v^2}{2g} \qquad \text{Eq. 17}$$

sendo, hfloc- Perda de carga localizada (m), v- Velocidade de escoamento (m s^{-1}), g- Aceleração da gravidade (m s^{-1}) e K- Coeficiente de peça.

Selecionou-se o conjunto motobomba com catálogos dos fabricantes, identificando os modelos que atenderam à vazão e à altura manométrica total de cada sistema de irrigação com melhor rendimento.

Os valores de compra dos equipamentos foram consultados no comércio de Santa Maria e Santiago/RS em Reais, nos meses de agosto e setembro de 2017, sendo a cotação média do dólar neste período de R$ 3,11. Os custos considerados foram os relacionados com a implantação do equipamento de irrigação e os custos fixos e variáveis anuais do sistema.

O custo de implantação foi dividido em: custos com aspersores (CA), custo com as tubulações e peças (CTP) e custo do conjunto motobomba (CMB). Os custos fixos representam o custo anual equivalente ao investimento efetuado com a aquisição do sistema de irrigação, mais o custo com seguro. Ou seja, custo com depreciação (CD), custo com juros sobre o capital investido (CJ) e o custo com seguro (CS), sendo estes em R$ ha^{-1}.

Os valores de CD foram calculados utilizando-se a Equação 3 (CONAB, 2010),

$$CD= \frac{(VN-VR)}{VUh} . HsTr \qquad \text{Eq. 3}$$

onde, VN é o valor de aquisição do componente novo em R$ ha^{-1}, VR é o valor residual do componente em R$ ha^{-1}, Vuh é a vida útil do componente em horas e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente em horas. O valor residual foi calculado como 20% do valor de compra de cada componente e a vida útil utilizada foi de 20 anos.

Os valores de CJ foram calculados considerando-se a taxa de remuneração de 6,0% ao ano, aplicados sobre o valor médio dos equipamentos, conforme a Equação 4 (CONAB, 2010).

$$CJ= \{[((VN.QM)/2)/CAT].HsTr\}.J \qquad \text{Eq. 4}$$

onde, QM é a quantidade do bem, CAT é a capacidade de trabalho do bem (h) e J é a taxa de remuneração.

O valore de CS foi determinado como sendo 0,35% do valor médio do bem novo (CONAB, 2010), conforme equação 13.

$$CS=(VN/2).0,35.(HsTr/Vuh) \qquad \text{Eq. 5}$$

Para os custos variáveis considerou-se os custos com energia elétrica (CVE), com mão de obra (CVMO) e com a manutenção do sistema (CVMAN), em R$ ha^{-1}.

O custo variável da energia elétrica foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e sua eficiência, o valor cobrado do kwh pela companhia de energia e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação, para cada sistema de irrigação (Equação 6).

$$CvE=Pw.Ee.T.w \qquad \text{Eq. 6}$$

onde, Pw é a potência do conjunto motobomba (kW h^{-1}), Ee é o preço da energia elétrica (R$ Kw^{-1}), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água (h mm^{-1}) e w é a lâmina de irrigação (mm ha^{-1}).

Adotou-se o valor médio de152 mm de lâmina de irrigação. O valor da energia de R$ 0,32 kW h^{-1}, sendo este o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Rio Grande Energia, 2017).

O custo de mão de obra foi calculado utilizando o tempo proposto para sistemas de irrigação por aspersão convencional fixa, sendo de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação (MAROUELLI; SILVA, 2011), considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB (2010), como na Equação 7.

$$CvMo=Ni.Ns.0,5.VSMin/220.w/100 \qquad \text{Eq. 718}$$

onde: Ni é o número de irrigações, Ns é o número de setores do sistema de irrigação e VSMin é o valor do salário mínimo rural em R$.

O número de irrigações considerado foi de 06, o número de setores do sistema de irrigação foi de 06e o valor do salário mínimo rural utilizado foi de R$ 1.175,47 (Rio Grande do Sul, 2017).

Os valores dos custos com manutenção foram calculados sobre 1% do valor novo do sistema de irrigação, acrescido de 10% do custo com energia (CONAB, 2010), conforme a Equação 8.

$$CvMan=VN.0,01+(CvE/10) \qquad \text{Eq. 8}$$

Ao final das simulações, foram obtidos os custos de implantação e seus componentes (aspersores, tubulações e conjunto motobomba), os custos fixos anuais(depreciação, juros sobre o capital investido e seguro), variáveis anuais (energia elétrica, mão de obra e manutenção) e totais anuais – CT (somatório fixos e variáveis) de cada sistema em valores unitários (R$ ha^{-1}), e, então, fornecidos um indicativo dos menores custos entre as áreas e declividades.

Também verificou-se a ocorrência da economia de escala pela observação do comportamento do custo anual total, ente os tamanhos de área. Ou seja, se o CT diminuir com o aumento da área irrigada considerou-se que houve economia de escala, do contrário, se o CT aumentar com o tamanho da área, considerou-se que ocorre deseconomia de escala e, se o CT permanecer constante, considerou-se economia constante a escala.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os custos de cada componente do sistema de irrigação e o custo total de implantação para cada área e declividade, são apresentados na Tabela 1, em valores unitários (R$ ha^{-1}).

Tabela 1. Custo dos aspersores, tubulações, conjunto motobomba e total de implantação (R$ ha^{-1}) para cada área e declividade da linha de recalque (LR) do sistema de irrigação.

Declividade LR (%)	Área (ha)	Aspersores	Tubulações	Conjunto Motobomba	Total Implantação
7	1	302,79	3514,15	1854,30	5671,24
	3	305,77	4232,98	1479,07	6017,82
	5	368,76	4985,67	1426,76	6781,19
	10	308,38	7633,02	1119,09	9060,50
	15	309,00	6870,94	1500,30	8680,25
	20	309,33	7307,90	1225,82	8843,05
	25	309,48	7195,12	1328,53	8833,13
15	1	302,79	3514,15	1854,30	5671,24
	3	305,77	4232,98	1579,17	6117,92
	5	368,76	4985,67	1752,85	7107,28
	10	308,38	7633,02	1196,22	9137,62
	15	309,00	6870,94	1610,90	8790,85
	20	309,33	7307,90	1225,82	8843,05
	25	309,48	7195,12	1328,53	8833,13

O custo com aspersores apresentou relativamente pouca variação em relação às áreas avaliadas. Este fato se deve, pois, o número deste componente segue proporcionalmente o aumento da área. Este custo variou entre R$ 302,79 ha^{-1} e R$ 368,76 ha^{-1}.

Em relação ao custo com o conjunto motobomba (R$ ha^{-1}), a mesma apresentou uma tendência de diminuição em relação ao aumento do tamanho da área do sistema. Desse modo, este custo pode favorecer a ocorrência de economia em escala.

