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

Jardel Henrique Kirchner

ASPECTOS PRODUTIVOS E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO

Santa Maria, RS

Jardel Henrique Kirchner

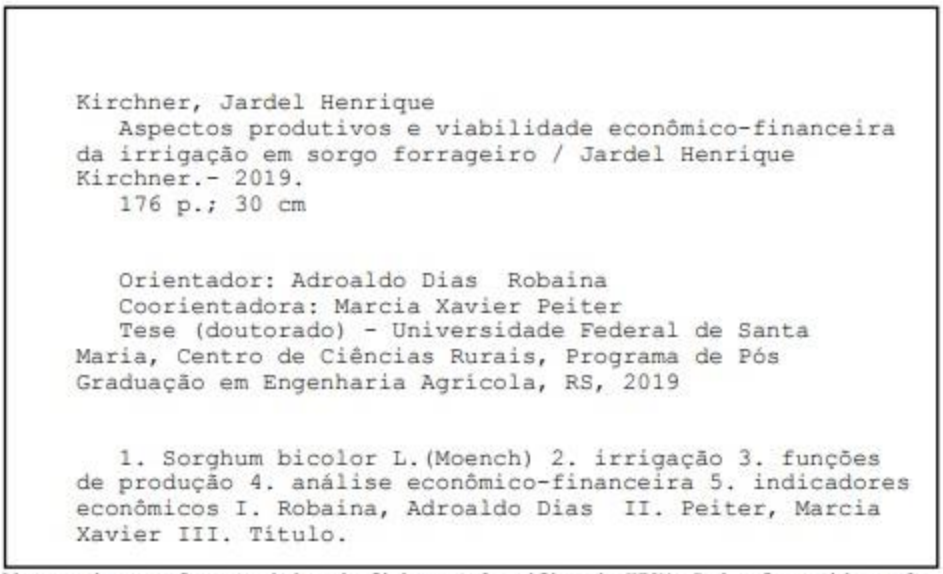
ASPECTOS PRODUTIVOS E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa 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.**

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS
2019

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM



Kirchner, Jardel Henrique
Aspectos produtivos e viabilidade econômico-financeira da irrigação em sorgo forrageiro / Jardel Henrique Kirchner.- 2019.
176 p.; 30 cm

Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Coorientadora: Marcia Xavier Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agricola, RS, 2019

1. Sorghum bicolor L.(Moench) 2. irrigação 3. funções de produção 4. análise econômico-financeira 5. indicadores econômicos I. Robaina, Adroaldo Dias II. Peiter, Marcia Xavier 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.

© 2019
Todos os direitos autorais reservados a Jardel Henrique Kirchner. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: jardelkirchner@gmail.com

Jardel Henrique Kirchner

ASPECTOS PRODUTIVOS E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa 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 22 de Fevereiro de 2019:

_____

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Marcia Xavier Peiter, Dr.ª (UFSM)
(Coorientadora)

_____

Ricardo Benetti Rosso, Dr. (IFCATARINENSE)

_____

Rogério Ricalde Torres Dr. (IFRS)

_____

Sandra Beatriz Vicenci Fernandes, Dr.ª (UNIJUÍ)

_____

Sirlei Glasenapp, Dr.ª (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

Dedico esta pesquisa a toda minha família, em especial, a meus pais Paulo Eduardo Kirchner e Elga Elaine Schindler Kirchner...

AGRADECIMENTOS

Não existem palavras que possam expressar a felicidade, satisfação e gratidão por chegar neste momento ao longo da minha caminhada pessoal e profissional. A alegria e o sentimento de vitória, por atingir os objetivos traçados ao longo dos anos, sempre com o apoio, confiança e incentivo de tantas pessoas especiais, tornam esta conquista ainda mais emocionante. Só tenho a agradecer, de coração, a todas as pessoas que fizeram parte do meu crescimento e evolução, e que, da sua maneira, estiveram em cada um dos momentos ao longo desta trajetória exitosa.

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela família maravilhosa, pela saúde, fé, força, pela base e direção no caminho certo, por estar sempre comigo e me possibilitar as oportunidades durante o transcorrer de cada uma das etapas vencidas.

Aos meus pais Paulo Eduardo Kirchner e Elga Elaine Schindler Kirchner pelo exemplo de vida, me ensinando o caminho correto da honestidade, sinceridade, educação, perseverança e humildade. Por acreditarem no meu potencial e me incentivarem em todos os momentos, além de proporcionarem condições para que eu atingisse os meus sonhos. Pela força e incentivo em todos os momentos, confiança, amizade, amor, carinho e luta, além de me ensinarem a importância do estudo, aprendizado e dedicação.

À minha esposa, amiga e companheira Tayane Leão Kirchner pelo amor, apoio, companheirismo, paciência, compreensão, auxílio, ajuda, motivação e por estar comigo em todos os momentos. Essa conquista também é sua, pois fizeste parte de cada uma das etapas durante o transcorrer do processo e sempre me incentivou, fazendo do meu sonho o seu.

Ao professor orientador Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade, orientação, ensinamentos, críticas, sugestões, disponibilidade, atenção, confiança, amizade, sinceridade, seriedade, motivação e paciência depositados.

À professora coorientadora Marcia Xavier Peiter pelos ensinamentos, contribuições, atenção, paciência, disponibilidade, críticas, confiança, sinceridade, preocupação, incentivo, conversas, explicações, carinho e amizade.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade e excelente estrutura disponibilizada, sendo minha segunda casa durante 10 anos de graduação, mestrado e doutorado.

À banca examinadora pelas considerações, correções, sugestões, disponibilidade de tempo e empenho na colaboração e julgamento do trabalho.

Ao Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria pela disponibilidade da área para realização dos experimentos de campo e por todo o suporte operacional compreendido. Em

especial, aos professores Cícero Urbanetto Nogueira e Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira, por toda a ajuda, disponibilidade, amizade e confiança depositados. Também, aos funcionários do colégio, em especial, Luíz Augusto de Freitas Bueno pela ajuda e disponibilidade em todos os momentos, sempre de boa vontade, agilidade e determinação.

Aos meus irmãos Gabriel Eduardo Kirchner e Isabel Luiza Kirchner pela amizade, carinho, união e companheirismo, sempre me incentivando e dando forças para que seguisse em frente e atingisse o objetivo final, além de sempre acreditarem e vibrarem em cada etapa bem sucedida durante o transcorrer do caminho.

Aos meus avós Armindo e Lory Schindler, Hugo (In Memorian) e Silda (In Memorian) Kirchner pela base sólida de minha família, sendo exemplos de vida.

Aos nossos pets Meg, Cacau e Zeus pelo companheirismo, carinho e amor, onde, da sua maneira, sempre estiveram presentes e trouxeram alegria, felicidade e companheirismo.

A todos os meus amigos por estarem presentes em todas as etapas da minha caminhada. Pelos momentos de lazer, descontração e diversão, proporcionados nas horas vagas. Pelo companheirismo nos momentos difíceis, amizade e confiança depositados.

Aos colegas do Laboratório de Hidráulica Agrícola e Engenharia de Irrigação da UFSM: Rogério, Wellington, Anderson, Ricardo Rosso, Luís Humberto, Marcos Vinícius, Bruna, Jhosefe, Pablo, Ricardo Boscaíni, Miguel, Luís Patrick, Leonita, Helena, Yessica, Jéssica, Franciele, Silvana, Elisa, Laura, Fábio, Marcos, pelo bom convívio diário, amizade e coleguismo.

Aos amigos Geraldo Rodrigues e Luís Francisco Alves Finamor (In Memorian) pela amizade, disponibilidade e auxílio, proporcionando condições de realização do trabalho.

A todos os professores e servidores da Universidade Federal de Santa Maria, e, também, aos funcionários da limpeza, segurança e operadores de máquinas pelos serviços essenciais prestados.

A família da minha esposa, em especial, Assis, Elisa e Ébony pela amizade, auxílio e confiança depositados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pela bolsa de estudos concedida.

Muito Obrigado!

Todos os dias uma pequena conquista...

No final, uma grande vitória...

(Autor desconhecido)

RESUMO

ASPECTOS PRODUTIVOS E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO DE SORGO FORRAGEIRO

AUTOR: Jardel Henrique Kirchner
ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

A disponibilidade de pastagem durante todo o ano é essencial para o desenvolvimento da bovinocultura de corte. No período primavera-verão, a qualidade das pastagens decai devido a irregularidade das chuvas. Uma alternativa é a utilização de pastagens cultivadas, onde o sorgo forrageiro vem se caracterizando no cenário pecuário do Rio Grande do Sul devido a sua adaptação a esta época do ano e pela oferta de massa produzida. No entanto, para atingir o potencial produtivo é necessário que a necessidade hídrica seja suprida e, assim, a irrigação caracteriza-se como uma alternativa para elevar os rendimentos esperados e manter a alimentação animal. Entretanto, com o incremento da irrigação no sistema de produção há um aumento dos custos, devendo os mesmos serem menores que as receitas para garantir a sustentabilidade. Este estudo teve por objetivo investigar a viabilidade técnica e econômico-financeira da irrigação por aspersão convencional fixa na cultura do sorgo forrageiro para a região central do Rio Grande do Sul. O estudo foi conduzido na cidade de Santa Maria, RS, nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017, com semeadura realizada em novembro de ambos os anos agrícolas. O delineamento experimental foi organizado em blocos ao acaso com quatro repetições e seis lâminas de irrigação suplementar: 0, 25, 50, 75, 100 e 125% da Evapotranspiração de referência (ETo). A ETo foi determinada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Foi utilizado um sistema convencional de irrigação por aspersão com uma linha principal e seis linhas laterais em PVC sendo os níveis de irrigação diferenciados pelo tempo de funcionamento do sistema de acordo com a lâmina de aplicação calibrada pelo teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. Para determinação da viabilidade econômico-financeira da irrigação foi realizada a determinação da máxima eficiência técnica do uso da água, a determinação das receitas, custos e de indicadores de viabilidade, sendo eles o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício/Custo. Foi adotado como critério para estimativa do ganho de peso a oferta de pastagem de 4 % do peso vivo do animal, o peso animal foi fixado em 300 kg, sendo simulados cenários de ganhos médios diários de 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1} para a conversão da produção de massa seca em ganho de carne. O valor do quilograma de carne em peso vivo pago ao produtor para a determinação da renda bruta foi de 6 reais kg. Para a determinação dos custos de produção, os mesmos foram divididos em fixos e variáveis, em relacionados e não relacionados à irrigação. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativaas para a produtividade entre os distintos tratamentos e também, entre os anos agrícolas, bem como, para a eficiência no uso da água. Além disso, Verificou-se que a irrigação é viável financeiramente para a maioria dos cenários avaliados e que os custos dependem do regime das precipitações. Encontrou-se ainda viabilidade econômica da irrigação em todos os indicadores avaliados e variações de rentabilidade conforme os diferentes cenários de ganho de peso diário animal.

Palavras chave: *Sorghum bicolor L.(Moench)*; irrigação, funções de produção; análise econômico-financeira; indicadores econômicos.

ABSTRACT

PRODUCTIVITY ASPECTS AND ECONOMIC AND FINANCIAL VIABILITY FOR THE IRRIGATION OF FORAGE SORGHUM

AUTHOR: Jardel Henrique Kirchner
ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

The availability of pasture during the whole year is essential for the development of the beef cattle. In the spring-summer period the pasture quality falls due to irregularity of rains. An alternative is the use of cultivated pastures, where forage sorghum has been characterized in the livestock scenario of Rio Grande do Sul due to its adaptation to this time of year and the mass production. However, to reach this potential it's essential to guarantee the water needs, and irrigation is the alternative to increase the expected profit and maintain animal feed. However, with the increase of irrigation in the production system there is an increase in costs, which should be lower than the revenues to ensure sustainability. The objective of this study was to investigate the technical and financial feasibility for fixed conventional sprinkler irrigation in the forage sorghum for the central region of Rio Grande do Sul state. The study was conducted in the city of Santa Maria, RS, in the 2015/2016 and 2016/2017, with sowing in November of both agricultural years. The experimental design was organized in randomized blocks with four replicates and six additional irrigation levels: 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the reference evapotranspiration (ETo). The ETo was determined by the Penman-Monteith method (ALLEN et al., 1998). A conventional sprinkler irrigation system with a main line and six lateral lines in PVC was used and the irrigation levels were differentiated by the system operating time according to the application blade calibrated by the Christiansen Uniformity Coefficient test. In order to determine the economic and financial viability of irrigation, the determination of the maximum technical efficiency of the water use, the determination of the revenues, costs and feasibility indicators were performed, being the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and the Benefit / Cost Ratio. It was adopted as criterion for estimating the weight gain of the pasture supply of 4% of the live weight of the animal, the animal weight was set at 300 kg, and scenarios of average daily gains of 0.5, 1.0 and 1 were simulated, 5 kg animal^{-1} day^{-1} for the conversion of dry mass production into beef gain. The value of the kilogram of live-weight meat paid to the producer for the determination of gross income was 6 reais kg. For the determination of production costs, they were divided into fixed and variable, related and not related to irrigation. Statistically significant differences were found for productivity between the different treatments and also, between the agricultural years, as well as for the water use efficiency. In addition, it has been found that irrigation is feasible financially for most scenarios evaluated and that costs depend on the precipitation regime. It was also found economic viability of irrigation in all the indicators evaluated and variations in profitability according to the different scenarios of daily animal weight gain.

Keywords: *Sorghum bicolor L. (Moench);* irrigation, production functions; economic and financial analysis; economic indicators.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 – Sistema de irrigação por aspersão convencional fixa utilizado. 55

Figura 2 – Realização do teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para determinação da lâmina de irrigação do sistema 56

Figura 3 – Diagrama utilizado para a classificação textural do solo. 57

ARTIGO 1

Figura 1 – Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência ocorridas durante o transcorrer dos 2 experimentos..... 78

Figura 2 – Produtividade total de massa seca em função das lâminas de irrigação aplicadas na cultura do sorgo forrageiro e os pontos de máxima eficiência técnica nos experimentos 2015/2016 e 2016/2017..... 79

Figura 3 – Eficiência no uso da água para cada lâmina de irrigação e os pontos de máxima eficiência técnica nos 2 anos avaliados..... 82

ARTIGO 2

Figura 1 – Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência (mm), ocorridas durante o transcorrer dos experimentos..... 106

ARTIGO 3

Figura 1 – Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência (mm), ocorridas durante o transcorrer dos experimentos..... 134

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 – Características físicas do solo Argissolo Vermelho distrófico típico, valores médios de três repetições.....52

Tabela 2 – Densidade do solo (DS), de partículas (Dp) e porosidades (macro, micro e total), nas diferentes profundidades, pra os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições.....52

Tabela 3 – Umidade volumétrica das amostras submetida às diferentes tensões de água no solo, nas diferentes profundidades, pra os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições).....53

Tabela 4 – Disponibilidade Total de Água no Solo (DTA), Capacidade Total de Água no Solo (CTA), fator de depleção (f) Capacidade Real de Água no Solo (CRA), Irrigação Real Necessária (IRN), Irrigação Real Necessária Total acumulada (IRN Total), Evapotranspiração de Referência máxima (ETo), Coeficiente de cultivo (Kc), Evapotranspiração da Cultura (ETc), Turno de Rega (TR).....54

ARTIGO 1

Tabela 1 – Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas), precipitação total e efetiva de acordo com os diferentes tratamentos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.....73

Tabela 2 – Anova para a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de massa seca em sorgo forrageiro.....76

ARTIGO 2

Tabela 1 – Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas), precipitação total e efetiva (mm) de acordo com os diferentes tratamentos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.....102

Tabela 2 – Produção, unidade animal (UA), carga animal, número de animais por hectare (AH), expectativa de ganho de peso bruto por hectare para ganhos de 0,5, 1 e 1,5 kg animal dia.....105