Para diferentes áreas, em alguns casos a bomba ou o motor utilizado, possuem o mesmo tamanho e modelo, assim os custos ficam próximos e, quando convertidos em unitários apresentam uma variação considerável, como para as áreas de 15, 20 e 25 ha, onde o mesmo modelo de bomba foi utilizado, porém, com motores diferentes, representando pouco acréscimo no custo total.

Em relação à declividade, a única variação é em relação ao custo do conjunto motobomba, devido à necessidade de escolha de uma bomba maior e de um motor com maior potência para a D15 em relação a D7. Embora, em alguns projetos com a mesma área, como no caso de 01, 20 e 25 ha, o mesmo conjunto motobomba de cada área foi compatível para as duas declividades avaliadas, não havendo variação do custo de implantação deste, em função da declividade.

O custo referente às tubulações apresentou um acréscimo em função do aumento do tamanho da área irrigada. Observa-se que os custos de cada tubo apresentam um aumento exponencial, conforme a ampliação do diâmetro, considerando que, com o incremento da área irrigada eleva-se o diâmetro dos tubos para atender a vazão necessária, isso, impacta diretamente no custo unitário de implantação do sistema.

Em relação ao custo unitário total de implantação dos sistemas, nota-se uma tendência de acréscimo com o aumento da área irrigada, além disso, as áreas de 10, 15, 20 e 25 ha apresentaram valores próximos entre si e superiores às áreas de 1, 3 e 5 ha, que também

apresentaram valores próximos. O custo das áreas de 1, 3 e 5 ha, entre as duas declividades variou de R$ 5671,24 a R$ 6781,19 ha^{-1}, enquanto paras as demais áreas (10, 15, 20 e 25 ha) variou de R$ 8833,13 a R$ 9137,62 ha^{-1}.

A ampliação deste custo, em relação ao aumento do tamanho da área irrigada ocorre devido aos custos relativos ao componente tubulação, pois o mesmo apresenta um comportamento exponencial em seus preços em função do diâmetro, apresenta maior participação no custo total de implantação e, também, os outros componentes apresentarem redução pouco considerável, conforme o aumento do tamanho da área do sistema de irrigação.

Este comportamento está de acordo com os observados por Carrión et al. (2016), onde também observaram um aumento do custo de implantação, com o aumento do tamanho da área irrigada, considerando também diferentes espaçamentos entre aspersores.

O custo total de implantação observado nesta pesquisa está próximo dos mencionados por Marouelli e Silva (2011), onde para o sistema convencional fixo, para cultivo de hortaliças citam valores entre R$ 7.000,00 e R$ 15.000,00 ha^{-1}, sendo estes, dependentes do tamanho da área, nível de automação, qualidade do equipamento, dentre outros fatores.

Os percentuais da participação dos componentes dos sistemas de irrigação em relação ao custo total de implantação estão apresentados na Figura 1.

As tubulações são os componentes que possuem maior participação no custo total de implantação do sistema de irrigação, independentemente do tamanho da área do sistema. Houve uma tendência de aumento de 62 a 83,5% de participação deste custo conforme o aumento do tamanho da área irrigada.

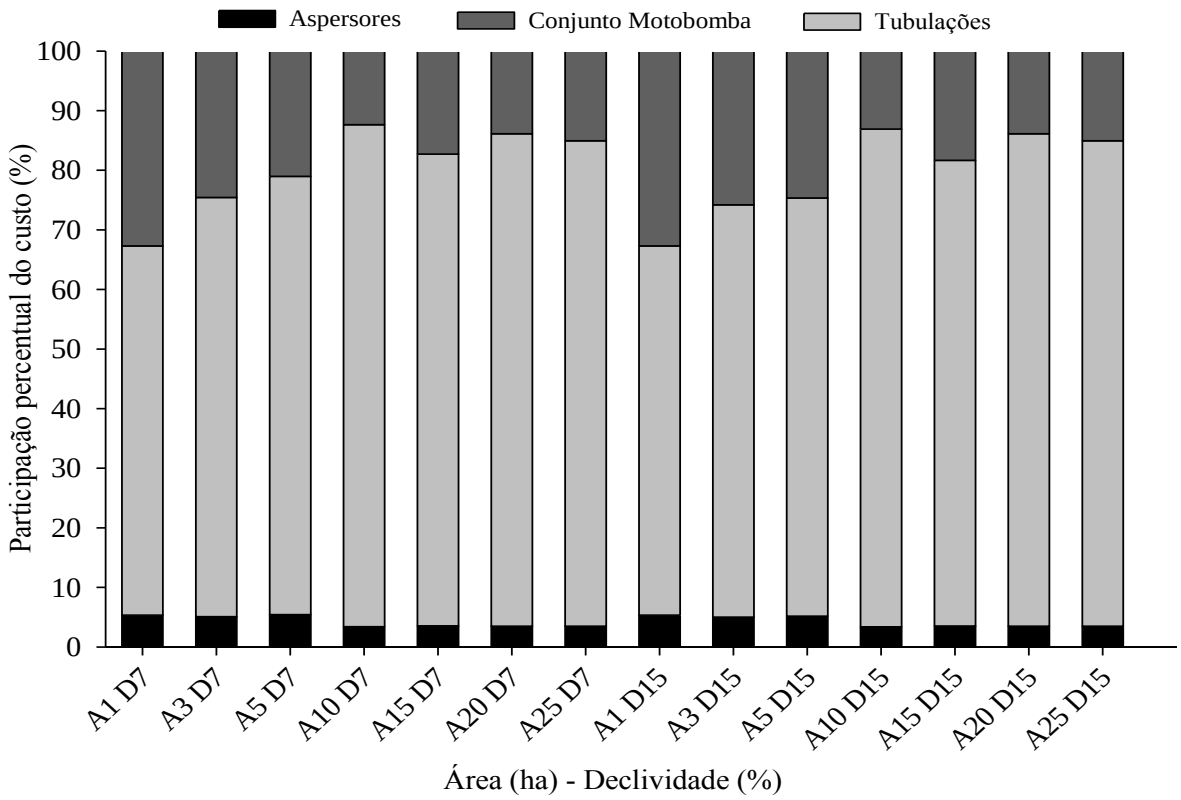


Figura 1. Percentual de participação de cada componente no custo total de implantação para as áreas (A) e declividades (D).

Nota-se que o conjunto motobomba é o segundo componente que apresenta maior participação no custo de implantação. Este componente apresentou variação entre 12,4 e 32,7% e diminuiu com o tamanho da área do sistema. Quando observado o custo com aspersores, estes proporcionaram participação menor que 5,4 % do custo total de implantação, sendo o que possui menor participação entre os componentes avaliados.

Os custos anuais, ou seja, custos fixos e variáveis, para cada tamanho de área e declividade da linha de recalque analisada estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Custos anuais fixos, fixo total, variáveis e variável total (R$ ha^{-1}) para cada declividade da linha de recalque e tamanho de área.

Declividade LR (%)	Área (ha)	Custo Total (R$ ha^{-1})							
		Fixos				Variáveis			
		CD	CJ	CS	Total	CVe	CVMO	CVMan	Total
7	1	226,85	170,14	49,62	446,61	97,88	146,13	66,50	310,51
	3	240,71	180,53	52,66	473,90	92,50	146,13	69,43	308,06
	5	271,25	203,44	59,34	534,02	102,27	146,13	78,04	326,44
	10	362,42	271,81	79,28	713,51	76,95	146,13	98,30	321,38
	15	347,21	260,41	75,95	683,57	103,22	146,13	97,12	346,47
	20	353,72	265,29	77,38	696,39	96,34	146,13	98,06	340,53
	25	353,72	264,99	77,29	696,01	104,95	146,13	98,83	349,91
15	1	226,85	170,14	49,62	446,61	117,14	146,13	68,43	331,69
	3	244,72	183,54	53,53	481,79	118,55	146,13	73,03	337,71
	5	284,29	213,22	62,19	559,70	126,79	146,13	83,75	356,67
	10	365,50	274,13	79,95	719,59	93,44	146,13	100,72	340,29
	15	351,63	263,73	76,92	692,28	121,38	146,13	100,05	367,55
	20	353,72	265,29	77,38	696,39	112,38	146,13	99,67	358,17
	25	353,3	264,99	77,29	695,61	120,06	146,13	100,34	366,53

Em relação ao custo fixo total observa-se uma tendência de acréscimo com o aumento do tamanho da área do sistema, sendo o mesmo comportamento observado em relação ao custo de implantação, uma vez que, para elaborar os custos fixos como depreciação, juros e seguro, leva-se em consideração o valor do equipamento novo. Com isso, o menor custo fixo foi observado para a área de 1 ha, enquanto que o maior para a área de 10 ha. Por sua vez, o custo com depreciação é o que apresenta maior representação na composição final do custo fixo, sendo este o que mais onera o empreendimento.

Castro Junior et al. (2015) analisando uma área irrigada de 10 ha, com características do sistema de irrigação, semelhantes ao desta pesquisa observaram um custo fixo anual de depreciação e do juro sobre o capital investido de R$ 552,76 ha^{-1}. Este valor está abaixo do observado nesta pesquisa, considerando o CF total para a área de 10 ha, os valores observados

foram de R$ 713,51 ha^{-1}, para a declividade de 7% e, de R$ 719,59 ha^{-1}, para a declividade de 15%.

Para os custos variáveis considerou-se a aplicação de uma lâmina de irrigação de 152 mm e o número de 6 irrigações. Para o custo com energia, o maior valor foi observado na área de 5 ha, para a declividade de 15% e o menor valor na área de 10 ha. Não foi observado tendência de aumento ou redução do custo com energia em relação a área irrigada. Devido a maior exigência de potência para bombeamentos em maiores alturas manométricas, a maior declividade (15%) proporcionou um aumento no custo com energia em relação a declividade de 7%.

Para o custo relativo a manutenção dos sistemas de irrigação, notou-se uma tendência de aumento com o tamanho da área irrigada, este comportamento se deu devido parte deste custo levar em consideração o valor de implantação do sistema, sendo que, como apresentado anteriormente, este aumenta com o tamanho da área irrigada.

O custo com mão de obra foi de R$ 146,13 ha^{-1}, sendo que, não apresentou variação entre o tamanho da área e a declividade, visto que, considerou-se uma mesma lâmina e número de irrigações para os diferentes sistemas. No entanto, este custo é o que apresentou maior participação na composição final do custo variável total.

O custo anual total, ou seja, soma dos custos fixos e variáveis, pode ser observado na Figura 2. O custo anual total apresentou uma tendência de incremento conforme o aumento da declividade e da área irrigada. O valor mais alto foi observado para área de 19,1 ha e 15% de declividade, com um custo de R$ 1088,63 ha^{-1}, já os menores valores foram observados no tamanho de área de 1 ha, com R$ 763,86 ha^{-1}.

Devido ao aumento do custo total com o tamanho da área irrigada, observou-se que não houve economia de escala, ou seja, esta situação configurou-se como deseconomia de escala.

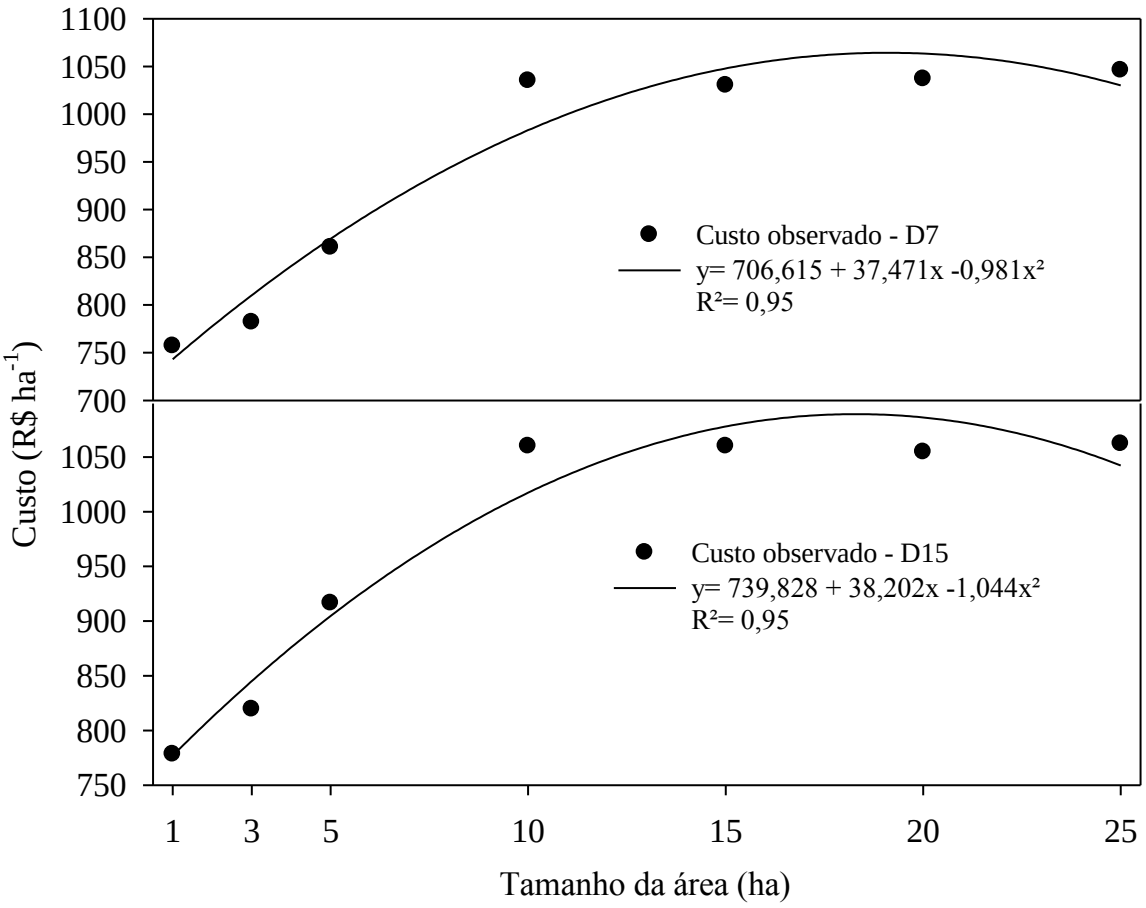


Figura 2. Custo anual total (R$ ha^{-1}) para os diferentes tamanhos de área e declividades.