Tabela 3 – Composição dos custos relacionados aos sistemas produtivos, com e sem a introdução do sistema de irrigação, para as safras agrícolas (2015/2016 e 2016/2017) e para as lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125 % ETo).....107

Tabela 4 – Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL) para as diferentes lâminas de irrigação (LI), nos três cenários de ganho de peso diário (GPD), para as duas safras (2015/2016 e 2016/2017).....110

ARTIGO 3

Tabela 1 – Precipitação total, efetiva e lâmina de irrigação total nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.....130

Tabela 2 – Produção de sorgo forrageiro, periodo de pastejo, oferta forrageira diária, carga animal por hectare, quantidade de massa seca produzida e ofertada para cada dia, número de animais possível de alimentar, ganho médio de peso vivo por hectare, preço de comercialização do quilograma de carne em peso vivo e receita bruta obtida em cada um dos cenários de ganho de peso diário por animal.....133

Tabela 3 – Composição dos custos relacionados à irrigação do sorgo forrageiro para as safras agrícolas (2015/2016 e 2016/2017) para a lâmina de 100 % ETo).....135

Tabela 3 – Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL), nos três cenários de ganho de peso diário (GPD), para as duas safras (2015/2016 e 2016/2017).....137

Tabela 4 – Valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e relação benefício/custo para três cenários de ganho de peso diário em sorgo forrageiro irrigado.....138

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO 23
2 OBJETIVOS 27
2.1 OBJETIVO GERAL 27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 27
3 REVISÃO DE LITERATURA 29
3.1 PECUÁRIA DE CORTE 29
3.1.1 Bovinocultura de corte 29
3.1.2 Sistema de engorda em pastejo 30
3.1.3 Ganho de peso diário dos animais em pastagem cultivada 31
3.1.4 Boi "verde" 32
3.1.5 Importância da bovinocultura a pasto no balanceamento da emissão de gases 33
3.2 PASTAGENS CULTIVADAS DE PRIMAVERA-VERÃO 34
3.3 A CULTURA DO SORGO FORRAGEIRO 36
3.4 A ÁGUA NA PLANTA 38
3.5 DÉFICIT HÍDRICO 40
3.6 IRRIGAÇÃO EM PASTAGENS CULTIVADAS 41
3.7 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL 43
3.8 CUSTOS DE PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO 44
3.9 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA 47
3.10 ANÁLISE DE RISCO EM PROJETOS DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO 48
3.11 MAXIMIZAÇÃO DO BENEFÍCIO LÍQUIDO 49
4 MATERIAL E MÉTODOS 51
4.1 EXPERIMENTO DE CAMPO 51
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 55
4.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO 55
4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO 58
4.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS 59
4.5.1 Produção de massa seca 59
4.5.2 Análise e interpretação dos dados 59
4.6 PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA ÁGUA APLICADA 60
4.6.1 Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE) 60
4.6.2 Custos de produção e viabilidade financeira 60
4.6.3 Viabilidade econômica da irrigação 63
4.6.4 Conversão da produção de sorgo forrageiro em ganho animal 64

5 ARTIGO 1 – FUNÇÕES DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO 67
6 ARTIGO 2 - VIABILIDADE FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO EM SISTEMA DE ASPERSÃO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE 89
7 ARTIGO 3 – INDICADORES DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO IRRIGADA DE SORGO FORRAGEIRO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE 119
8 DISCUSSÃO GERAL 146
9 CONCLUSÕES GERAIS 155
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 157

1 INTRODUÇÃO

Na América-Latina, o clima temperado se faz presente em diversos países, tais como, Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Chile, onde, de maneira geral, a utilização de pastagens cultivadas tem se caracterizado como a principal fonte de alimentação para rebanhos animais devido à adaptabilidade das espécies vegetais ao clima (SBRISSIA et al., 2017). As pastagens cultivadas são muito utilizadas dentro de sistemas de produção no Brasil devido ao baixo custo de produção, ao alto potencial produtivo e adequação a distintas regiões climáticas do país (OLIVEIRA et al., 2016).

A produção agropecuária é responsável por 23,6% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, onde aproximadamente 30,2 % foram advindos da pecuária no ano de 2018, caracterizando assim, a importância da atividade para a economia do país (CEPEA, 2019). O Rio Grande do Sul é tradicionalmente produtor agropecuário, com 42,30 % do PIB em 2018 advindo do agronegócio (FARSUL, 2018).

Com o aumento do rebanho bovino nos últimos anos, o Brasil se tornou um dos principais países entre os produtores bovinos, ocupando o segundo lugar em produção de carne, contando com um rebanho de cerca de 218 milhões de cabeças, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017).

A base da sustentação pecuária no Brasil tem sido as pastagens, visto que, bovinos mantidos exclusivamente em pastagem apresentam um custo de produção inferior quando comparada a alimentação com suplementação. Contudo, os resultados econômicos obtidos pela maioria dos produtores rurais são insuficientes ou aquém da expectativa e da produção potencial esperada, sendo a viabilidade econômico-financeira da atividade um aspecto a ser abordado e determinado em pesquisas. Através desta abordagem, será possível facilitar a tomada de decisão dos produtores, bem como, contribuir na avaliação dos investimentos realizados, visando a maior rentabilidade possível.

A produção agropecuária no Rio Grande do Sul reflete de maneira direta na pecuária, uma vez que, a grande maioria dos alimentos fornecidos aos animais é ofertada através de pastagens nativas e de cultivadas. Este fato é justificado pela vasta área produtiva do estado, pelo histórico da pecuária ao longo do tempo e pelo custo elevado do fornecimento de alimentos na forma de ração ou concentrados quando comparados às pastagens.

As pastagens cultivadas são muito utilizadas dentro de sistemas de produção no Brasil em períodos de escassez, sejam eles no inverno ou verão, devido a facilidade de manejo,

possibilidade de engorda mais rápida dos animais, ao alto potencial produtivo e a adequação a distintas regiões climáticas do país além de suprirem os vazios forrageiros ocorridos, aumentando a eficiência da produção.

Além disso, é crescente a demanda da sociedade por carne oriunda de "boi verde", ou seja, criado e desenvolvido em pastagens, devido aos menores impactos ambientais, principalmente em relação à diminuição nos teores de emissão de gases do efeito estufa, em especial o metano. Esta relação se deve ao fato de as pastagens cultivadas compensarem a emissão de metano dos animais através da captação do CO_2 da atmosfera. Por este motivo, é crescente a utilização de pastagens cultivadas no estado do Rio Grande do Sul no período de primavera-verão.

As pastagens cultivadas têm sido utilizadas como opção para alimentação dos animais em épocas que ocorrem menor produção de massa verde das pastagens nativas, devido, principalmente, as adversidades climáticas. No estado são utilizadas diversas espécies forrageiras tropicais, dentre as quais se destaca o Sorgo Forrageiro.

A cultura do Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta grande potencial forrageiro pela sua adaptabilidade ao clima de primavera-verão do Rio Grande do Sul. O principal limitante de crescimento e desenvolvimento da cultura no estado é o stress hídrico, com má distribuição no regime das precipitações, caracterizando riscos no fornecimento de alimentos aos animais. Contudo, com o adequado fornecimento hídrico, possibilita um alimento de qualidade, com produção elevada de massa seca, atendendo as necessidades dos animais e possibilitando a engorda e consequente abate em um período curto de tempo, em prol das indicações do mercado consumidor por uma carne de animais oriundos exclusivamente de pastagem.

A irrigação está cada vez mais presente nos sistemas agrícolas, especialmente em relação às pastagens, visto que, através de sua utilização, eliminam o fator precipitação do sistema de produção e tem se caracterizado como uma técnica para a obtenção de aumento de produtividade de massa forrageira. A irrigação de pastagens cultivadas, especialmente com o sorgo forrageiro, vem se tornando ferramenta de suma importância para a pecuária gaúcha, com crescente utilização em termos de área e com excelentes resultados, possibilitando a engorda e abate dos animais em período mais curto de tempo, através da disponibilidade de alimentos de qualidade.

Para que os resultados sejam viáveis ao produtor, o sistema de irrigação deve possibilitar uma lâmina uniforme sobre a cultura, na quantidade ideal requerida pela espécie. Soares et. al., (2015) comprovam a viabilidade da utilização da irrigação na terminação de

bovinos, no entanto, citam que são necessárias altas produtividades, visando diluir os custos oriundos da tecnologia. Estes autores também afirmam que a análise econômico-financeira é fundamental para avaliar a sustentabilidade das empresas rurais que utilizam irrigação em pastagens.

Apesar de os resultados produtivos serem elevados com a irrigação de pastagens de sorgo forrageiro, a principal lacuna é a determinação dos custos de produção e da viabilidade econômico-financeira da atividade, necessitando de pesquisas para servir de base na tomada de decisão para os produtores pecuários da região a cerca do investimento na atividade.

A análise econômico-financeira, indispensável para a execução de projetos de irrigação, deve ser a determinada através da obtenção dos custos de produção, da receita bruta e da receita líquida para a correta tomada de decisão e investimento (ALMEIDA et al., 2018).

Além disso, diversos indicadores administrativos são utilizados para avaliar a viabilidade econômica de um investimento, tais como, a receita bruta, a taxa interna de retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e a relação Benefício/Custo (FRIZZONE, 2005).

2 OBJETIVOS

Este capítulo tem o intuito de apresentar os objetivos: geral e específicos, apresentando os principais atributos a serem obtidos com o desenvolvimento das metodologias e métodos durante a condução do trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

- Investigar a viabilidade técnica e econômico-financeira da irrigação por aspersão convencional fixa na cultura do sorgo forrageiro para a região central do Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar em estudo experimental, utilizando diferentes lâminas de irrigação, a produção referente à máxima eficiência técnica do sorgo forrageiro e suas respectivas necessidades hídricas;

- Quantificar os custos de produção do sorgo forrageiro não relacionado à irrigação;

- Quantificar os custos de produção oriundos da introdução de irrigação por aspersão convencional fixa;

- Avaliar as diferenças de incremento de produção e de custo para sistema irrigado e não irrigado;

- Determinar a viabilidade financeira da irrigação de sorgo forrageiro voltado para a bovinocultura de corte através de simulação da receita líquida em diferentes condições hídricas para três cenários de ganho médio de peso animal dia^{-1}.

- Determinar a viabilidade econômica da irrigação de sorgo forrageiro na bovinocultura de corte através de indicadores econômicos como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e relação benefício/custo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura tem o objetivo de proporcionar embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho proposto, abordando a respeito dos assuntos pertinentes em relação ao tema. Desta maneira, este capítulo fará uma abordagem descritiva em relação ao uso de pastagens cultivadas de primavera-verão, a cultura do sorgo forrageiro, a irrigação de pastagens cultivadas, custos de produção e viabilidade econômica da irrigação, análise de risco em projetos de sistemas de irrigação e maximização do benefício líquido, com o intuito de apresentar a situação atual do tema em relação à pesquisa e as considerações existentes.

3.1 PECUÁRIA DE CORTE

A pecuária de corte apresenta-se como uma das principais atividades agropecuárias no estado do Rio Grande do Sul, servindo como alternativa de renda aos produtores. Aspectos referentes a bovinocultura de corte, ao sistema de engorda em pastejo, ao ganho de peso médio diário dos animais em pastagem cultivada, ao boi criado exclusivamente em pasto (boi verde), caracterizam-se como determinantes para a obtenção de ganhos.

3.1.1 Bovinocultura de corte

A pecuária de corte é uma atividade distribuída em praticamente todo o território nacional, onde sua principal representante é a bovinocultura, tanto em termos de rebanho, de demanda para consumo e de valores movimentados (RAUPP & FUGANTI, 2014). A bovinocultura de corte se destaca no âmbito social, sendo a maior fornecedora de proteína de origem animal para a população e, no aspecto econômico, por ser uma grande fornecedora de matéria-prima para a indústria (RESENDE FILHO et al., 2001).

O Brasil atualmente caracteriza-se no mercado internacional como um dos principais produtores de carne bovina, com o maior rebanho comercial do mundo, sendo considerado um dos poucos países com reais possibilidades de expansão da produção devido ao vasto território e das condições climáticas favoráveis (DA CRUZ et al., 2014). A bovinocultura de corte brasileira se caracteriza pela diversidade de ecossistemas em que a atividade é realizada, sendo uma alternativa importante para as propriedades rurais apesar das diferenças produtivas

entre as regiões (BEZERRA et al., 2013).

A heterogeneidade produtiva nacional se deve ao fato de fatores ambientais e geográficos, tais como, períodos de escassez de água, acidez, fertilidade e tipo de solos, temperaturas, distância de grandes centros fornecedores de insumos, além, das diferenças relativas às condições financeiras e características pessoais dos produtores (POLAQUINI et al., 2006).

A bovinocultura tem se caracterizado como imprescindível na economia nacional e global, com importância e dinâmica semelhantes aos demais setores da economia (indústria, comércio e serviços), exigindo do produtor rural uma visão voltada à administração da propriedade. Desta maneira, passou-se a abolir a posição tradicional e histórica de fazendeiro para assumir o papel de empresário rural, independente do tamanho de sua propriedade e do seu sistema de produção de gado de corte (LOPES & CARVALHO, 2000).

A busca por diminuição dos custos de produção para permitir competitividade no mercado tem levado todas as empresas, independentes de sua área de atuação, a irem à busca de ferramentas de gestão que lhes permitam redução de custos e aumento de produtividade. No estado de Rio Grande do Sul, a elevação da produtividade tem sido apontada como uma alternativa de melhoria dos resultados econômicos das empresas dedicadas à atividade da pecuária de corte (PÖTTER et al., 1998).

3.1.2 Sistema de engorda em pastejo

A maior parte da produção brasileira de carne bovina é oriunda de animais mantidos e engordados a pasto, representando 87 % de todos os bovinos abatidos, enquanto apenas 13% são oriundos do confinamento (ABIEC, 2016). O fornecimento alimentar de bovinos mantidos em pastejo é uma alternativa que vem sendo amplamente utilizada pelo rápido estabelecimento e crescimento das forrageiras cultivadas, possibilitando um aumento na oferta total de matéria seca aos animais (ROCHA et al., 2003).

O pasto é a maneira preferencial de alimentação de bovinos por grande parte dos produtores pecuários no Brasil e no mundo, onde o elevado número de bovinos de corte no Brasil, torna o sistema de engorda em pastejo, a principal fonte de alimento dos rebanhos (CASTRO et al., 2010). Assim, a pecuária de corte nacional é caracterizada por possuir custos de produção relativamente baixos quando comparada às demais formas de alimentação, tais como, confinamento (BARONI et al., 2010).

A presença do animal é um dos principais fatores que singularizam o ambiente pastoril, onde a compreensão dos seus efeitos dentro do ecossistema é extremamente necessária para que se possa explorar a forrageira ao máximo, de maneira racional e sustentável (SBRISSIA & SILVA, 2001).

A utilização de engorda de bovinos em sistema de pastejo é uma das principais estratégias para a intensificação da pecuária, pois permite uma dieta equilibrada, aumentando a eficiência de conversão e o ganho de peso dos animais, encurtando o ciclo de engorda dos bovinos. Além disso, melhora a capacidade de suporte e, consequentemente, a eficiência de utilização e a produção por unidade de área (PAULINO et al., 2004).

Detmann et al. (2004), afirmam que o pasto é um componente do sistema de produção com elevada complexidade, pois apesar de fornecer substratos aos animais, é passível de apresentar uma variação qualitativa e quantitativa ao longo do ano, principalmente em função de adversidades climáticas. O papel das pastagens é caracterizar um sistema de produção ambientalmente adequado, agronomicamente eficiente, economicamente viável e socialmente justo, isto é, buscar a sustentabilidade para atender às demandas de um mercado globalizado, que demanda em quantidade e regularidade de produção de carne, exigindo qualidade e origem do produto (DIAS FILHO, 2011).