Comportamento similar ao desta pesquisa foram observados por Vieira et al. (2011), onde os custos com implantação e os custos fixos e variáveis anuais, para o mesmo tipo de sistemas de irrigação, para a cultura do café, apresentaram aumento com o tamanho da área do sistema de irrigação. Estes autores também observaram que o custo com as tubulações foi o responsável por este comportamento.

CONCLUSÕES

O custo de implantação e os custos fixos e variáveis totais anuais crescem com o aumento do tamanho da área do sistema de irrigação, sendo mais elevado a partir de 10 ha em relação as áreas de 1, 3 e 5 ha.

Entre os componentes o custo com as tubulações possui maior participação na implantação de um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa.

O custo variável da energia é constante com o aumento do tamanho da área irrigada e aumenta aproximadamente 5,2 % da declividade de 7 para 15%.

O aumento do tamanho da área irrigada em sistemas de irrigação por aspersão convencional fixa proporciona deseconomias de escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 328p. Irrigation and Drainage Paper, 56.

BISCARO, G. A. Sistemas de irrigação por aspersão. Dourados. Editora da UFGD, 2009. 134p.

CARRIÓN, F.; SANCHEZ-VIZCAINO, J. S.; CORCOLES, J. I.; TARJUELO J. M.; MORENO, M. A. Optimization of groundwater abstraction system and distribution pipe in pressurized irrigation systems for minimum cost. **Irrigation Science**, v.34, n.2p. 145–159, 2016.

CASTRO JÚNIOR, W. L. OLIVEIRA, R. A.; SILVEIRA, S. F. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na Produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.406-418, 2015.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações.** Campinas, SP. Unicamp/FEAGRI, 2017. 215 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília: CONAB, 2010. 60 p. https://www.conab.gov.br/images/arquivos/informacoes_agricolas/metodologia_custo_producao.pdf. 05 maio 2018.

DEMEU, F. A.; LOPES M. A.; ROCHA, C. M. B. M.; COSTA, G. M.; S SANTOS, G.; FRANCO NETO, A. Influência da escala de produção no impacto econômico da mastite em rebanhos bovinos leiteiros. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.2, p.167-174, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562020006

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos** FAO – Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R**. Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n.1, p.24–49, 2007

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2. ed. **Circular Técnica 11**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75698/1/ct-98.pdf. 11 mai. 2018.

MARTINS, C. A. S; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **IDESIA** (Chile) v. 29, n.3, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. LEI Nº 14.987, de 3 de maio de 2017. Dispõe sobre o reajuste dos pisos salariais no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul para as categorias profissionais que menciona, com fundamento na Lei Complementar Federal n.º 103, de 14 de julho de 2000, que autoriza os Estados e o Distrito Federal a instituir o piso salarial a que se refere o inciso V do art. 7.º da Constituição Federal, por aplicação do disposto no parágrafo único do seu art. 22. Palácio Piratini. Porto Alegre. 3 de maio de 2017.<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEI%2014.987.pdf.>.05 mai. 2018.

RIO GRANDE ENERGIA. Tarifas, taxas e tributos. - RGE SUL. <https://www.rgesul.com.br/clientes-residenciais-comerciais/Paginas/informacoes/tarifas-taxas-tributos.aspx>. 26 jan. 2018.

SILVA, M. L. O. FARIA, M. A.; REIS, R. P.; SANTANA, M. J.; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.1, p.200-205, jan./fev. 2007.

SOARES, F. C. PARIZI, A. R. C.; SILVA, G. U.; ESSI, R.; RUSSI, J. L.; BE**N**, L. H.; SANTOS, P. R. Irrigação suplementar na produção de grãos e na eficiência de uso da água do feijoeiro. **Revista Agrarian.** Dourados, v.9, n.34, p.374-382, 2016.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; MONTES, P. D. R.; CUNHA, F. F. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na agricultura**, viçosa - MG, v.19 n.1, 2011. DOI: 10.13083/1414-3984.v19n01a06

ZHANG, G.; XIE, C.; HAOJIELAI, H.; LI, X. Buried Lifting SprinklingIrrigationDevice. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 144, n.1. 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001264

5 DISCUSSÃO

Durante a realização do experimento de campo para obtenção dos componentes de rendimento e da produtividade de grãos dos híbridos, para as diferentes lâminas de irrigação observou-se períodos com déficit hídrico, onde foi necessário a realização das irrigações suplementares para suprir a demanda da cultura.