3.1.3 Ganho de peso diário dos animais em pastagem cultivada

O crescimento rápido dos animais é uma característica desejável em bovinocultura de corte, pois os que apresentam capacidade de crescimento mais elevada, precisam de menor período de tempo para atingir a idade de abate. Assim, os ganhos médios diários devem ser estudados e incluídos em programas de seleção (SARMENTO et al., 2003).

A utilização de bovinos criados e mantidos exclusivamente em pastagens apresenta bons índices de incremento de peso diário dos animais, contudo, há uma variação elevada dos resultados obtidos para diferentes categorias animais, espécie vegetal, período de desenvolvimento da cultura, dentre outros fatores. Restle et al. (2002), encontraram ganho médio de peso diário variando entre 0,370 a 1,330 kg animal^{-1} para diferentes períodos na cultura do sorgo forrageiro para novilhos.

Um dos problemas da utilização da bovinocultura em pastagem são os índices produtivos dos rebanhos, onde a variação do ganho de peso médio diário dos animais é oscilante no que tange a diferentes espécies, épocas e raças de bovinos, onde, muitas vezes, acarreta em baixa viabilidade da produção. Soares et al. (2005) encontraram variação do

ganho de peso médio diário em pastagem entre diferentes épocas do ano, tornando essencial a obtenção de bons índices, e, em trabalhos de simulações, a variação deste atributo para a representação adequada. Desta maneira, o produtor pecuário deve ter ciência da necessidade de uma atitude empresarial, entendendo e tomando decisões a partir de análises de formação de fatores que vierem a caracterizar a variação nos custos e rentabilidade do setor (FIGUEIREDO et al., 2007).

Técnicos e produtores precisam estar atentos para a atividade pecuária baseada na utilização de pastagens, uma vez que, existem inúmeras dúvidas referentes ao manejo que possa garantir a produção da planta forrageira e a sua relação com o ganho de peso animal dia ótimo por unidade de área, sendo este, variável por diversas condições (HERLING et al., 2005). Diversos fatores alteram a eficiência do crescimento de bovinos, como o peso, idade, nutrição, genética (raça e tamanho ou porte corporal), sexo e utilização de hormônios, sendo considerados assim, fatores extremamente relevantes dentro da pecuária de corte (BIANCHINI et al., 2008).

Rubiano et al. (2009) caracterizam que a eficiência produtiva na pecuária de corte está relacionada à redução na idade de abate, ao potencial genético do animal e à alimentação de qualidade, fatores estes que influenciam ou são influenciados pelo ganho de peso médio diário dos animais.

Desta maneira, torna-se essencial que sejam realizados estudos que levem em consideração a variação do ganho de peso diário para avaliação da viabilidade econômico-financeira de tecnologias como a irrigação, dentro do sistema de produção de espécies forrageiras voltadas para a bovinocultura de corte, a fim de caracterizar a faixa de retorno econômico-financeiro mais apropriado ao produtor.

3.1.4 Boi “verde”

As carnes bovinas denominadas normalmente como biológicas, naturais, ou ainda, “grass-fed beef”, são aquelas onde os animais são engordados exclusivamente através do pastejo, não sendo terminados em confinamentos. Essa modalidade de criação traz benefícios à saúde dos consumidores, sendo que as indústrias têm entendido essas exigências dos consumidores e passado a valorizar mais o “boi verde” (MCCLUSKEY et al., 2005).

É crescente nas últimas décadas a exigência da sociedade por carnes oriundas de animais mantidos em ambientes de criação humanitária, ou seja, que visem ao bem estar

animal. O sistema de criação em pastejo, também conhecido como "boi verde", apresenta menor restrição comportamental, está potencialmente relacionado a vantagens para o bem-estar animal, desde que sejam utilizadas práticas de manejo e controle sanitários adequados (BOND et al., 2012).

Animais mantidos exclusivamente a pasto trazem vários benefícios, tais como: redução de custos, de riscos econômicos, de impactos ambientais, além da melhoria no bem-estar animal e a geração de um produto tido como mais saudável, com qualidade nutricional elevada (NURENBERG et al., 2005). Além disso, atende ao apelo mercadológico, onde o chamado "boi verde" ou "boi de capim" (grass-fed beef), caracteriza-se como um forte componente para a conquista de mercados mais exigentes (DALEY et al., 2010).

Os motivos da exigência por "boi verde" estão relacionados à saúde humana, pelo melhor conteúdo nutricional, pela segurança dos alimentos por conhecer sua procedência, além de atributos intangíveis como o bem-estar animal, a redução dos impactos ambientais da produção e facilidade de comercialização. De acordo Prache (2007), tem se verificado uma mudança no perfil de carne procurada pelo mercado consumidor onde inicialmente as exigências dos consumidores eram por garantia de inocuidade sanitária, e, nos dias atuais, esta demanda engloba outros aspectos tais como sustentabilidade dos sistemas de produção, bem-estar animal, conservação do meio ambiente e principalmente garantia de qualidade do produto.

3.1.5 Importância da bovinocultura a pasto no balanceamento da emissão de gases

Nas últimas décadas é evidente e crescente a preocupação mundial com a decorrência no aumento da emissão de gases (CO_2, N_2O, CH_4 e CFC) e sua relação com o aumento da temperatura média global. Os estudos referentes ao comportamento de diferentes ambientes, principalmente relacionados ao solo e seus distintos usos, têm sido amplamente abordados, principalmente quanto à sua capacidade de armazenar ou perder carbono (CORAZZA et al., 1999).

A pecuária contribui de forma significativa para as emissões antrópicas de gases, tais como: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O) à atmosfera. O aumento da concentração de CO_2 provoca o aquecimento da superfície, podendo levar a destruição da camada de ozônio na estratosfera (PRIMAVESI et al., 2004).

Em contrapartida as pastagens, sejam elas naturais ou cultivadas, desempenham um papel extremamente importante para o ambiente em relação aos demais ecossistemas

agrícolas no balanceamento da emissão de gases. As pastagens apresentam elevada capacidade em sequestrar o carbono atmosférico, acumulando o mesmo no solo, sendo extremamente importantes na compensação dos efeitos das emissões dos animais (GERBER et al., 2010; MAIA et al., 2009; SOUSSANA et al., 2010).

3.2 PASTAGENS CULTIVADAS DE PRIMAVERA-VERÃO

A utilização de alimentação de ruminantes mantidos a pasto vem apresentando elevados avanços nos últimos 30 anos no Brasil. Neste período, houve elevado aumento da área de pastagens cultivadas e redução da utilização de pastagens nativas. Desta maneira, avanços nos conhecimentos e nos aspectos de produção de plantas forrageiras são necessários, principalmente os que tangem ao melhoramento, a novas cultivares, ao uso de fertilizantes e a utilização da irrigação (Da SILVA et al., 2008).

A utilização de pastagens cultivadas de estação quente dentro de um sistema de produção é uma opção que visa manter altas produções de massa seca (ALENCAR et al., 2009) para atender o desempenho dos animais com um baixo custo (CUNHA et al., 2007). O Brasil, em virtude de suas dimensões continentais, possui muita variação entre as regiões no que tange as condições climáticas, permitindo que as pastagens cultivadas estejam sujeitas a diferentes variações de temperatura, radiação solar, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, vento, etc. (SANTOS et al., 2008).

Os primeiros relatos de pesquisa com irrigação de pastagens surgiram na Alemanha e Nova Zelândia nos anos de 1940. No Brasil, os estados de São Paulo e Minas Gerais foram os primeiros a avaliar a atividade na década de 70. Contudo, esses estados apresentavam carências nas condições ideais de clima, chegando à conclusão de que a irrigação de pastagens era uma tecnologia economicamente inviável para o país, o que fez com que a irrigação de pastagens fosse deixada de lado das pesquisas por alguns anos.

A irrigação de pastagens voltou à cena da agricultura e das pesquisas do Brasil na década de 90, principalmente na região Centro-Oeste do país, onde produtores insatisfeitos com os lucros obtidos na irrigação de grandes culturas viram na atividade uma boa alternativa (DE AZEVEDO & SAAD, 2009).

O Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com cerca de 209 milhões de cabeças (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes, 2015), e

88% destes são mantidos exclusivamente em pasto (ESTANISLAU & CANÇADO JR., 2000). O país possui alto potencial de produção forrageira por estar localizado em região tropical do globo, em que as condições climáticas, tais como, temperaturas elevadas e fotoperíodo longo, durante o período de primavera-verão, proporcionam o rápido desenvolvimento de pastagens cultivadas, possibilitando alimento de qualidade para os animais em pastejo (PRADO et al., 2002).

A pecuária brasileira movimenta cerca de 55 bilhões de reais por ano e emprega 20 milhões de pessoas, nas suas mais variadas atividades ao longo de toda a cadeia produtiva. O custo de produção de carne bovina do país é considerado baixo, quando comparado aos demais países produtores de carne do mundo, devido à forma de alimentação dos animais, que é em pastejo (ALENCAR et al., 2009). Países produtores de carne bovina e com destaque na produção a nível mundial como Estados Unidos, Austrália e países europeus, possuem um custo muito elevado por criarem os animais em confinamento e a alimentação ser fornecida na forma de grãos e/ou resíduos aos animais (CARVALHO et al., 2009).

Vários fatores exercem influência na produção do rebanho bovino brasileiro, quando mantido a campo. Dentre os inúmeros fatores relevantes ao sucesso da pastagem, destaca-se a quantidade de forragem disponível, o consumo de matéria seca da forrageira pastejada e o valor nutricional da forragem, que são características dependentes, em grande parte, do manejo da forrageira (DA SILVA & PEDREIRA, 1997).

As pastagens cultivadas representam a forma mais prática e viável de alimentação de animais, em função do custo considerado baixo em relação a engorda em confinamento, e pela facilidade de implantação e manejo da mesma (CUNHA et al., 2007). No Brasil, é de vital importância o estudo de espécies forrageiras na implementação de pastagens cultivadas de primavera-verão, uma vez que grande parte da carne e do leite produzidos advém de rebanhos mantidos a pasto durante todo o ano, além do baixo custo de produção das pastagens, quando comparada aos concentrados (FERNANDES et al., 2008).

Para a obtenção de uma pastagem de qualidade é imprescindível a produção de uma elevada quantidade de massa seca, associada com satisfatórios teores de proteína bruta, aspectos essenciais na escolha da espécie forrageira a ser implantada (MARANHÃO et al., 2009). A produção de massa seca cultivada determina de forma significativa a capacidade de suporte da pastagem e está diretamente influenciada pela adequada demanda hídrica requerida pela cultura, o que torna a irrigação suplementar uma alternativa inovadora e de suporte para a produção de pastagens cultivadas durante o período de primavera-verão (VITOR et al., 2009).

De acordo com Aita (1995) e Restle et al. (2001), em valores médios, as pastagens

cultivadas de primavera-verão geram alimento de melhor qualidade, proporcionando excelentes índices produtivos do rebanho. O manejo com que as pastagens cultivadas são submetidas, bem como, fatores edafoclimáticos e estágio de desenvolvimento das plantas, influenciam na produção e na qualidade da pastagem (SANTOS et al., 2011).

Dessa maneira, a adição de pastagens cultivadas dentro de um sistema de produção, mostra-se como uma alternativa necessária, a fim de fornecer qualidade de forragem aos animais em pastejo (MORAES & MARASCHIN, 1988).

3.3 A CULTURA DO SORGO FORRAGEIRO

O Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) pertence à família Poaceae, é importante componente na alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul, e tem se mostrado como boa opção em substituição ao milho. Principalmente nas regiões de climas semiáridos, onde esta forragem tem sido mais explorada, devido à maior resistência a veranicos e à maior produção por área (ANDRADE et al., 2011).

O aumento da área cultivada na cultura do sorgo forrageiro vem ganhando destaque a nível estadual e nacional nos últimos anos pela importância na cadeia produtiva da pecuária de corte, apresentando destaque nos quesitos referentes à sua facilidade de implantação e manejo, além de possuir excelentes qualidades nutricionais (RODRIGUES et.al., 2002). O sorgo forrageiro foi introduzido no país por escravos e, apesar de ser considerada uma cultura antiga, foi somente no final do século XIX que apresentou importância econômica a nível mundial (LIRA et al., 1988).

O uso do sorgo forrageiro, dentre as pastagens cultivadas de verão, é uma alternativa para a produção e o fornecimento de alimentação de boa qualidade, visando à maximização do desempenho animal, seja com finalidade de produção de leite ou de carne (NEUMANN et al., 2005).

Dentre as pastagens cultivadas de primavera verão, constitui-se em uma das principais alternativas para o fornecimento de uma alimentação adequada e com teores balanceados para a produção animal no estado do Rio Grande do Sul, por apresentar elevado potencial de produção e resistência ao déficit hídrico (NEUMANN et al., 2008; RIBAS & MACHADO, 2010). Além de apresentar elevada tolerância à seca e a altas temperaturas, quando irrigado, apresenta rápido desenvolvimento foliar e incremento de produção (CARVALHO et al., 2000).

A cultura possui elevado valor agronômico e nutritivo em termos de qualidade forrageira, alcançando elevadas produções. Portanto, em termos de exigências e produção, o sorgo aparece como uma alternativa interessante, pois se adapta a períodos de deficiência hídrica, e, destaca-se ainda por apresentar elevada capacidade de recuperar-se e produzir após um período de estiagem, produzindo mais matéria seca em áreas de solo menos fértil (RODRIGUES et al., 2002). O sorgo possui características fisiológicas que o permitem guardar reservas e diminuir o ritmo de crescimento da planta, através da diminuição das atividades metabólicas, durante períodos em que está sob efeito de estresse hídrico. Após o término de um período de estresse hídrico, apresenta elevado crescimento em curto espaço de tempo, quando a demanda hídrica é novamente reestabelecida (AMARAL et al., 2003).

Além disso, possui características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir a taxa de atividades metabólicas, no momento de ocorrência de estresse hídrico, tornando-a uma das culturas mais tolerantes a períodos de déficit hídrico. Por outro lado, possui elevado potencial produtivo quando irrigada, além de mecanismos que permitem o desenvolvimento rápido após períodos de estiagem, quando a exigência hídrica demandada pela cultura é novamente reestabelecida (MASOJIDEK et al., 1991).

Outro aspecto de extrema importância reside no fato de que apresenta elevada eficiência na utilização da água, pois necessita de menos água para produzir mesma quantidade de matéria seca em relação a outros cereais, como o milho e o trigo. Este fato se deve as gramíneas tropicais, dentre elas o sorgo forrageiro, pertencerem ao grupo C4, necessitam menores quantidade de água para cada grama de matéria seca produzida (PEDREIRA et al., 1998). Enquanto o milho e o trigo necessitam cerca de 370 e 500 litros, respectivamente, para produzir 1 kg de matéria seca, o sorgo forrageiro necessita de 330 litros para atingir a mesma produção (MAGALHÃES & DURÃES, 2003).

Fatores ambientais como água, luz e temperatura, exercem grande influência sobre o crescimento da cultura do sorgo forrageiro, que apesar da maior resistência à seca em relação a outros cereais, necessita de adequado fornecimento hídrico durante seu período de desenvolvimento, sendo o florescimento o de maior demanda (MAGALHÃES et al., 2000). Tardin et al. (2013) afirmaram que o estresse hídrico diminuiu a média de todas as características agronômicas do sorgo, sendo fator direto na determinação da produtividade.

De Souza et al. (2017) afirmam a importância da otimização do uso da água na cultura do sorgo. É extremamente importante o balanço hídrico com a demanda, de modo que a necessidade hídrica das plantas seja atendida, possibilitando o correto manejo e dimensionamento do sistema de irrigação para atender a demanda da cultura (FREIRE et al.,

2011; SANTOS JÚNIOR et al., 2014).

Diversos trabalhos são encontrados na literatura a respeito da necessidade hídrica do sorgo forrageiro para diferentes regiões do mundo. Farré & Faci (2006) relataram uma necessidade hídrica de cerca de 588 mm durante o ciclo de desenvolvimento. Wani et al. (2012) encontraram necessidades variando entre 450 e 750 mm, enquanto Garofalo & Rinaldi (2013) apontaram necessidades hídricas variando entre 633 e 768 mm. Contudo, El Naim et al. (2010) afirmam que um dos principais fatores que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas são os intervalos entre as precipitações e irrigações.

3.4 A ÁGUA NA PLANTA

A água é caracterizada como um dos principais fatores para o desenvolvimento adequado das culturas durante o ciclo de produção, pois atua no transporte de solutos e gases, como reagente no metabolismo, na turgescência celular, no metabolismo estomático e na expansão celular das plantas (PEITER & CARLESSO, 1996). É um dos componentes essenciais para que o desenvolvimento das pastagens cultivadas seja alcançado e atinja níveis elevados de produção de massa. Caso ocorra irregularidade do regime pluviométrico durante o ciclo, o desenvolvimento das plantas é prejudicado, tornando a água o principal fator limitante na produção (DRUMOND, 2003).

A molécula de água é a grande controladora da vegetação presente na superfície da terra, através da sua disponibilidade para o desenvolvimento das plantas, seja ela através da ocorrência de precipitação pluviométrica ou na forma de irrigação. Cerca de 80 a 90% do peso de uma planta herbácea e aproximadamente 50% das espécies lenhosas estão representados pela água. Além disso, é o grande solvente responsável pela penetração de gases, minerais e outras substâncias nas células. Também é o reagente em muitos processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese e a hidrólise do amido em açúcar. Além do seu papel na turgescência da célula e, consequentemente, no crescimento do vegetal (SILVA & FREITAS, 1998).

A água retida nos tecidos da planta é dependente do balanço entre a absorção de água do solo pelas raízes e a perdida por transpiração. Disponibilidade de água no solo e outros fatores que reduzam a absorção e o transporte de água podem induzir uma deficiência hídrica nos tecidos e, consequentemente, perdas de produtividade (KRAMER, 1983). A entrada de água nas plantas ocorre principalmente por meio das raízes, no solo, através da diferença de

potencial por meio da absorção. As plantas absorvem água em toda a sua superfície, mas a maior parte do suprimento de água vem do solo (PAIVA & OLIVEIRA, 2006).

De acordo com Pereira (2006), a água exerce inúmeras funções fisiológicas e metabólicas nos vegetais, podem-se destacar as seguintes: atuar como reagente e como produto em atividades fotossintéticas, produção de energia química após a ativação da clorofila pela luz, meio de transporte de solutos e gases, divisão e crescimento celular, participa dos processos de abertura e fechamento dos estômatos, afeta a viscosidade e turgescência das plantas, atua na atividade de enzimas, é o produto final da atividade respiratória, atua como regulante térmico nas plantas e afeta a translocação de assimilados.

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados, como o fechamento estomático, redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e transpiração, levando ao declínio da taxa de crescimento (SILVA et al., 2002; GOMES et al., 2004; PORTES et al., 2006). Todas as espécies vegetais podem apresentar tolerância ao déficit hídrico, porém o estresse causado pela adversidade acarreta em redução no crescimento, perda de produtividade, podendo inclusive, levar a morte, dependendo da intensidade do déficit e do estágio fenológico ao qual às plantas estão submetidas (CAMBRAIA, 2005).

A água é um dos fatores mais abundantes entre todos os requeridos pelas plantas para o seu crescimento e desenvolvimento, e, muitas vezes, caracteriza-se como o fator mais limitante da produção das culturas. Uma alternativa para o correto suprimento hídrico, a prática da irrigação das culturas é um recurso-chave, de suma importância para a produtividade agrícola. Assim, a disponibilidade de água caracteriza o principal fator para uma produtividade satisfatória e lucrativa, levando a ocorrência de diferenças marcantes entre os ambientes, de acordo com o gradiente de precipitação ocorrido e o complemento do necessário através da irrigação (KERBAURY, 2009).

Para Morais et al. (2003) a principal função da água para a planta está na hidratação do protoplasma, pois no caso de ocorrência de deficiência hídrica, a atividade fotossintética da planta decai paralelamente a diminuição do volume de água presente nas células. O estresse provocado pela deficiência hídrica influencia de maneira direta na produtividade, no crescimento das plantas, podendo também ser determinado pelo processo de assimilação de CO_2 (TATAGIBA, 2009).

Além da essencialidade ao crescimento e desenvolvimento das plantas, a água tem função crucial no estabelecimento e manutenção da turgescência celular. Segundo Petry (1991), manter o turgor das plantas através do adequado suprimento de água aos seus tecidos,

é essencial para os processos de crescimento vegetal, tais como: expansão, divisão celular e fotossíntese. Desta maneira, permitem também a possibilidade de adiar a desidratação dos tecidos, podendo as reservas serem usadas em períodos posteriores ao ciclo. Uma vez que o inicio do primórdio foliar já está desencadeado, o tamanho final dele é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular, influenciada diretamente pelo volume de água disponível às plantas. Portanto, períodos de déficit hídrico nas culturas ocasionam redução de seus potenciais produtivos.

3.5 DÉFICIT HÍDRICO

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Períodos de irregularidade das precipitações causam transtornos à população há milhares de anos. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva de aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas. O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR & SINCLAIR, 1996).

A ocorrência de períodos de irregularidade das precipitações é um fenômeno frequente e característico no Brasil, com intensidade e efeitos variáveis no espaço e no tempo. A localização geográfica do território brasileiro é propícia à ocorrência de déficit hídrico, pois já ocorreu no passado e ocorrerá no futuro (MENESES et al.,2006).

A frequência e a intensidade da ocorrência de déficit hídrico são considerados os fatores mais importantes a limitação da produção mundial. De acordo com Ortolani & Camargo (1987), a limitação da produção causada pelo déficit hídrico é responsável por 60 a 70 % da variabilidade final da produção das culturas, tornando o planejamento da agricultura irrigada e o conhecimento das condições meteorológicas do local, fatores essenciais para o alcance de elevadas produtividades.

A deficiência hídrica é considerada a principal causa de queda na produtividade agrícola em clima tropical. Contudo, como existe uma grande variabilidade na adaptação ao déficit hídrico entre as distintas espécies e dentro da espécie, recomenda-se avaliar o comportamento de diferentes materiais genéticos, em diferentes condições, para a recomendação de cultivo (SANTOS et al., 2016).

As consequências da falta de água no metabolismo das plantas desencadeiam uma

ampla variedade de respostas, como alterações na expressão gênica, no metabolismo celular e diminuição nas taxas de crescimento e produtividade. Essas consequências, muitas vezes irreversíveis para a planta, são causadas pela influência da falta de água sobre processos fisiológicos e bioquímicos da planta, em decorrência da redução do potencial hídrico das folhas, fechamento estomático, diminuição das trocas gasosas, causando a inibição da fotossíntese, respiração e absorção de íons (HONG-BO et al., 2008). Além disso, a deficiência hídrica também diminui a absorção de nutrientes pela raiz e transporte para a parte aérea, devido à restrição da taxa de transpiração, alterando o transporte ativo e a permeabilidade das membranas (KRAMER & BOYER,1995).

O estresse hídrico é um desvio significativo das condições ótimas para o adequado desenvolvimento das plantas, o que origina mudanças e respostas a todos os níveis do organismo. Estas respostas são inicialmente reversíveis, podendo tornar-se permanentes devido ao grau do estresse submetido. Mesmo se o acontecimento causador de estresse for temporário, a vitalidade da planta diminui com o prolongar do estresse. Quando a capacidade da planta para se ajustar é atingida, o que era até aí um dano latente, passa a doença crônica ou dano irreversível (LARCHER, 1995).

Mingardo (2005) salienta que a ocorrência de deficiência hídrica em pastagens cultivadas é um grande limitante para o desenvolvimento adequado das pastagens, limitando o crescimento das mesmas, sobretudo, quando submetida a longos períodos de estiagem e temperaturas elevadas. Dessa maneira, através da irrigação das pastagens cultivadas, é possível eliminar o efeito de escassez de água sobre a produção, garantindo que este fator não seja limitante no adequado desenvolvimento das culturas, passando a depender somente de outros fatores climáticos, tais como, temperatura, radiação solar e luminosidade (ÁLVARES et al., 2001).

3.6 IRRIGAÇÃO EM PASTAGENS CULTIVADAS

A irrigação em pastagens cultivadas é uma técnica que vem sendo implantada e difundida no Brasil, e seu grande objetivo é proporcionar aporte hídrico às plantas, para que elas tenham condições de um maior desenvolvimento vegetativo e, consequentemente, elevada produção de massa (PINHEIRO, 2002). A agricultura irrigada vem favorecendo o aumento da produção mundial de alimentos, com aproximação de um desenvolvimento sustentável no campo, além de mais empregos e renda para a população rural (ARAGÃO et

al., 2012).

Nos últimos anos a pecuária brasileira tem apresentado aumento na participação do agronegócio, tendo elevado também, a participação da irrigação em pastagens, fazendo com que esta se torne cada vez mais uma estratégia importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (PEREIRA et al., 2016).

A irrigação está cada vez mais presente nos sistemas agrícolas e tem se caracterizado como uma técnica de segurança para a obtenção de elevada produtividade de massa forrageira de pastagens, pelo aumento nas características de crescimento e desenvolvimento das plantas (MAGALHÃES et al., 2013). Para isso, o sistema de irrigação implantado deve possibilitar uma lâmina uniforme sobre a cultura e na quantidade ideal requerida pela espécie vegetal (DRUMOND & AGUIAR, 2005).

No estado do Rio Grande do Sul, a disponibilidade de água as plantas é o principal fator responsável pela oscilação frequente do rendimento das culturas (MATZENAUER, et al.,1995). A irregularidade das precipitações em determinadas regiões constitui-se como um grande empecilho para o desenvolvimento das culturas. A ocorrência de irregularidade das chuvas normalmente acontece no período de primavera-verão, prejudicando o desenvolvimento das pastagens nativas e tornando necessário o uso de pastagens cultivadas irrigadas.

Desta maneira, a irrigação suplementar de pastagens cultivadas de primavera-verão tem se caracterizado como uma técnica inovadora e de grandes resultados no estado, devido à possibilidade de oferta de alimento de qualidade durante todo o ano (DRUMOND, 2003). A irrigação suplementar durante os “veranicos” tem como objetivo estabilizar e intensificar a produção de forragem no período de irregularidade das precipitações, desde que a temperatura e a luminosidade não sejam fatores limitantes (XAVIER et al., 2001).

A evapotranspiração na pastagem geralmente excede a precipitação pluvial. Sendo assim, a distribuição de água em pastagens, por meio de irrigação suplementar, é a garantia para se produzir como planejado, sem que a falta de chuvas altere os índices de produtividade e de rentabilidade previamente estabelecidos (CUNHA et al., 2008).

Diversos autores já constataram efeitos significativos da irrigação sobre a produtividade de forrageiras tropicais, estabelecendo a viabilidade e importância da técnica para o adequado desenvolvimento animal (DOURADO NETO et al., 2002; GARGANTINI et al, 2005). O uso da irrigação em pastagens cultivadas de verão como alternativa para suprir a deficiência hídrica provocada por períodos de déficit hídrico e veranicos, tem se caracterizado como alternativa eficiente para a produção, uma vez que possibilita incremento e oferta de

massa forrageira de elevada qualidade nutritiva para o animal. A falta de água impõe limitações à taxa de expansão de folhas, ao número de folhas por perfilho e ao número de perfilhos (CORSI et al., 1998).

Com o uso da irrigação em pastagens cultivadas, o fator água deixa de ser o mais limitante para o crescimento e produção de massa da forrageira, de modo que outros fatores como disponibilidade de nutrientes, potencial genético da planta, radiação solar e temperatura passam a condição de responsáveis pela produção (PALIERAQUI, et al.,2006).

Desta maneira, a irrigação predomina como uma das tecnologias mais eficazes contra o déficit hídrico e para o aumento da produtividade e maximização da produção agrícola, desde que bem manejada. Assim, Alves Júnior (2006) salienta que o manejo da irrigação é caracterizado pela definição da quantidade ideal de água que a planta está necessitando, bem como a definição do momento exato de aplicação. Caso esses dois fundamentos básicos do manejo da irrigação não sejam atendidos, o irrigante estará realizando um uso ineficiente da água, seja pelo excesso ou pela restrição da necessidade hídrica da cultura (SILVA, 1998).

3.7 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

A irrigação por aspersão consiste em aplicar água de forma fracionada em gotas sobre a superfície do terreno, buscando aproximar-se ao máximo de uma chuva. Esta água é conduzida e aplicada às áreas através de conjunto de equipamentos, que compreendem moto bombas, conexões, tubulações e aspersores das mais diversas capacidades e características de fabricação (BERNARDO et al., 2008).

A utilização da irrigação na agricultura vem ganhando espaço significativo nos últimos anos, com aumento de 1,3 milhões de hectares na área irrigada no país nos últimos 10 anos. A irrigação por aspersão (convencional e autopropelido) representa 1.572.960 hectares, caracterizando 35% da área irrigada total do Brasil (PAULINO et al., 2011).

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação por aspersão convencional podendo ser fixo, semifixo ou portátil (MARTINS et al., 2011). Diversos tipos de sistemas de irrigação são utilizados, contudo, o mais representativo é a aspersão convencional, pois se caracteriza como uma opção de fácil adaptação a diferentes tipos de solo e topografia, além de apresentar uma relação favorável entre custo de investimento e benefício obtido (MANTOVANI et al., 2013).

Dentre os diversos tipos de irrigação atualmente utilizados, o sistema por aspersão convencional representa cerca de 17,2 % de toda a área irrigada no Brasil, sendo

preferencialmente utilizados em pequenas e médias propriedades, estando atrás apenas da irrigação por superfície com 58,1 % e da por pivô central com 19,6 % (MANTOVANI et al., 2009). Para Cesar et al. (2005), a irrigação por aspersão convencional vem participando consideravelmente para o aumento da área irrigada no Brasil.

A irrigação por aspersão convencional é muito utilizada no Brasil, porém, muitas vezes, por dimensionamentos inadequados ou utilização em condições não propícias, esses sistemas não operam com a eficiência recomendada, acarretando em perdas de água e de energia (BESKOW et al., 2011).

Diversos fatores estão atrelados para a caracterização de um sistema de irrigação por aspersão uniforme, contudo, um dos principais são o espaçamento e disposição dos aspersores, devendo ser considerado a relação entre os custos do sistema e os benefícios associados à distribuição de água, buscando sempre o maior retorno econômico da irrigação (FARIA et al., 2013).

Para a obtenção de uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por aspersão convencional diversos fatores devem ser calibrados, tais como, regulagens mecânicas do aspersor, forma geométrica do perfil de distribuição de água, disposição e espaçamento entre aspersores, pressão de serviço e velocidade e direção do vento (COELHO & FOLEGATTI, 1998).

3.8 CUSTOS DE PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO

A água é um fator essencial para a produção agrícola, e sua disponibilidade e distribuição pode definir a viabilidade de qualquer atividade agropecuária (FAGGION et al., 2009). Para Seibert et al. (2013), a análise de viabilidade econômico-financeira de um negócio é o primeiro passo para que o empreendedor possa tomar a decisão correta sobre o investimento. Através desta análise o produtor passa a conhecer com detalhes e a utilizar de maneira inteligente e econômica os fatores de produção (terra, trabalho e capital). Dessa forma, localiza os pontos cruciais para depois concentrar esforços gerenciais e tecnológicos, a fim de obter sucesso na sua atividade e atingir os seus objetivos de maximização de lucros ou minimização de custos (LOPES et al., 2004).