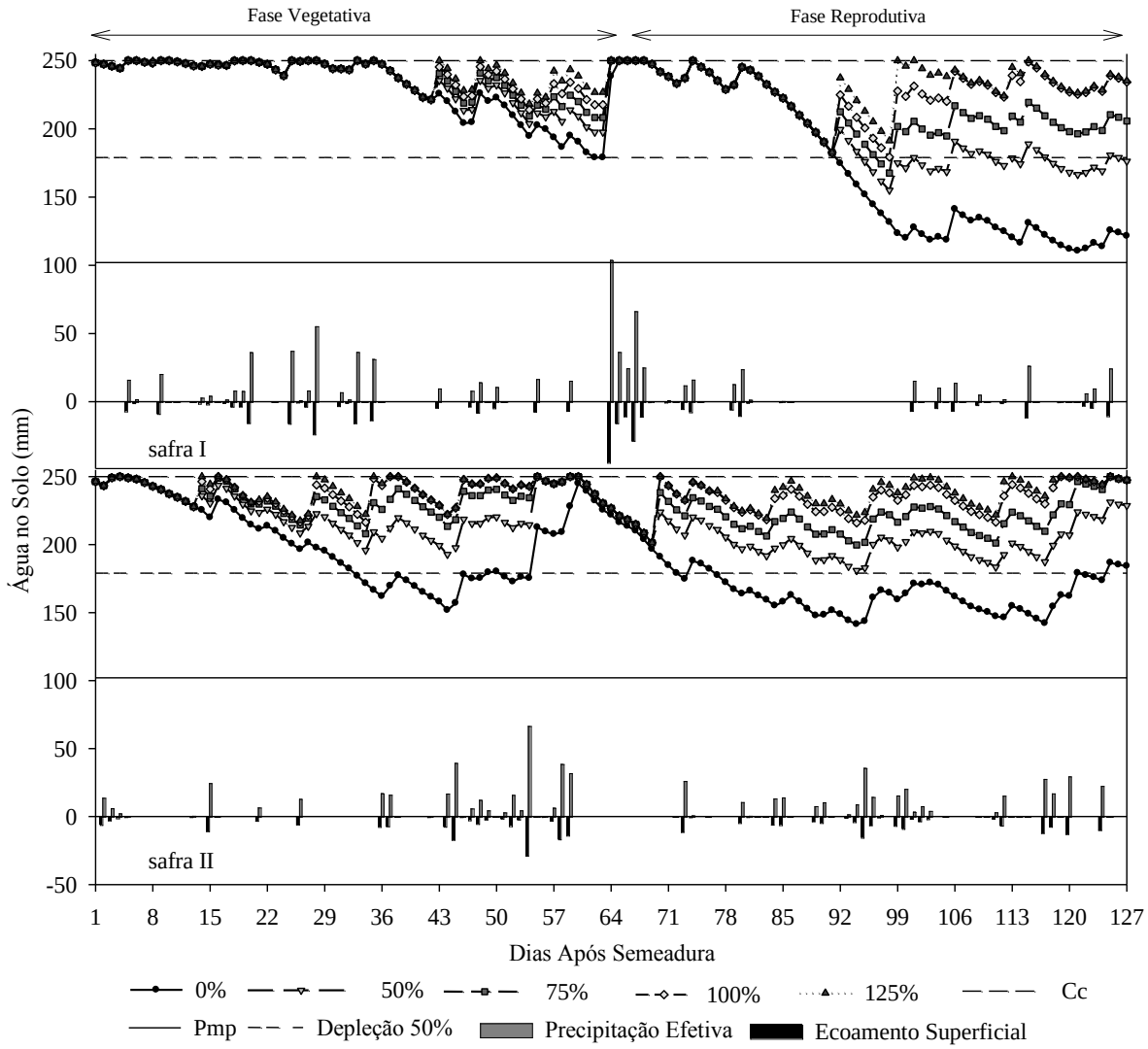
Na Figura 01, observa-se a precipitação efetiva, o escoamento superficial, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, a depleção e o balanço hídrico do solo para cada tratamento e safras estudadas. Na safra 2015/2016 (I), a precipitação pluvial acumulada coletada na estação meteorológica foi de 1095 mm, considerando o escoamento superficial estimado, obteve-se a precipitação efetiva, sendo esta de 799 mm. Para a safra 2016/2017 (II) a precipitação total foi de 972 mm, enquanto que a efetiva foi de 683 mm.

Se verificar o volume de precipitação ocorrida durante os experimentos, pode-se considerar suficiente para suprir a demanda hídrica dos híbridos, pois segundo Cruz et al. (2010) a quantidade de água consumida durante o ciclo do milho varia entre 500 e 600 mm e, principalmente, se considerar Souza et al. (2012) onde verificaram para o ciclo de 115 dias consumo total de água de 394,1mm. Porém, como verifica-se na figura 01 houve períodos em que as precipitações não foram suficientes para repor a água consumida pelas plantas, ocasionando em uma depleção de água no solo abaixo da recomendada para o milho, que para as condições experimentais considerou-se de 50% (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

Estes períodos em que a água no solo ficou abaixo da depleção foi suficiente para afetar os componentes de rendimento e a produtividade dos híbridos, especialmente na safra I, onde a partir dos 79 até os 101 DAE, não ocorreu nenhuma precipitação, e, as que ocorreram após este período não foram suficientes para repor totalmente a água do solo. Este efeito foi mais acentuado no tratamento sem irrigação (T0) e, em menor escala para o tratamento que receberam as lâminas de reposição de 50 e 75% da ETc. Com isso, as principais variáveis analisadas foram significativamente afetadas, o que foi possível observar a importância técnica da irrigação, para os diferentes híbridos avaliados.

Para a safra II, o déficit de água no solo foi menos acentuado que para a safra I, porém, embora isso tenha ocorrido, também houve efeito significativo nos componentes de rendimento, na produtividade de grãos e na eficiência no uso da água dos híbridos.

Figura 1 – Balanço de água no solo para os diferentes tratamentos de irrigação e safras estudadas.



Fonte: O autor

Embora a deficiência hídrica tenha afetado os componentes de rendimento e a produtividade dos híbridos, salienta-se que as respostas dos mesmos foram diferentes em função das lâminas de irrigação e entre si. Para a safra I, por exemplo, o híbrido AG 9045 obteve a máxima produtividade irrigada, na lâmina de 99% da ETc, de 13578,1 kg ha^{-1}, enquanto que sem irrigação este híbrido apresentou produtividade 41% inferior. Já, o híbrido DKB 240 foi o que apresentou menor diferença de produtividade entre os tratamentos de irrigação, este híbrido obteve a máxima produtividade de 14279,2 kg ha^{-1}, ademais sem irrigação apresentou redução de 21,5%.

O mesmo pode ser observado na safra II, onde o híbrido DKB 290 apresentou produtividade máxima de 14599,8 kg ha^{-1} irrigado, e sem irrigação a redução foi de 17,6%. Em comparação ao híbrido DKB 230 (produtividade de 13525,1 kg ha^{-1}), a produtividade obtida foi maior que o DKB 290, porém, este híbrido apresentou redução de apenas 9,9% quando não irrigado.

Em ambas as safras o híbrido AG 9025 destacou-se como o mais produtivo entre os híbridos. Na safra I este híbrido obteve uma produtividade máxima irrigado de 17368,7 kg ha^{-1}. Já na safra II a produtividade deste híbrido foi de 14659,7 kg ha^{-1}, porém não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os híbridos P 1630 e DKB 290.

Com respostas produtivas diferentes entre os híbridos e entre as lâminas de irrigação, verificou-se diferentes funções de produção água-cultura entre os híbridos e diferentes lâminas de máxima eficiência técnica (MET). Na safra I a lâmina de MET variou entre, 90,1 (DKB 240) a 99% (AG 9045) da ETc e na safra II, a variação da MET entre os híbridos foi de 105,4% (P 1630) e 90,6% (DKB 290) da ETc.

A eficiência no uso da água também foi variável entre os híbridos e apresentaram diferentes lâminas de máxima eficiência. Por exemplo, o híbrido DKB 240 a lâmina de 45,7% da ETc proporcionou a maior EUA deste híbrido, enquanto que para o AG 9025 foi a lâmina de 68,0% da ETc. A EUA também é variável entre as safras, ou seja, na safra II onde necessitou de menor volume de irrigação, a EUA foi obtida nas lâminas menores. Considerando isso, observou-se que o DKB 230 apresentou maior EUA sem irrigar, enquanto o DKB 290 apresentou maior EUA na lâmina de 45,5%.