De acordo com Silva et al. (2007), os investimentos necessários para a aquisição de um sistema de irrigação, atrelados ao intenso uso de insumos agrícolas, tornam a avaliação econômica item essencial de estudo antes de qualquer implantação de projeto de agricultura irrigada. Apesar de a irrigação angariar inúmeros benefícios e vantagens aos agricultores, os

riscos da sua utilização devem ser amplamente estudados e avaliados, tendo sempre o intuito de que o incremento de produção supere os investimentos financeiros de aquisição e produção (VILAS BOAS et al., 2011).

De acordo com Marques et al. (2004), através do estudo da viabilidade econômica de um projeto de irrigação é possível identificar as informações necessárias para determinar os adequados procedimentos para a utilização da irrigação e definir os componentes, a execução e a manutenção do sistema de irrigação utilizado.

De acordo com Figueiredo, et al. (2008), uma mudança fundamental tende a ocorrer nas práticas da irrigação em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso dos recursos e dos impactos ambientais da irrigação. Esses fatores deverão motivar uma mudança do paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que a demanda de água das culturas.

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água. Além de gastos com energia e mão-de-obra para operação do sistema, que representam importantes custos adicionais, os quais devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pelo fornecimento de água às plantas, é imprescindível a análise da viabilidade econômica da irrigação (AZEVEDO, 1983; CLARK et al., 1993).

As plantas exigem elevados volumes de água e há, no mundo, uma crescente escassez qualitativa deste recurso (BERNARDO, 2008). Desta maneira, a adoção do manejo racional da irrigação, além de atuar como medida capaz de aumentar a economia deste recurso hídrico, mitigando o impacto ambiental causado pela irrigação, incentivando os produtores a melhorarem a eficiência na alocação dos recursos, permitindo-lhes aumentar sua produtividade e renda, de tal forma que possam competir no mercado. Com a adoção do manejo racional da irrigação, podem-se obter melhorias econômicas na atividade agrícola (CASTRO JÚNIOR et al., 2015).

A produção das culturas em resposta a irrigação depende de vários fatores: quantidade e frequência de irrigação; método de aplicação; estágio de desenvolvimento da cultura; de fertilizantes aplicados; do manejo; da cultivar; da idade de corte; o método de colheita adotado; variabilidade do solo; condições climáticas; pragas e doenças. Assim, faz-se necessário realizar análises que permitam averiguar a obtenção dos melhores resultados para a viabilidade econômica da implantação e condução de pastagens. É interessante delimitar a região de produção racional que mostre as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos (FRIZZONE, 1993).

Essa necessidade de melhorias econômicas, associada à competição pelo uso da água e dos impactos ambientais decorrentes do uso da irrigação, são fatores relacionados por FRIZZONE (2004). Estes fatores deverão motivar mudança de paradigma da irrigação, priorizando a eficiência econômica do que apenas suprir a demanda hídrica das plantas. O manejo tradicional da irrigação geralmente tem sido empregado com o objetivo de maximizar a produtividade, esquecendo-se de observar os aspectos econômicos. Entrementes, de acordo com Figueiredo et al. (2008), irrigar visando a maximizar o lucro é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar buscando o máximo rendimento físico.

Uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica a aplicação de menores lâminas em relação à irrigação plena, mesmo que ocorra alguma consequente redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa. Em cultivos irrigados, pode haver situações nas quais a maior produtividade física não coincida com a maior rentabilidade, pois irrigar gera custos e os incrementos no rendimento por área podem não compensar economicamente a aplicação de maiores lâminas de irrigação (CASTRO JÚNIOR et al., 2015).

A água é um dos principais fatores de produção na agricultura e cada espécie de planta necessita de um adequado nível de água no solo, para que suas necessidades fisiológicas sejam atendidas. Para obtenção da viabilidade se faz necessária à determinação da possível produtividade a ser alcançada, e da referente lâmina a ser aplicada para que esta seja encontrada. Os modelos agrometeorológicos possibilitam a previsão das necessidades hídricas das culturas, a análise econômica da utilização da irrigação. Para planejamento, esses modelos permitem a tomada de decisão sobre a implantação ou não de sistemas de irrigação, uma vez que fornecem a demanda hídrica das culturas e possibilitam determinar os rendimentos esperados (VAUX e PRUITT, 1983; FRIZZONE et al., 2005).

Vivan (2014) trabalhando com milho, feijão e soja, encontrou acentuada variabilidade climática ao longo dos anos, o que ocasionou redução de mais de 50 % do potencial produtivos em 40 % dos anos simulados. A autora indica uma tendência de descapitalização dos produtores, causada pelas quebras de produtividade, justificando a utilização de sistemas de irrigação.

A técnica da irrigação é importante para a intensificação da produção animal, devendo o seu uso ser bem planejado, pois para compensar os elevados custos da tecnologia deve-se obter altas produtividades. Além da irrigação, há a necessidade de conhecimento prévio sobre o manejo de pastagens, escolha de animais com elevado potencial produtivo e capacidade

gerencial (SOARES et al., 2015). Ainda segundo o autor, a análise econômica é fundamental para avaliar a sustentabilidade das empresas rurais que utilizam irrigação de pastagens. E, para avaliar a viabilidade da adoção da irrigação, outros trabalhos devem avaliar o seu retorno econômico.

Em se tratando de irrigação, existem alguns fatores que também devem ser analisados, como as perdas de água, os gastos com energia elétrica e o custo da mão-de-obra para o manuseio dos equipamentos. Estes custos estão associados com a área a ser irrigada, número de horas irrigadas por dia, potência instalada por hectare, preço da compra do equipamento de irrigação, incluindo todos os seus componentes (bomba, tubo gotejador, válvulas, motor etc.), bem como com a vida útil dos componentes do sistema de irrigação.

Na análise de investimentos, onde os retornos ocorrem somente a partir de um determinado ponto, as estimativas de investimentos e do custo operacional da irrigação, em função da lâmina de irrigação e dos demais custos de produção, assumem grande importância para a viabilidade econômica do cultivo (AFFÉRRI et al., 2014).

A receita bruta, a taxa interna de retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL) são indicadores que avaliam a viabilidade dos investimentos. A taxa interna de retorno (TIR) torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (FRIZZONE, 2005). O valor presente líquido (VPL) referencia os benefícios e os custos do presente, ou seja, traz os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a uma taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. A relação Benefício/Custo (B/C) atua como um indicador que verifica se os benefícios são maiores que os custos (PEREIRA et al, 2015).

Iglesias et al. (2003), observaram através de modelagem e simulação, em estudo sobre as consequências econômicas do déficit hídrico, custos elevados devido a falta de água as culturas, porém, caracterizaram também que os agricultores apresentaram custos exagerados pela aplicação excessiva de água através da irrigação.

3.9 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Segundo Matos (2002), os indicadores de viabilidade são os responsáveis nas tomadas de decisões sobre os investimentos em projetos. Dentre esses indicadores o Valor Presente Líquido (VPL), a Relação Benefício/Custo (B/C) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são destacados como os mais usuais, sendo importante mencionar que a análise desses indicadores deve ser feita de maneira conjunta para auxiliar na tomada de decisão, e não de forma isolada.

De acordo com Rezende & Oliveira (2001), o VPL é um indicador extremamente utilizado na determinação da análise de viabilidade econômica de um projeto. Uma das principais vantagens é o fato de considerar o efeito tempo e de que os fluxos líquidos intermediários são reinvestidos à mesma taxa que representa o custo de oportunidade do capital investido pelo produtor.

A TIR também é um indicador de suma importante, pois permite que o produtor possa comparar a rentabilidade do seu projeto com a de outras atividades ligadas à agricultura ou com atividades do mercado financeiro, como investimentos em títulos públicos e/ou fundos de renda fixa. Segundo Rezende e Oliveira (2001), a TIR pode ser definida como a taxa de desconto real e não negativa, para a qual o VPL se torna nulo.

De acordo com Figueiredo et al. (2006), a análise da viabilidade econômica de um projeto de investimento através de indicadores é essencial para auxílio na tomada de decisão a respeito do investimento, sendo o VPL e a TIR, bons indicadores para aceitar o projeto como viável e realizar o investimento.

A relação benefício/custo é outro indicador de extrema importância na avaliação e tomada de decisão em projetos, pois define as melhores escolhas dentro de um sistema de economia definindo se os benefícios financeiros são maiores que os custos. Zamberlan et al. (2011) definem que valores maiores que um de relação benefício/custo, tornam o projeto viável, iguais a um caracterizam-se como pouco viáveis e menores que um inviabilizam o projeto.

3.10 ANÁLISE DE RISCO EM PROJETOS DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A avaliação de projetos envolve um conjunto de fatores e técnicas a serem determinadas para estabelecer a viabilidade do mesmo (de ARÊDES et al., 2009). De acordo com Damodaran (1997), a análise de risco é a possibilidade de perda financeira em determinada atividade. Esta análise é usada como sinônimo de incertezas de sucesso de determinado retorno econômico em projetos e refere-se à variabilidade dos retornos de acordo com o tempo.

Normalmente os parâmetros utilizados são o prazo de retorno do investimento inicial (Payback) e a Taxa interna de retorno (TIR) e o Valor presente líquido (VPL). Contudo, é necessário também, realizar a análise de risco do projeto, que leva em consideração a variabilidade do fluxo de caixa mais a covariância para todos os fluxos de caixa (BRUNI et al., 1998).

Para a agricultura irrigada, é extremamente importante que os resultados encontrados em produtividade atinjam eficiência e rentabilidade econômica, caracterizando a viabilidade da utilização da irrigação. A utilização da irrigação como meio de elevação da produtividade das culturas é uma técnica que exige elevado investimento, principalmente em obras e aquisição de equipamentos, controle e distribuição da água, energia, mão-de-obra para operação do sistema, etc (MATTOS, 1999).

Assim, as receitas devem ser maiores que os custos para que o projeto seja economicamente viável. Para esta análise é necessário o conhecimento do grau de risco envolvido na aquisição, instalação, manutenção e utilização do sistema de irrigação. Estes riscos são oriundos de incertezas econômicas, tais como, variação do preço de venda do produto, taxa de juros, custos da água e de energia, vida útil do sistema de irrigação, taxa de manutenção ocorrida com o manejo do sistema de irrigação, bem como, variação na produtividade ao longo dos anos (BASTOS et al., 2000).

Embora a irrigação possa trazer muitos 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. 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 utilização de um sistema de irrigação.

3.11 MAXIMIZAÇÃO DO BENEFÍCIO LÍQUIDO

A análise de custo/benefício determina o benefício líquido de determinada atividade considerando preços de mercado, tendo como regra que o mesmo deverá ser implantado somente se o benefício líquido for maior que zero, caracterizando assim, a viabilidade econômica do projeto (SIQUEIRA, 1990). Existem duas formas básicas de maximizar o ganho financeiro real de uma atividade: aumentando seu preço de comercialização, o que gera algumas consequências em relação à demanda, ou focando na redução de custos e no aumento de produtividade, favorecendo assim, o aumento da margem sem depender diretamente do fator demanda (FIGUEIREDO et al.,2007).

Em uma análise da viabilidade econômica espera-se que os benefícios líquidos gerados sejam maiores que os custos da implantação e operacionalização das culturas e que os riscos apresentem baixos níveis e encorajem os investidores pela possibilidade de obter uma

carteira de investimentos diversificada com diminuição de riscos.

Os custos operacionais da irrigação são dependentes de diversos fatores, tais como, o volume de água requerido, sendo este, variável de acordo com a cultura irrigada, das condições climáticas e da eficiência da irrigação. Para a análise econômica, os benefícios caracterizam o valor bruto da produção, ou seja, o incremento de produção ocasionado pela utilização da irrigação, multiplicado pelo valor de mercado pago ao produtor (JOBIM, 2007).

O benefício líquido em projetos de irrigação é caracterizado pelo valor bruto da produção correspondente ao incremento de produção oriundo da irrigação em relação à produção de sequeiro, multiplicado pelo preço de venda do produto (JOBIM, 2007). Para que o sistema de irrigação seja caracterizado como economicamente viável, os benefícios econômicos líquidos gerados pelo seu uso devem, impreterivelmente, serem positivos e superiores aos provenientes da produção não irrigada. Ou seja, o benefício monetário gerado pela elevação da produtividade deve ser maior que a elevação no custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização do sistema de irrigação (ARÊDES et al., 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item serão expostos os materiais e os métodos utilizados no decorrer do trabalho, caracterizando também, os dados necessários para o entendimento do mesmo. Algumas informações a respeito da localização do experimento, caracterização da área experimental, planejamento, implantação e condução do trabalho de campo, além do manejo das irrigações.

Além disso, os referenciais utilizados para realização das atividades experimentais, coleta, análise e interpretação de dados. Serão expostas ainda, as metodologias, métodos e critérios utilizados para a determinação da viabilidade técnica e econômico-financeira da irrigação de sorgo forrageiro. Será abordada a metodologia de determinação dos custos, conversão da produção de sorgo forrageiro em ganho animal e a metodologia para a obtenção da viabilidade econômico-financeira da irrigação de sorgo forrageiro.

4.1 EXPERIMENTO DE CAMPO

Foram realizados dois experimentos a campo nos anos 2015/2016 e 2016/2017, com o intuito de identificar para as condições de clima e solo da região, a função de produção de massa seca em função das lâminas de irrigação de massa seca e os parâmetros de análise de crescimento (perfilhamento, área foliar, altura da inserção da ultima folha, altura de plantas, diâmetro de colmo) na cultura do Sorgo Forrageiro.

Os experimentos foram realizados na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, RS, situado geograficamente nas coordenadas 29°31’S e 49°19’O e altitude média de 96 m, localizada na Região Central do estado do Rio Grande do Sul.

Conforme Streck et al. (2008), os tipos de solos predominante na região classificam-se cientificamente como Argissolos. Estes solos apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E; a condição de drenagem varia desde imperfeitamente drenado a bem drenado, dependendo da posição que esses solos ocupam na paisagem.

Para a determinação das características físico-hídricas foram coletadas amostras de solo em diferentes profundidades (0 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80, 80 - 100 e 100 – 120 cm em relação ao nível do solo). Para a coleta, foi considerado o ponto médio de cada

profundidade como local de representatividade e o número de repetições utilizado foi de 3 por profundidade.

As amostras foram processadas no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram realizadas as seguintes análises: densidade do solo e de partícula, curva característica de água no solo e condutividade hidráulica. A densidade de partícula foi determinada através do método do balão volumétrico proposto por Gubiani et al. (2006), e as demais variáveis, encontradas através de metodologia proposta por Embrapa (1997).

A caracterização do solo do local de implantação do experimento está representada nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do solo Argissolo Vermelho distrófico típico, valores médios de três repetições.

Profundidade	**Distribuição granulométrica (%)**			**Classe textural**
(cm)	**Areia**	**Silte**	**Argila**	
0-20	37,91	41,95	20,14	Franco
20-40	32,27	38,30	29,44	Franco argiloso
40-60	27,71	26,16	46,13	Argiloso
60-80	16,2	28,86	54,94	Argiloso
80-100	17,98	42,16	40,00	Argilo siltoso

A densidade do solo (Ds), a densidade de partícula (Dp) a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo nas diferentes profundidades analisadas ao longo do perfil do Argissolo Vermelho distrófico típico estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Densidade do solo (Ds), de partículas (Dp) e porosidades (macro, micro e total), nas diferentes profundidades, pra o Argissolo Vermelho distrófico típico da área experimental (médias de três repetições).

Profundidade	**Densidade g cm^3**		**Porosidade %**		
(cm)	**Ds**	**Dp**	**Macro**	**Micro**	**Total**
0-20	1,32	2,50	14,48	32,99	47,47
20-40	1,34	2,53	9,71	37,92	47,22
40-60	1,33	2,54	8,09	39,63	47,73
60-80	1,29	2,55	3,95	45,49	49,43
80-100	1,29	2,57	6,11	43,68	49,79

Onde: Ds é a densidade do solo, Dp é a densidade de partículas, * Dp (2,65 valor médio de referência).

As umidades volumétricas do solo foram determinadas nos potenciais matriciais de 0, -1, -6, -10, -100 e -1500 kPa. As umidades do solo nas tensões de 0, -1, -6 e -10 kPa foram determinadas com a utilização de uma mesa de tensão, já a umidade do solo na tensão de -100 kPa foi determinada com a utilização de placa porosa em panela de pressão, utilizando a metodologia conhecida como Câmara de Richards (EMBRAPA, 2011) e, na tensão de -1500 kPa com a utilização de um WP4, estando os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Umidade volumétrica das amostras submetidas às diferentes tensões de água no solo, nas diferentes profundidades para o Argissolo Vermelho distrófico típico da área experimental (médias de três repetições).

Profundidade	**Umidade Volumétrica %**					
(cm)	**0 kPa**	**1 kPa**	**6 kPa**	**10 kPa**	**100 kPa**	**1500 kPa**
0-20	40,0	33,0	30,1	26,7	24,1	13,5
20-40	42,7	37,5	34,1	30,9	28,2	16,2
40-60	43,9	39,6	37,3	34,8	32,1	22,7
60-80	48,8	45,5	44,0	41,5	38,8	27,0
80-100	47,1	43,7	42,0	39,7	36,9	26,0

Através da utilização das constantes hídricas, tais como, Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e densidade do solo, é possível calcular a disponibilidade total de água no solo (DTA) em cada uma das profundidades de solo analisadas, determinando, então, a quantidade total de água que é disponível às plantas.

Considerou-se como Capacidade de Campo (CC) a umidade do solo na tensão de -33 kpa e para determinação do Ponto de Murcha Permanente (PMP) considerou-se a umidade volumétrica na tensão de -1500 kPa, como profundidade do sistema radicular de 0,7 m e fator de depleção de água no solo 0,55, considerando dados obtidos no manual da FAO, para a cultura do Milho (ALLEN et al., 2006). Utilizou-se para fins de projeto a cultura do milho, considerando que a cultura é uma das que possui maior Evapotranspiração e por ser uma das mais utilizadas em sistema de irrigação, na região, além de ser uma cultura muito parecida com o sorgo forrageiro, possibilitando que o sistema seja utilizado com rotação de culturas.

Para a determinação do consumo hídrico, considerou-se evapotranspiração de referência (ETo) de 5,55 mm dia^{-1} e um coeficiente de cultura (kc) igual a 1,24, sendo a Evapotranspiração máxima (ETm) de 6,88 mm dia^{-1} (RADIN et al., 2003). E, de posse da Capacidade Real de Água no solo (CRA) e do consumo hídrico das plantas obtém-se o Turno de Rega entre as irrigações (TR), como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Disponibilidade Total de Água no Solo (DTA), Capacidade Total de Água no Solo (CTA), fator de depleção (f) Capacidade Real de Água no Solo (CRA), Irrigação Real Necessária (IRN), Irrigação Real Necessária Total acumulada (IRN Total), Evapotranspiração de Referência máxima (ETo), Coeficiente de cultivo (Kc), Evapotranspiração da Cultura (ETc), Turno de Rega (TR) para o Argissolo Vermelho distrófico típico.

Profundidade	DTA	CTA	f	CRA	IRN	IRN Total	Eto	Kc	ETc	TR
(cm)	mm cm	mm		mm	Mm	mm	mm		mm	dias
0-20	1,3	25,0		13,8	13,8					
20-40	1,4	27,9	0,55	15,3	15,3	49,2	5,55	1,24	6,88	7,2
40-60	1,1	22,8		12,5	12,5					
60-80	1,4	13,8		7,6	7,6					

Para a confecção do projeto de irrigação foi necessário a determinação da velocidade de infiltração de água ano solo para a determinação da taxa de aplicação de água, pois é imprescindível que a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação seja inferior a velocidade básica de infiltração de água (VIB), caso contrário, irá ocorrer escoamento superficial, e parte da água aplicada será perdida. O volume de água infiltrada em relação ao tempo foi determinado através de infiltrômetros de anéis concêntricos sendo realizadas avaliações em quatro locais distintos da área experimental (KLEIN, 2014). A velocidade básica de infiltração determinada foi de 15 mm h^{-1} no local de realização dos experimentos em Santa Maria.

Para a determinação das características químicas do solo, foi realizada a coleta de amostras de solo de 0 – 10 cm de profundidade, em 20 diferentes pontos do local de implantação do experimento, separando a área em pequenas glebas e coletando amostras simples que, depois de misturadas, caracterizaram a amostra completa para a realização da análise conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Químicas dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para posterior interpretação e recomendação de fertilizantes para adubação em um sistema de semeadura direta já consolidada.

O clima na região do trabalho é do tipo Cfa (Clima subtropical úmido) pela classificação de Köppen. Neste tipo de clima a temperatura é moderada, com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas e a média de temperatura neste período inferior a 16 °C. No mês mais quente as máximas são superiores a 30°C (MORENO, 1961).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi “tipo” blocos ao acaso, com quatro repetições, onde o tratamento consistiu de seis diferentes lâminas de irrigação suplementar, sendo elas (0%, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % e 125 % da evapotranspiração de referência), com total de vinte e quatro unidades experimentais. A área experimental possui o tamanho total de 3200 m^2, medindo 100 x 32 m, sendo as parcelas com dimensões de 4,00 x 4,00 m, ou seja, área total de 16 m^2 por parcela.

4.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Foi utilizado um sistema de irrigação do tipo aspersão convencional, constituído por uma linha principal medindo 100 metros e vinte e quatro linhas laterais fixas medindo 32 metros, ambas de PVC. Os espaçamentos das linhas laterais foram de 4 m. Os aspersores foram conectados a essas linhas com espaçamento de 4 m e elevação de 1,5 m em relação ao solo. Os aspersores utilizados são da marca Agrojet, modelo P5 conforme figura 1.

Figura 1 – Sistema de irrigação por aspersão convencional fixa utilizado.

Fonte: arquivo pessoal.

Foi realizado o teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) com o intuito de calibrar a taxa de aplicação de água por hora do sistema e verificar a uniformidade da aplicação que foi de 90 % conforme Figura 2.

Figura 2 – Realização do teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para determinação da lâmina de irrigação do sistema

Fonte: arquivo pessoal.

A eficiência de aplicação adotada foi a de 100 % devido à taxa de aplicação ter sido determinada em condições de campo, durante a determinação do CUC. Para a determinação da intensidade de aplicação de água, o sistema foi acionado durante uma hora, sendo a chuva artificial recolhida por pluviômetros dispostos em toda a área, chegando a taxade aplicação de 14,7 mm h^{-1} para a lâmina de 100 % da ETo.

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração de referência, com turno de rega fixo de sete dias, quando a precipitação pluviométrica não supriu a demanda evapotranspirativa da cultura. Para a determinação da ETo, foram coletados dados com a utilização de uma estação meteorológica automática, localizada na UFSM a aproximadamente 2 km do local do experimento, onde diariamente foram monitorados fatores de: precipitação pluvial (mm), temperatura (ºC), umidade relativa do ar (%), radiação solar (w m^{-2}), fotoperíodo (horas) e velocidade do vento (m s^{-1}), possibilitando o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith.

Considerando que o aporte de água para a cultura é proveniente da precipitação e da irrigação, fez-se necessário descontar do volume total a ser aplicado na irrigação o valor referente à precipitação pluvial efetiva (Pe). Então, para calcular essa necessidade hídrica foi utilizada a seguinte equação:

$$Nr = ETo - Pe \qquad (1)$$

Onde:

Nr – Necessidade de irrigação (mm);

ETo – evapotranspiração de referência (mm);

Pe – precipitação pluvial efetiva do período (mm).

A diferenciação das lâminas de irrigação (0 , 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo) foi determinada através da variação de tempo de irrigação das diferentes parcelas de acordo com a seguinte equação:

$$Ti = \frac{Ln}{Lr.Ef}.100 \qquad (2)$$

Onde:

Ti – tempo de irrigação (h);

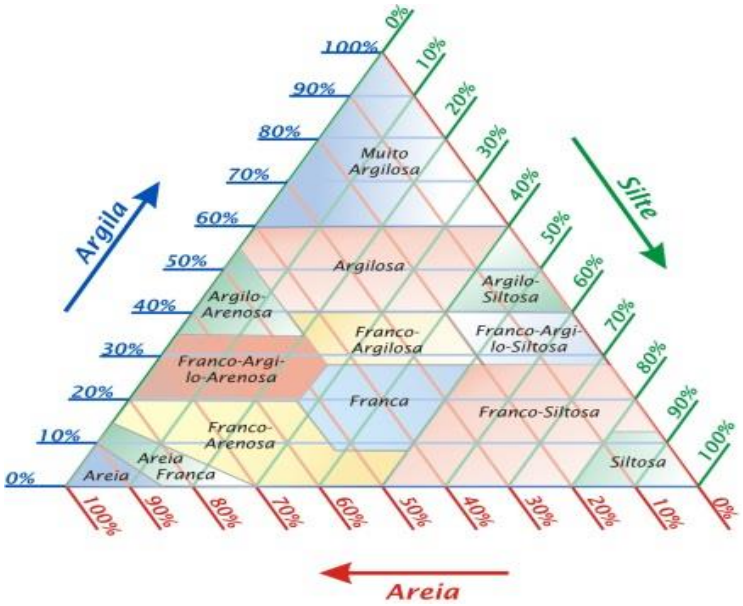
Ln – Lâmina necessária (mm);

Lr – Lâmina de referência (mm h^{-1});

Ef – eficiência de aplicação (%).

A determinação da precipitação efetiva foi calculada através do coeficiente de escoamento superficial "C", metodologia proposta por Millar (1978), que utiliza como parâmetros necessários para o cálculo as seguintes variáveis: classe textural do solo, declividade da área (%) e a cobertura vegetal. Para a determinação da classe textural será utilizada a metodologia do triângulo textural conforme Figura 3.

Figura 3 – Diagrama utilizado para a classificação textural do solo.



Fonte: FALKER- http://www.falker.com

Os valores para entrada no triângulo foram obtidos através da determinação da estimativa dos percentuais das frações de areia, silte e argila presentes no solo (RAIJ, 1991).

4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A limpeza da área experimental foi executada por controle químico, através da dessecação das plantas que se encontram no local, realizada 45 dias antes da semeadura do Sorgo Forrageiro, objetivando a eliminação de todas as plantas existentes na área experimental.

Foram utilizados dois herbicidas de grupos de atuação diferentes, visando a maior eficiência no controle das plantas daninhas, Glifosato na dosagem comercial de 2,5 l ha^{-1} (1200 g l de ingrediente ativo- i a.) e 2,4-D na dosagem de 1,5 l ha^{-1} (1005 g l de ingrediente ativo- i a.).

O sorgo forrageiro foi semeado em 24 de novembro de cada ano, com uma densidade de semeadura de 25 sementes por metro linear.bFoi considerado para a definição da data de emergência, o momento que 50% das plântulas estiveram visíveis acima do solo. A cultivar do Sorgo Forrageiro que será utilizada para estes experimentos foi a AG201.

A semeadura e adubação de base da cultura do sorgo forrageiro foram realizadas conjuntamente através de uma semeadora-adubadora depositando o adubo na linha de semeadura localizado abaixo e ao lado das sementes, obedecendo à recomendação técnica para adubação, através da interpretação da análise química do solo. Já a fertilização nitrogenada foi realizada de modo fracionado, com a aplicação da ureia no início do perfilhamento e após cada corte realizado, aos 50, 80, dias após a semeadura (DAS), para a determinação da quantidade a ser aplicada, foi considerado o teor de matéria orgânica apresentada no laudo químico do solo, aplicados de forma homogênea em todos os tratamentos em cada época.

A aplicação de agroquímicos (fungicidas, herbicidas e inseticidas) foi realizada de forma abrangente e homogênea em toda área experimental, aplicados preventivamente, ou quando apresentarem os primeiros sinais de danos às plantas, ou o aparecimento de plantas daninhas, objetivando eliminar a interferência destes fatores na área experimental.

Para a quantificação e avaliação da produtividade foi seguida a recomendação do fabricante da semente, realizado em três cortes de uniformização aos 50, 80, e 110 DAS, o primeiro corte tem seu intervalo maior devido ao fato de o sorgo forrageiro apresentar

elevados teores de tanino em estágios iniciais, sendo tóxico para animais.

A eficiência de uso da água (EUA) foi determinada através da relação entre o total de água aplicada na cultura durante o decorrer do experimento, no somatório entre a precipitação pluviométrica ocorrida e a quantidade de água aplicada através da irrigação suplementar, e o total de massa seca produzida nas diferentes lâminas de irrigação testadas. Determinando assim, qual a lâmina suplementar de irrigação apresentou maior eficiência do uso da água entre os períodos de avaliação e ao final do experimento.

4.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Após a realização da semeadura a cultura foi manejada com o primeiro corte com data predefinida de 50 dias, que é o período de carência recomendado para corte do sorgo forrageiro, a fim de não causar problemas em ruminantes, devido a seu alto teor de tanino e ácido cianídrico. Após o primeiro corte, foram realizados cortes a cada 30 dias, com o objetivo de uniformização da área. Durante a condução do experimento foram realizadas as seguintes avaliações:

4.5.1 Produção de massa seca

Para acompanhar o acúmulo de massa seca de folhas e de colmo, foram coletados 0,5 metros lineares aos 50, 80, e 110 DAS. A amostragem foi realizada através de cortes mantendo remanescentes na altura de 15 cm em relação ao solo simulando o pastoreio. Após o corte o material foi levado para laboratório, onde foram separadas manualmente e avaliadas individualmente três frações da amostra: folha (lâmina foliar), colmo (bainha da folha + colmo) e material morto. As amostras foram secadas em estufa, com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, e após, foram pesadas em balança de precisão.

4.5.2 Análise e interpretação dos dados

Os resultados foram avaliados estatisticamente através da utilização do software SISVAR (FERREIRA, 1998). Quando a análise apontou efeito significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro foi realizada a análise de regressão.

4.6 PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA ÁGUA APLICADA

Conforme Frizzone & Andrade Júnior (2005) a função de produção foi obtida através da análise de regressão do tipo polinomial do segundo grau entre a variável dependente (produtividade) e a variável independente (lâmina de irrigação).

$$Y = a + bX + cX^2 \qquad (3)$$

Onde:

Y – é a produção de massa seca (kg de MS ha^{-1});
X – é a lâmina de irrigação (mm) e "a", "b" e "c" são parâmetros da equação.

4.6.1 Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE)

Para a obtenção da lâmina de irrigação que corresponda à máxima produção, determinou-se a raiz da derivada primeira da Equação 3.7, ou seja, é a solução de um problema conhecido como determinação da máxima eficiência técnica (MET), sendo as Equações 4 e 5:

$$dY/dX = b + 2cX \qquad (4)$$

e

$$Xmet = -0,5\ b/c \qquad (5)$$

Onde:

Xmet – lâmina que resulta na máxima produtividade física (mm).

4.6.2 Custos de produção e viabilidade financeira

Na determinação dos custos de produção, os mesmos foram separados em fixos e

variáveis constituintes do sistema de produção de forragem, podendo estes serem relacionados ou não relacionados à irrigação, conforme a seguinte equação, utilizada por Martin et al, (1989), Broner e Lambert (1989), Mannocchi e Mecarelli (1994), Frizzone e Andrade Junior (2005) e Santos Junior et al, (2014).

$$CT = CFRI + CFNRI + CVRI + CVNRI \quad (6)$$

Onde:

CT – é o custo total (R$ ha^{-1});

CFRI – é o custo fixo relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

CFNRI – é o custo fixo não relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

CVRI – é o custo variável relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

CVNRI – é o custo variável não relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

O custo fixo não relacionado à irrigação (CFNRI) foi de 1651,10 R$ ha^{-1} para o experimento 2015/2016 e de 1743,70 R$ ha^{-1} para o experimento 2016/2017, sendo constituídos 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), conforme a metodologia proposta pela CONAB (2010). Salienta-se que o CFNRI foi constituído de operações que acontecem todos os anos e que não são relacionadas a irrigação (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), porém, podem apresentar variações de valores de um ano para outro.

Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) conforme a metodologia proposta pela CONAB (2010). Para determiná-los foi projetado um sistema de irrigação por aspersão convencional, conforme metodologia proposta por Biscaro (2009).

Considerou-se, para a projeção do sistema de irrigação convencional fixo, valores fixos de: altura geométrica de sucção 5m; altura geométrica de recalque 15 m; desnível da linha principal e das linhas laterais 2m; altura das elevações dos aspersores de 2 m, comprimento da tubulação de recalque de 100 metros, comprimento da tubulação de sucção de 10 metros. Considerou-se como área total irrigada, a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60 % do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,28 ha, sendo os valores obtidos no projeto corrigidos para uma unidade de área (1 ha), sendo o espaçamento 24 x 24 (24 metros entre linhas e 24 metros entre

aspersores).

Os CFRI foram calculados com a equação proposta por CONAB, (2010), considerando o custo com a depreciação dos componentes do sistema (CD), o custo com juro sobre o capital investido (CJ) e o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (CSe). Os preços dos componentes foram obtidos de equipamentos existentes na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menor possível para cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção). Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial. O controle das laterais em operação foi por meio de registros de esfera.

O valor residual ou de sucata foi calculado como 20 % do valor de compra de cada componente do sistema. 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. Os valores de CSe foram determinado como sendo 0,35 % do valor médio do bem novo (CONAB, 2010).

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação, em energia (CvE), da mão-de-obra empregada (CvMo) e da manutenção do sistema (CvMan), conforme CONAB (2010).

O CvE foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação (Li). A 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 utilizado foi de 0,32 R$ kW h^{-1}, considerando o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica..

O CvMo foi calculado utilizando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação (MAROUELLI e SILVA, 2011), considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB (2010). O número de irrigações (Ni) foi determinado para cada condição agroecológica dos anos, de acordo com o regime de precipitações. O número de setores do sistema de irrigação foi de 6 (seis), determinado na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado neste trabalho foi de R$ 1.175,15.

Os CvMan foram calculados sobre 1 % do valor do sistema de irrigação (novo), acrescido de 10 % do valor gasto com energia conforme sugerido pela CONAB, (2010).

Considerando que ainda não existe a cobrança pela uso da água, na região do estudo, o valor da água não foi considerado neste trabalho. Também não foi considerado o valor de armazenamento.

O retorno líquido (RL), nos diferentes cenários testados (sem irrigação e irrigado com 25, 50,75, 100 e 125 % da ETo) foi obtido através da seguinte equação:

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (7)$$

Onde:

RL – é o retorno líquido ao produtor irrigante (R$ ha^{-1});

RB – é a receita bruta (R$ ha^{-1});

CNRI – é o custo não relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

CFRI – é o custo fixo relacionado à irrigação (R$ ha^{-1});

CVRI – é o custo variável relacionado à irrigação (R$ ha^{-1}).

4.6.3 Viabilidade econômica da irrigação

A análise da viabilidade econômica foi realizada através de indicadores econômicos, sendo eles, a relação benefício-custo (B/C), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Foi realizada a determinação dos indicadores para os três cenários de ganho médio de peso diário dos animais, sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal dia^{-1}. Para a análise, foi considerada a lâmina de 100 % da ETo pelo fato de ser a lâmina teoricamente adequada com a necessidade hídrica da cultura.

Para a análise do investimento construiu-se um fluxo de caixa com taxa de desconto de 6,0% ao ano (CONAB, 2010).

O valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento é definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (da SILVA & FONTES, 2005).

O VPL foi calculado por meio da Equação 8.

$$VPL = \sum_{t=0}^{N} \frac{Ft}{(1+j)^t} \quad (8)$$

Onde:

VPL – valor presente líquido (R$ ha^{-1});

j – taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (decimal);

N– horizonte do projeto (anos);

t – tempo (período) do projeto (anos);

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

A taxa Interna de Retorno é um dos métodos de se avaliar propostas de investimentos. É uma medida relativa, expressa em percentual, que demonstra o quanto rende um projeto de investimento, considerando a mesma periodicidade dos fluxos de caixa do projeto. Representa a taxa que iguala, num único momento, os fluxos de entradas com os de saídas de caixa. Em outras palavras, é a taxa que produz um VPL igual à zero (PEREIRA & ALMEIDA, 2008).

A taxa interna de retorno de um projeto foi obtida através da Equação 9.

$$\sum_{i=0}^{N} \frac{Ft}{(1+\rho)^t} = 0 \qquad (9)$$

Onde:

ρ – taxa interna de retorno (decimal);

j – taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade em (decimal);

N– horizonte do projeto (anos);

t – tempo (período) do projeto (anos);

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

A relação benefício/custo é a razão existente entre os lucros obtidos e os custos para a sua obtenção em determinado tempo.

A razão benefício/custo foi calculada por meio da Equação 10.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{n} B/(1+j)^t}{\sum_{t=0}^{n} C/(1+j)^t} \qquad (10)$$

Onde:

B/C – razão benefício/custo;

B – receitas (R$ ha^{-1});

C – despesas (R$ ha^{-1}).

4.6.4 Conversão da produção de sorgo forrageiro em ganho animal

Para a conversão da produção de sorgo forrageiro (kg ha^{-1}) em ganho de peso animal (kg de Peso Vivo (PV)), foi determinada simulada considerando uma oferta de forragem diária de 4 % do PV do animal por dia, baseado em metodologia de Heringer e Carvalho (2002). Para a conversão, foram considerados animais de 300 kg de PV.

Foram considerados ganhos de peso médio diário dos animais (GMD) de acordo com a literatura (GLIENKE, 2012), sendo simulados GMD de 0,50, 1,00, e 1,50 kg animal dia^{-1} devido ao fato de ser o intervalo encontrado na literatura como o possível de obtenção. Como o período de produção do sorgo forrageiro foi de 60 dias, ou seja, período compreendido entre o primeiro e o terceiro corte, somando a produção encontrada em cada corte e dividindo pelo período de pastejo, foi obtida a quantidade de massa seca possível de ser ofertada por dia aos animais.

Com uma oferta de forragem de 4 % (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV), e considerando animais de 300 kg de PV, foi obtida a quantidade de animais possível de ser alimentada por dia com a produção de sorgo forrageiro obtida por área (ha^{-1} dia^{-1}).

Tais expectativas de rendimento por animal, multiplicadas pelo número de dias em que a forrageira é ofertada (60 dias), proporcionaram o ganho de peso vivo por animal por unidade de área no período, obtendo-se as expectativas de rendimento para os três ganhos médios diários simulados.

De posse dos custos de produção do sorgo forrageiro irrigado e do não irrigado e da simulação dos ganhos de peso animal por hectare, bem como, do preço de comercialização do kg de carne de animal vivo, o qual foi utilizado o de 6,0 R$ kg^{-1} PV, foi avaliada a viabilidade econômico-financeira da irrigação do sorgo forrageiro. Assim, foi determinada a expectativa de retorno econômico do capital investido no sistema de irrigação, além do lucro do produtor por ano para as distintas situações de simulação.

5 ARTIGO 1 – FUNÇÕES DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO

Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado

Functions of production and efficiency in water use in irrigated forage sorghum

Resumo

As pastagens são amplamente utilizadas por caracterizarem uma forma prática e econômica de alimentação aos animais. Na primavera-verão, a disponibilidade e a qualidade das pastagens naturais decaem devido à irregularidade das precipitações pluviométricas, tornando essencial a utilização de pastagens cultivadas e irrigadas. Assim, o sorgo forrageiro caracteriza-se como uma das melhores opções de cultivo, para corte e ensilagem, porém, necessita da adequada disponibilidade hídrica para atingir o seu potencial de produção. O objetivo com esse trabalho foi avaliar a produtividade do sorgo forrageiro em diferentes lâminas de irrigação, e também, a eficiência no uso da água, em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). O experimento foi conduzido em Santa Maria-RS, sob o delineamento experimental de blocos casualizados com 6 tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência) e 4 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As semeaduras foram realizadas em novembro de 2015 e de 2016 com a utilização da cultivar AG2501. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para a produtividade entre os distintos tratamentos e também, entre os anos agrícolas, bem como, para a eficiência no uso da água.

Palavras-chave: S*orghum bicolor L.(Moench)*, irrigação de pastagem, manejo da irrigação

Functions of production and efficiency in water use in irrigated forage sorghum

Abstract

Pastures are widely used to characterize a practical and economical way of feeding animals. In spring-summer, the availability and quality of natural pastures fall due to uneven rainfall,

making essential the use of cultivated and irrigated pastures. Thus, forage sorghum is characterized as one of the best cultivation options for cutting and ensiling, however, it needs adequate water availability to reach its production potential. The objective of this work was to evaluate the yield of forage sorghum in different irrigation slides, as well as the water use efficiency, in two agricultural years (2015/2016 and 2016/2017). The experiment was conducted in a randomized complete block design with four treatments (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the reference evapotranspiration) and 4 replicates, totaling 24 experimental units. Seeds were harvested in November 2015 and 2016 with the cultivar AG2501. Statistically significant differences were found for productivity between the different treatments and also, between the agricultural years, as well as for the efficiency in water use.

Keywords: *Sorghum bicolor L.(Moench)*, pasture irrigation, irrigation management

INTRODUÇÃO

Na América-Latina, o clima temperado é característico de diversos países, tais como, Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Chile, onde, de maneira geral, a utilização de pastagens cultivadas tem se caracterizado como a principal fonte de alimentação para rebanhos animais devido à adaptabilidade das espécies vegetais ao clima (SBRISSIA et al., 2017).

O Brasil é considerado um dos principais produtores agropecuários, possuindo cerca de 170 milhões de hectares sob pastagens, onde aproximadamente, 100 milhões são de pastagens cultivadas e o restante de pastagens nativas. A forma de produção da pecuária nacional é quase que na totalidade com rebanhos mantidos a pasto, com 99% da dieta dos bovinos sendo realizadas desta maneira (MOREIRA et al., 2014). As pastagens cultivadas são muito utilizadas dentro de sistemas de produção no Brasil devido ao baixo custo de produção, ao alto potencial produtivo e adequação a distintas regiões climáticas do país (OLIVEIRA et al., 2016).

Dentre as pastagens cultivadas, o sorgo forrageiro, pertencente à família *Poaceae*, é uma das principais culturas utilizadas para a alimentação animal nos maiores centros produtores de bovinos, ou seja, Estados Unidos, Austrália e América do Sul (ANDRADE et al., 2011). A escolha da cultura se dá em função da sua adaptabilidade ao clima, resistência a elevadas temperaturas e elevada produção de biomassa (AVELINO et al., 2011).

No Rio Grande do Sul, o sorgo forrageiro vem sendo amplamente utilizado e apresenta grande potencial de produção, onde o principal fator limitante é a ocorrência de irregularidade

nas precipitações. Contudo, com o incremento de tecnologias de reposição da demanda evapotranspirativa no sistema de produção, tais como a irrigação, possibilita alimento de boa qualidade nutritiva e produção elevada de massa verde e seca (CUNHA & LIMA, 2010).

As gramíneas tropicais pertencentes ao grupo de metabolismo fotossintético C4, dentre elas o sorgo forrageiro, necessitam de cerca de 250 a 350 gramas de água para cada grama de matéria seca produzida (PEDREIRA et al., 1998). Dessa maneira, a distribuição da água ao longo do ciclo é essencial para que a produção seja satisfatória com a expectativa previamente estabelecida, fato este, que normalmente não ocorre de maneira natural através das precipitações. Assim, torna-se necessário o complemento hídrico através da irrigação, eliminando o fator água das limitações de produção de forragem (AZEVEDO E SAAD. 2009).

A evolução da pecuária brasileira nos últimos anos tem ampliado a participação da irrigação dentro do agronegócio, tornando a irrigação uma estratégia cada vez mais importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (BERTOSSI et al., 2013). Nesse contexto, a irrigação de pastagem tem se caracterizado como alternativa para suprir o déficit hídrico, maximizando o potencial produtivo das forragens utilizadas nos sistemas de pastejo e intensificando a produção animal (ALENCAR et al., 2009; ANTONIEL et al., 2016).

Contudo, é necessária a avaliação do manejo da irrigação e de seus incrementos em produtividade, fato este, que torna a avaliação da eficiência no uso da água (EUA) imprescindível na agricultura irrigada. A determinação da EUA visa à análise financeira da operação, e, sobretudo, a utilização racional dos recursos hídricos, evitando que ocorram desperdícios e perdas de um recurso cada vez mais escasso (ALI et al., 2007).

Rodrigues (2000) relata que alguns cultivares de sorgo forrageiro apresentam alto potencial de rendimento chegando a produzir até 90 ton de matéria verde por hectare, em torno de 14 ton de matéria seca por hectare, em três cortes.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de massa seca e na eficiência no uso da água na cultura do sorgo forrageiro submetido a três cortes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo foram conduzidos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017 em área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul.

Foi utilizada a cultivar de sorgo forrageiro Agroceres 2501, sendo escolhida pelo fato de ser uma das adequadas para as condições climáticas do Rio Grande do Sul e por ser a mais utilizada pelos produtores agropecuários da região. As semeaduras do sorgo forrageiro foram realizadas nos dias 24 de novembro de 2015 e 29 de novembro de 2016.

A densidade de semeadura consistiu de aproximadamente 15 sementes por metro linear, visando uma população final de 400 mil plantas.ha^{-1}. Para a realização das semeaduras foi utilizada uma semeadora-adubadora mecânica com espaçamento de 0,36 m entre linhas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

O tratamento consistiu de aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação, sendo elas: 0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ETo). Para a determinação da ETo foi utilizada a equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN, et al., 2006). O manejo da irrigação foi estabelecido com turno de rega fixo de sete dias, sendo que as irrigações eram realizadas sempre que a precipitação efetiva ocorrida durante o intervalo do turno de rega não satisfazia a demanda evapotranspirativa da cultura.

Para a determinação da precipitação efetiva foi adotada metodologia proposta por Millar (1978). Esta fração da precipitação perdida é estimada de acordo com o tipo de solo, declividade do terreno e a condição de cultivo. Para o local de realização do trabalho, a fração da precipitação perdida por escoamento superficial utilizada foi 30% do total precipitado.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional, constituído por uma linha principal e vinte e quatro linhas laterais fixas, com canos do sistema de Policloreto de Vinila (PVC) e espaçamentos das linhas laterais de 4 m. Os aspersores foram conectados nas linhas laterais, com espaçamento de 4 m e elevação de 1,5 m em relação ao solo. Os aspersores utilizados foram da marca AgroJet, modelo P5$^{1/2}$.

Para a definição e calibração da lâmina de irrigação aplicada por hora pelo sistema, foi realizada com o teste de uniformidade de Christiansen (CUC), sendo determinada uma taxa de aplicação de água de 12,2 milímetros por hora. O volume de água infiltrada em relação ao tempo foi determinado através de infiltrômetros de anéis concêntricos sendo realizadas avaliações em quatro locais distintos da área experimental (CAUDURO E DORFMAN, 1986).

A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada através da variação do tempo de aplicação de água das diferentes parcelas, onde eram ligados cada tratamento de forma individual até atingir a necessidade hídrica necessária.