Por outro lado, em comparação aos híbridos, os que apresentaram maior produtividade de grãos, foram os que obtiveram maior EUA, visto que, a lâmina de água aplicada dentro de um mesmo tratamento de irrigação é a mesma, logo o mais produtivo apresentará maior EUA. Ou seja, o AG 9025 que apresentou a maior produtividade de grãos, também obteve a maior EUA de 1,70 e 1,84 kg m^{-3}, safra I e II respectivamente.

Estas respostas para os componentes de rendimento, produtividade de grãos e eficiência no uso da água entre os híbridos e para as lâminas de irrigação estão coerentes com os verificados por Sousa et al. (2015) onde, o déficit hídrico reduziu os componentes de rendimento e a produtividade de grãos, e, aumentou a eficiência de uso da água dos híbridos de milho. Todavia, as respostas dos híbridos ao déficit hídrico foram diferentes, porquanto, para alguns a redução da produtividade chegou a 82,9%, enquanto que, para outros a redução foi de apenas 23,6%.

Segundo Sangoi et al. (2006) e Borém et al. (1999), estas respostas são influenciadas pelas características genéticas específicas de cada genótipo, sendo que híbridos mais produtivos podem apresentar maior eficiência da utilização dos recursos do meio, refletindo em diferentes produtividades e em diferentes respostas ao déficit hídrico.

Estes resultados também estão de acordo com os encontrados por Kaman et al. (2011), em um estudo sobre irrigação plena e deficitária em híbridos, onde os autores encontraram diferentes valores de produtividade de grãos, em relação ao manejo da irrigação e entre os genótipos, onde as maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos sem restrição hídrica.

Deste modo, o uso de híbridos que tenham maior produtividade em manejos irrigados é um fator importante no sistema de produção de milho (PIZOLATO NETO et al., 2016). Por sua vez, devido a irrigação ser uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos agrícolas (SILVA et al. 2007), a adoção de uma agricultura irrigada deve ser criteriosamente estudada e analisada, objetivando-se sempre que o incremento no rendimento seja maior que os custos de produção.

Observa-se que na composição dos custos oriundos dos sistemas produtivos os mesmos são divididos em fixos e variáveis relacionados e não relacionados a irrigação. O custo de produção de milho, ou seja o custo não relacionado a irrigação (CNRI) foi de R$ 3904,89 ha^{-1}, este custo é referente a implantação e condução de uma lavoura de milho sob alta tecnologia e considerado constante entre os tratamentos, ou seja irrigando ou não, este custo está sempre presente, sendo que a produtividade obtida deve proporcionar uma receita líquida superior a este custo para o cultivo ser economicamente viável.

O custo fixo relacionado a irrigação (CFRI) considerado constante para os tratamentos irrigados e desprezado quando sem irrigação, obteve um valor de R$ 446,61 ha^{-1} anual, considerando uma área de 1,0 ha.

O custo variável relacionado à irrigação (CVRI) total do cultivo apresentou aumento linear de R$ 131,62 ha^{-1} a R$ 430,63 ha^{-1}, para a safra I e R$ 115,71 ha^{-1} a R$ 351,12 ha^{-1}, na safra II, entre as lâminas de 25 e 125% da ETc, respectivamente. O CVRI na safra II foi menor devido ter sido necessária a aplicação de lâminas de irrigação menores que a safra I.

Neste contexto, verifica-se que, devido a estes custos (CFRI e CVRI) a produtividade obtida no sistema irrigado deve ser superior ao sistema sem irrigação, para superar estes custos envolvidos e, assim ser economicamente viável e justificar o investimento no sistema de irrigação.

Mesmo que a produtividade de grãos, quando irrigado, tenha sido superior para todos os tratamentos, a receita líquida (RL) obtida não seguiu a mesma tendência. Para a safra I a maioria dos híbridos apresentaram RL superior que sem o sistema de irrigação (SSI), considerando a lâmina ótima de irrigação (lâmina que maximiza a RL). Salienta-se que, nesta safra a diferença de produtividade entre irrigado e SSI, foi superior aos da safra II, devido aos períodos de deficiência hídrica ocorridos, onde foram de maior intensidade e afetou mais significativamente a produtividade de grãos, como discutido anteriormente.

Na safra II a produtividade irrigada também foi maior que SSI, porém como o déficit de água no solo foi menos acentuado, a amplitude de produtividade entre irrigado e SSI, foi menor. Com isso, a produtividade obtida no sistema irrigado não foi suficiente para possibilitar RL maior que o SSI, para a maioria dos híbridos, exceto para o P 1630.

Ao mesmo tempo que as lâminas de irrigação possibilitaram desiguais funções de produção água-cultura para cada híbrido, o mesmo ocorreu com a obtenção da lâmina ótima de irrigação. Já o intervalo de manejo econômico da irrigação, considerado entre a lâmina máxima e a equivalente apresentou-se maior quando a diferença de produtividade irrigado e SSI, foi menor. Neste caso, na safra I o híbrido DKB 240 apresentou menor intervalo sendo entre 62,3 e 90,1% da ETc. Agora para a safra II, o AG 9025 destacou-se, e o intervalo de manejo foi entre as lâminas de 53,5 e 95,2% da ETc.

Estes resultados demonstram que, a RL é variável entre as safras estudadas e, entre os híbridos, estando relacionada principalmente, com a distribuição das chuvas, déficit hídrico, potencial produtivo da planta sob irrigação e aos custos envolvidos.

Nota-se que semelhante a RL estes os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício Custo B/C, também apresentaram valores diferentes entre os híbridos, safras e entre o sistema de cultivo irrigado e SSI.

Verificou-se VPL positivo para a maioria dos híbridos analisados, exceto para o Status, em ambos os sistemas, e o DKB 177 nos tratamentos irrigado, onde apresentaram VPL negativo. Ou seja, a maioria dos híbridos independente de ser irrigado ou SSI são economicamente viáveis. Porém, o híbrido que apresentou maior destaque para o VPL, em ambas as safras foi o AG 9025, sendo que no sistema irrigado o VPL foi de R$ 22.039,85 (safra I) e R$ 10.686,84 (safra II). Já no sistema SSI o VPL foi de R$ 20.175,23 (safra I) e R$ 19.004,99 (safra II).

Comportamento semelhante ao VPL ocorre com a TIR, onde a maioria dos híbridos apresentaram valores superiores a taxa mínima de atratividade, considerada de 6% ao ano, se destacando novamente o híbrido AG 9025, com valores entre 15 e 51%.

O B/C também evidenciou a viabilidade econômica da maioria dos híbridos, onde esse indicador foi superior a 01, excetuando o híbrido Status e o DKB 177, onde obtiveram valores menores que 01, sendo inviável sua utilização independente se irrigado ou SSI.

Em relação ao sistema irrigado e o SSI, os indicadores apresentam uma contraposição em relação à viabilidade econômica e entre as safras. Considerando que é mais rentável quanto maior for o VPL, a TIR e o B/C, em relação à safra I seria mais rentável irrigar, se considerar o VPL, para o híbrido AG 9025 e AG 9045, porém, a TIR e o B/C indicam o contrário para a maioria dos híbridos.

Já na safra II os maiores valores de VPL, TIR e B/C foram obtidos SSI, indicando ser mais economicamente viável não utilizar sistema de irrigação. Entretanto salienta-se que, conforme a Figura 1, houve melhor distribuição das chuvas na safra II ocorrendo condições com menores períodos de déficit hídrico, o que favoreceu a produtividade dos híbridos SSI e diminuiu a amplitude de produtividade entre irrigado e SSI, isso pode ser considerado também, em menor escala, para a safra I, em relação a maioria das safras agrícolas do estado (Bergamaschi et al., 2004).

Por sua vez, os custos relacionados com a irrigação também são variáveis com o tamanho da área irrigada, uma vez que, considerando um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa, os custos aumentam com o tamanho da área irrigada. Este fato deve-se a necessidade de aumentar o diâmetro das tubulações, para atender a vazão requerida, com o aumento da área, sendo que, o valor da tubulação segue um crescimento exponencial em relação ao diâmetro, afetando diretamente no aumento dos custos com a irrigação.

Este fato além de aumentar o custo com a implantação do sistema, também influência nos custos fixos (depreciação, juros e seguros) e variável (manutenção) que estão relacionados com o custo de implantação do sistema. Impactando diretamente na ocorrência de economia de escala, uma vez que não houve, pois o custo aumentou com o tamanho da área irrigada, incidindo em deseconomia de escala.

6 CONCLUSÃO

A irrigação proporcionou aumento na produtividade de todos os híbridos avaliados e, sua utilização é economicamente viável, e, em anos com menor ocorrência de déficits hídrico a irrigação pode proporcionar receita líquida, valor presente líquido, taxa interna de retorno e relação benefício custo menor que quando em cultivo de sequeiro.

A eficiência no uso da água é diferente entre os híbridos e safras avaliadas, sendo dependente principalmente do déficit de água no solo, proporcionado pela irregularidade de distribuição das chuvas.

Os híbridos respondem diferentemente a irrigação e ao déficit hídrico proporcionando funções de produção água-cultura, lâmina de máxima produtividade técnica, receita líquida, valor presente líquido, taxa interna de retorno e relação benefício custo e intervalo de manejo de irrigação, específico para cada genótipo.

O manejo da irrigação pode ser realizado utilizando lâminas deficitárias entre 74,3 e 90,1% da ETc para obter a maior receita líquida, estando dependente do híbrido.

O AG 9025 proporcionou a maior produtividade de grãos, receita líquida e maior viabilidade econômica que os demais híbridos avaliados, sendo a receita líquida de R$ 2805,51 ha^{-1} na safra I e, R$ 1804,64 ha^{-1} safra II, quando irrigado na lâmina ótima e, R$ 1993,26 ha^{-1} (safra I) e R$ 2044,65 ha^{-1} (safra II) quando não irrigado.

O aumento do tamanho da área irrigada proporcionou aumento dos custos relacionados a irrigação, sobretudo devido ao aumento exponencial com o custo das tubulações diante do aumento do diâmetro para atender a vazão do sistema em áreas maiores, proporcionando deseconomias de escala com o aumento da área irrigada.

Portanto, pode-se considerar que este estudo apresenta a importância de sistemas de irrigação em híbridos de milho, mostrando que sua utilização deve ser criteriosamente planejada, levando em conta a produtividade dos híbridos, os custos e os aspectos econômicos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 328p. Irrigationand Drainage Paper, 56.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101 f Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J.A.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; RODRIGUES, B.H.N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.301-305, 2001.

ANDRADE, C. L. T. et al. **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho**, EMBRAPA, circular técnica, Sete Lagoas, MG, dezembro, 2006.

ARÊDES, A. F.; PEREIRA, M. W.G.; GOMES, M. F. M.; RUFINO, J. L. S. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia da Universidade Estadual de Goiás**, Anápolis, v.5, n.1, p.66-86, 2009.

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Sciencia Agrária**, v.4, p.27-34,2003.

ATLAS Socioeconômico do Rio grande do Sul. Rio Grande do Sul, SEPLAG - Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã, 2011. Disponível em <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1492> acesso em 05 mar. 2015.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos.**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

BERGONCI, J. I. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 949-56, 2001.

BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados, MS : Editora da UFGD, 2009. 134p.

BLANCO, F. F. et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 523-529, mai. 2011.

BONOMO, et al. Comparação de custos para diferentes sistemas de irrigação empregados na cafeicultura irrigada em áreas de cerrado em Minas Gerais. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, MG. **Anais...** 2 v. (1490p.), p. 83-834, 2000.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. 817p.

CAETANO, M. A. Economias de escala e escopo na previdência complementar fechada brasileira. Texto para discussão/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro: Ipea, 1990.

CARVALHO, I. R.; Souza, V. Q; Follmann, D. N.; Nardino, M.; Schmidt, D. Desempenho agronomico de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

CASTRO JÚNIOR, W. L. et al. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na Produção do feijão-caupi, na região dos cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.406-418, maio/jun. 2015.

CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA - EPAGRI/CEPA. Custo de Produção safra 2016/17.

CONAB, Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, V. 5 - SAFRA 2017/18- N. 8 - Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-45, mai. 2018. Disponível em file:///C:/Users/User/Desktop/BoletimZGraosZmaioZ2018.pdf. Acesso em 29 mai. 2018.

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção,1). Disponível em:<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm>_Acesso em 17 maio, 2017.

CRUZ, J. C. et al. **Quatrocentos e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 28 p. (Documentos/Embrapa).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos** FAO – Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p.

EARL, H. J.; DAVIS, R. F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v.95, p.688-696, 2003.

ENGLISH, M.; NAVAID, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 32, p. 1-14. 1996.

ESPÍNDULA NETO, D. **Resposta do mamoeiro a diferentes lâminas de irrigação, sistemas de microirrigação utilizados na região norte do Espírito Santo**. 2007. 133f. Tese, Universidade Federal de Viçosa**,** Viçosa, MG.

FAVETTA, G. M. **Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central**. 1998. 110p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 41-53, 2012.

FIGUEIREDO, M.G. de; FRIZZONE, J.A.; PITELLI, M.M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, p.81-87, 2008.

FRIZZONE J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: Análise de decisão de investimento.** Embrapa informações tecnológicas, Brasília, DF, 2005. 626p.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 1993. 42p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da Irrigação com uso de técnicas de otimização. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. INOVAGRI, v.1, p.24–49, 2007.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Revista Engenharia Rural**, v.5, n.1, p. 35-53, jul. 1994.

FURLANETO, F. P. B.; ESPERANCINI, M. S. T. Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 297- 303, 2010.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios da administração financeira.** São Paulo: Habra, 2002.

GUIDUCCI, R. C. N. et al. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: EMBRAPA. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários:** metodologia e estudos de casos. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 1, p. 17-116.

HOFFMANN, R.; ENGLER, J.J.C.; SERRANO, O.; THAME, A.C.M.; NEVES, E.M. **Administração da empresa agrícola**. 5.ed. São Paulo: Pioneira, 1987. 325p.
IBGE – **Agricultura**. Disponível em < www.sidra.ibge.gov.br >. Acesso em 03 de novembro de 2015.

JOBIM, C. I. R. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos: aplicação ao feijão irrigado no RS.** Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2007.

KAMAN, H.; KIRDA, C.; SESVEREN, S. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v.98, p.801–807, 2011.

KAPPES, C. et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, vol.42, nº.11, Brasília Nov. 2007.

LORITE, I. J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. **Agricultural Water Management**, v. 91, p. 51-60, 2007.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção do milho. sete lagoas, MG: Ministério da agricultura pecuária e abastecimento, 2006. 10 p. (circular técnica 76).

MANKIW, G. **Introdução à Economia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

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

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças.** 2. ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.

MARTINS, D. J. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MELO, J. F. **Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993. 147p.

MENEGATTI, A. L. A. **Custo de produção para soja convencional e transgênica à luz das metodologias utilizadas pelos órgãos públicos no Brasil e nos Estados Unidos**: um estudo para o estado do Mato Grosso do Sul. Dissertação de Mestrado. USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

MENEGATTI, A. L.; BARROS, A. L. M. A Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Economia e Sociologia Rural** vol.45 no.1 Brasília Jan./Mar. 2007.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: Bases agronômicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276p.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J. Requerimento de água para irrigação do milho em Santa Catarina durante eventos La Niña. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1330–1337, 2012.

MORAES, A. R. A. Instituto Agronômico de Campinas-Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, 2009.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação, 1961. 42p.

MOUSINHO, F.E.P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do 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.

OLIVEIRA, E. C. **Manejo de irrigação da cultura do pepino japonês (Cucumis sativus L.) em ambiente protegido**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PADILHA, F. A. et al. Produtividade de Híbridos de Milho sob Dois Níveis de Tecnologia na Região Central de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 207-218, 2015.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**, Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364, 2008.

PAYERO, O. J. 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, oct. 2009.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONCA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande: v.4, n.3, p. 465-473, 2000.

PEGORARE A. B. et al. Irrigação suplementar no ciclo do milho "safrinha" sob plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.262–271, 2009.

PEREIRA, R. M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015.

PIZOLATO NETO, A. et al. Doses de nitrogênio para cultivares de milho irrigado. **Nucleus**,v.13, n.1,abr. 2016.

RAMOS, H. M. et al. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão caupi para produção de grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.47, n.4, p.576-583, abr. 2012.

REIS, R. P. **Fundamentos de economia aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 95 p.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul. Embrapa: **Comunicado técnico 194**, Dourados, 2014.

SANGOI, L. et al. Desempenho agronômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, p.218-231, 2006.

SANGOI, L. Silva, P. R. F. Argenta, G. Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos do milho. Lages: **Graphel**; 2010.

SANTANA, M. J. ; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B. de ; GERVASIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (Phaseolus vulgaris L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.532-538, 2009.

SCALOPPI, E. J. **Exigências de energia para irrigação. ITEM:** Irrigação & Tecnologia Moderna, n.21, p.13-17, 1985.

SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, V. R.; BRACCINI, A. L.; CRUZ, C. D.; ANDRADE, C. A. B.; VIDGAL, M. C. C. Yield stability in maize (Zea mays L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. **Genetics and Molecular Biology**, v.23, 2000.

SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIEIRA, R. A.; PINTO, R. J. B.; CONRADO, T. V. Correlations between the stability and adaptability. **International Journal of Plant Breeding,** v.174, ed. 2, p 209-218, 2010.

SILVA, A. L.; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.37-44, 2003.

SILVA, G. J. et al. **Produção de haploides androgenéticos em milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. 17p. (Documentos 81).

SILVA, M. L. O. et al. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.1, p.200-205, jan./fev. 2007.

SILVA, M. R. R. et al. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agronômicas e produtividade de milho. **International Rice Research Institute**, v. 1, n. 1, p. 170-180, 2012.

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G.M.; REIS, R.P.; LIMA, L.A.; TAVEIRA, J.H. da S. Função de resposta da alface-americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p.1.266-1.271, 2008.

SILVA, P. R. A. et al. Análise econômica de milho convencional e transgênico em dois Sistemas de preparos de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.6, p.1032-1041, nov./dez. 2015.

SINGH, S. P. Drought resistance in the race durango dry bean landraces and cultivars. **Agronomy Journal**, v. 99, p.1219-1225, 2007.

SOARES, F. C.; et al. Resposta da cultura do milho à variabilidade hídrica em solo sob pivô central. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 220 - 233, abril-junho, 2012.

SOUSA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BRITO, R. R. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, p.49-60, 2015.
SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.142-149, jan.-mar., 2012.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANADA, G. V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v. 1, p. 13-53, 2004.
statistics of popcorn cultivars. **Euphytica**, v.174, 2010.

STRECKER, L. R.; MAZA, A.; WINNIE, G. F. **Corn Oil – Composition, Processing and Utilization**. World Conference Proceedings Edible Fats and Oils Processing: Basic principles and modern practices, Edited by David R. Erickson. American Oil Chemists' Society, Champaign, 1990.

THOMPSON, G. T., SPIESS, L. B., KRIDER, J. N. Farm resources and system selection. In: JENSEN, M. E. (Ed.). Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1983. p.45-76. (Monograph, 3).

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Grain**: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/USDA - Office of Global Analysis. October 2016. p. 1-56.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Grain**: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/USDA - Office of Global Analysis. September 2018. p. 1-40.

VIEIRA, G. H. S. et al. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na agricultura**, viçosa - MG, v.19 n.1, 2011.

VIEIRA, G. H. S. et al. Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar Em função de lâminas de irrigação. **Biosciencia Journal, Uberlandia**, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2014.

VILAS BOAS, R. C. et al. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência agrotecnologia**. v. 35 n.4 Lavras Aug. 2011.

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUSA, A. M. G.; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, K.J. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, p.525-531, 2008.

WAGNER, M. V. et al. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V. 17, n. 2, p 170-179, 2013.

XAVIER, D. A. et al. Produção de fitomassa do milho sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável,** Revista Verde, Pombal - PB, v.9, n.3, p.144-148, jul-set, 2014.

ZOCOLER, J. L. **Modelo para dimensionamento econômico de sistemas de recalque em projetos hidroagrícolas**. 1998. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.