O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (MORENO, 1961), é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), apresenta temperaturas médias de 19,3 ºC

durante o ano. A média de precipitações ocorridas, durante os anos, é de 1688 mm. Contudo, a distribuição das precipitações durante o período de verão normalmente é irregular, causando períodos de estresse hídrico para as culturas, pois 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 solo utilizado para a realização do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrífico Típico. Estes solos apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E; a condição de drenagem varia desde imperfeitamente drenado a bem drenado, dependendo da posição que esses solos ocupam na paisagem (STRECK et al., 2008).

A adubação de base da cultura foi realizada tendo por referência a interpretação dos resultados de análise química do solo para um sistema de plantio direto já consolidado. A aplicação do fertilizante ocorreu conjuntamente com a semeadura através de uma semeadora-adubadora, obedecendo à recomendação técnica para adubação. Foram aplicados 250 $kg.ha^{-1}$ de adubo com formulação comercial de 5-20-20 de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOS SOLOS, 2004). A aplicação de defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas e inseticidas) foi realizada de forma abrangente e homogênea em toda área experimental, quando houve necessidade.

O sorgo forrageiro apresenta na sua composição níveis elevados de tanino e de ácido cianídrico em estágios iniciais de desenvolvimento, não sendo recomendado nem corte para oferta aos animais e nem o pastejo neste intervalo. Assim, o primeiro corte teve um intervalo maior de dias em relação aos demais cortes realizados, sendo de 50 dias após a semeadura devido ao fato de a cultura do sorgo forrageiro poder desencadear toxidez aos animais.

A cultura foi conduzida durante 110 dias, sendo realizados cortes de uniformização para simulação de pastejo. Realizaram-se três avaliações de produtividade de massa seca (MS) através de cortes aos 50, 80 e 110 dias após a semeadura (DAS). Salienta-se que os cortes foram determinados de acordo com as recomendações da cultivar.

Foram coletadas três amostras de 0,5 m linear por parcela, totalizando 72 amostras por corte. Os cortes foram realizados 15 cm de altura em relação ao solo, com auxilio de foice. Foram separadas manualmente, e avaliadas individualmente em duas frações da amostra: folha (lâmina foliar) e colmo (bainha da folha + colmo). Todas as amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas e verificadas sua massa em balança de precisão. A partir disto, foi calculada a participação percentual e a massa de cada componente, em $kg.ha^{-1}$ de matéria seca.

A eficiência no uso da água foi determinada através da relação entre a quantidade total de água (somatório entre a precipitação efetiva ocorrida e as diferentes lâminas de irrigação aplicadas em cada um dos tratamentos) e a produção de massa seca em cada um dos cortes no somatório dos três cortes realizados, conforme metodologia utilizada por Oliveira et al. (2011).

Os dados obtidos referentes à produção de massa seca ao longo dos dias após a semeadura (DAS) foram avaliados estatisticamente através da análise de variância-ANOVA e, posteriormente, os efeitos individuais dos tratamentos foram avaliados através da análise de regressão com a utilização do software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 1998) considerando os testes estatísticos ao nível de 5% de probabilidade de erro e para a elaboração das imagens gráficas foi utilizado o software Sigmaplot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição da precipitação durante o período de primavera-verão no Rio Grande do Sul tem se caracterizado como um dos principais fatores responsáveis pela oscilação da produção das culturas. As séries históricas de precipitações pluviométricas tem apontado irregularidades ao longo dos últimos anos, com períodos de elevados volumes e outros de escassez hídrica, o que caracteriza incerteza na produção das pastagens cultivadas. Neste período do ano, a demanda evapotranspirativa é alta e as precipitações em determinados momentos não são suficientes ou são mal distribuidas ao longo do tempo para atender as necessidades das culturas (NIED et al., 2005) .

Devido a variabilidade ocorrida na distribuição das precipitações ao longo dos anos, se faz necessário a realização de trabalhos para determinação das variações de produtividade das culturas em função das variações climáticas. Desta forma, foram realizadas avaliações em duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017) de precipitação total e efetiva ao longo das duas condições, atributos estes, necessários para a determinação da necessidade de irrigação suplementar a ser disponibilizada, sendo necessária a avaliação das funções de produção das diferentes lâminas de irrigação e da eficiência no uso da água.

Na Tabela 1, estão representadas as precipitações (total e efetiva) ocorridas nos duas condições agroecológicas e a complementação hídrica aplicada nas lâminas de irrigação.

Tabela 1 Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas), precipitação total e efetiva de acordo com os diferentes tratamentos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017

2015/2016				
Tratamento	Precipitação Total	Precipitação Efetiva	Lâmina de Irrigação	Lâmina Total
(% Eto)		Mm		
125	655,20	458,04	146,82	604,86
100			117,46	575,50
75			88,09	546,13
50			58,73	516,77
25			29,36	487,40
0			0,00	458,04
2016/2017				
Tratamento	Precipitação Total	Precipitação Efetiva	Lâmina de Irrigação	Lâmina Total
(% Eto)		Mm		
125	847,40	593,18	161,87	755,05
100			92,50	685,68
75			69,37	662,55
50			46,25	639,43
25			23,12	616,30
0			0,00	593,18

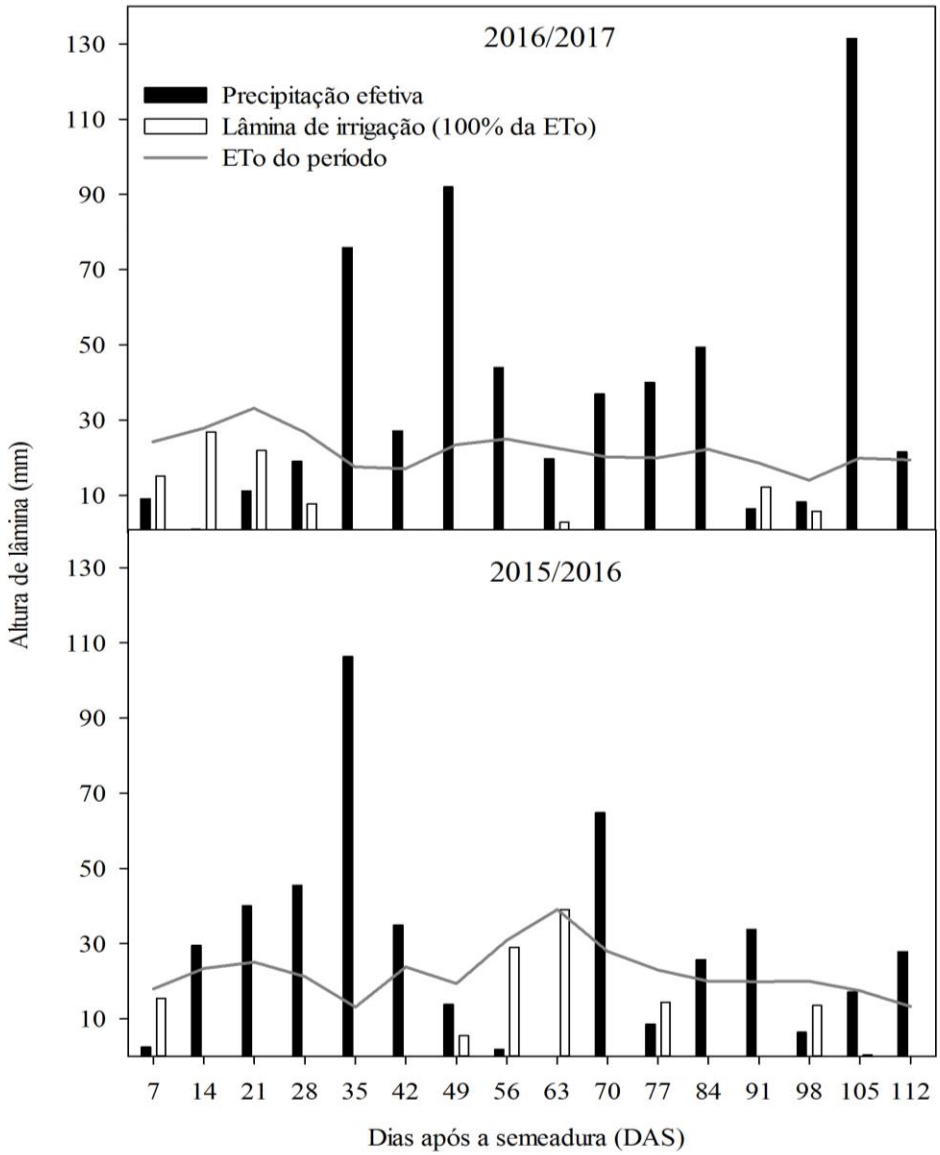
De acordo com Von Pinho et al., (2007), a demanda hídrica necessária para a obtenção de boas produtividades na cultura do sorgo é de 380 a 600 mm. Portanto, as precipitações efetivas de 458 e 593 mm ocorridas nos dois anos avaliados seriam suficientes para suprir as necessidades hídricas da cultura, porém, as distribuições das chuvas foram irregulares, sendo necessário a reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação.

O comportamento pluviométrico seguiu a mesma tendência nos dois anos avaliados, e, consequentemente, a produtividade de massa seca também apresentou variação para as distintas lâminas de irrigação. De acordo com Santos & Carlesso (1998), a ocorrência de ano bastante chuvoso promove o crescimento de raízes pouco profundas e que, mesmo em pequenos intervalos de tempo com ausência ou insuficiência de precipitações, determinam queda de produtivadade.

Conforme se pode observar na Tabela 1, houve necessidades de irrigações consideráveis durante o ciclo da cultura para os dois anos avaliados. Apesar do elevado volume total precipitado, a distribuição foi muito irregular, tornando essencial a realização da

reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação. O regime pluviométrico, as necessidades de irrigação e a demanda evapotranspirativa estão representados na Figura 1.

Figura 1 Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência ocorridas durante o transcorrer de duas condições agroecológicas.



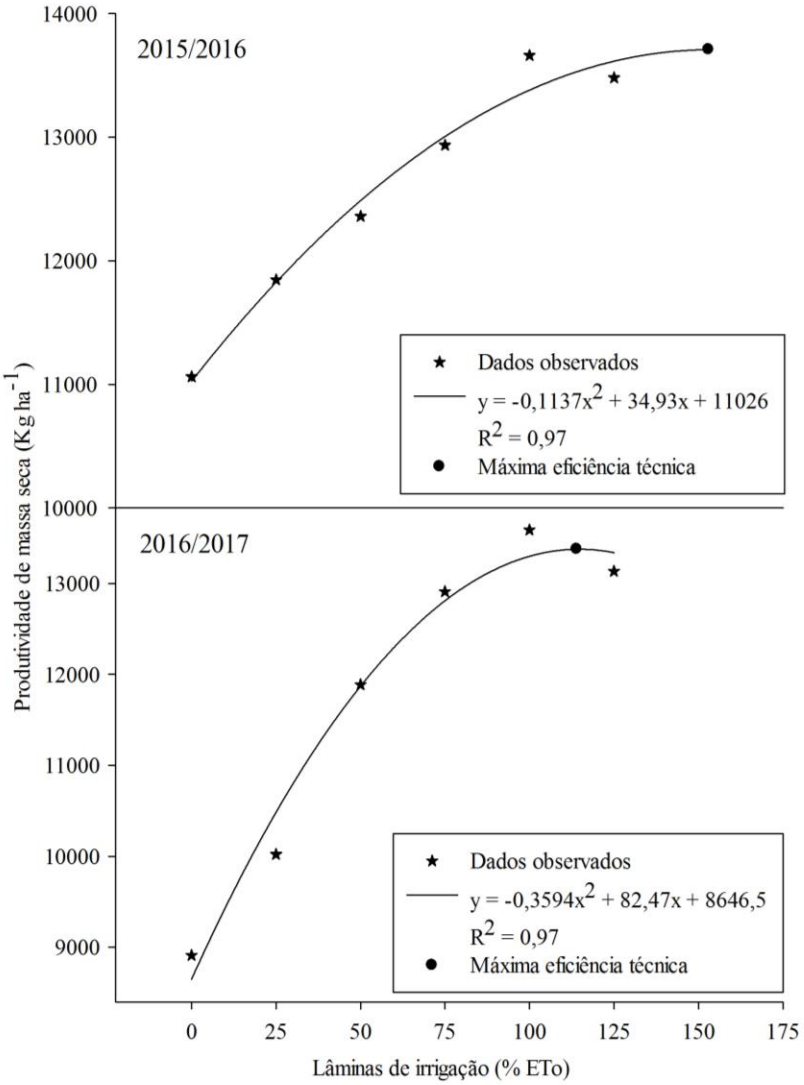
Na condição agroecológica 2015/2016 (Experimento 1) foram necessárias irrigações em seis semanas durante o transcorrer do período para complementação das perdas por evapotranspiração, totalizando um volume de irrigação de 117,4 mm na lâmina de 100 % da ETo. Já na condição agroecológica 2016/2017 (Experimento 2) foram realizadas seis irrigações ao longo da condução da cultura, totalizando um volume de irrigação de 92,5 mm na lâmina de 100 % da ETo.

Como pode ser observado na Figura 1, na condição agroecológica 1 (2015/2016), foi

realizada uma irrigação na primeira semana após a semeadura e depois, somente transcorridas 6 semanas foi necessária a segunda irrigação. Na condição agroecológica 2 (2016/2017) foram necessárias 4 irrigações consecutivas nas primeiras semanas de desenvolvimento da cultura.

Na Figura 2 estão representadas as produtividades totais de massa seca encontradas para as diferentes lâminas de irrigação, no somatório das produtividades dos cortes para cada um dos experimentos, 2015/2016 e 2016/2017, assim como os pontos de máxima eficiência técnica.

Figura 2 Produtividade total de massa seca em função das lâminas de irrigação aplicadas na cultura do sorgo forrageiro e os pontos de máxima eficiência técnica nas condições agroecológicas de 2015/2016 e 2016/2017



Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que os pontos de máxima eficiência técnica divergiram entre as condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017), sendo na condição 1 obtido no tratamento com a lâmina de irrigação correspondente a 153 % da ETo, com uma expectativa de produção de 13.709 kg ha^{-1} de MS.

Para a condição agroecológica 2 (2016/2017) o ponto de máxima eficiência técnica foi encontrado no tratamento com a lâmina de irrigação corresponde a 114 % da ETo, apresentando uma expectativa de rendimento de 13.377 kg ha^{-1} de MS.

Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que foram ajustadas equações parabólicas para ambos os anos, apresentando r^2 de 0,97 para ambos os experimentos. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas através do teste F para os dois anos, estando os resultados da anova apresentados na tabela 2.

Tabela 2 Anova para a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de massa seca em sorgo forrageiro.

Experimento	Soma de quadrados	Quadrado médio do erro	Fc	Pr>Fc
2015/2016	1228220.77	1228220.77	41.88	0.00*
2016/2017	299273.36	299273.36	4.92	0.04*

Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Para ambas as condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017) a lâmina com maior produtividade observada foi a de 100 % da ETo com 13.661 kg ha^{-1} e 13.134 kg ha^{-1}, ocorrendo aumento de produção do não irrigado até a lâmina de 100 %, e após, redução da produtividade com a lâmina de 125 % respectivamente. Assim, é possível concluir que o excesso hídrico é prejudicial ao sorgo forrageiro, e que, a calibração da lâmina de irrigação é imprescindível para a obtenção de produtividades próximas do teto produtivo.

Além disso, os resultados mostram que houve grande diferença de produção entre os tratamentos não irrigados entre as condições agroecológicas 1 e 2. A variabilidade e a irregularidade das precipitações nas primeiras semanas de crescimento na condição agroecológica 2, causou deficiência hídrica no tratamento não irrigado, justificando os cerca de 2000 kg ha^{-1} a menos de massa seca produzida na condição agroecológica 2(2016/2017) em relação a condição agroecológica 1 (2015/2016).

Por este motivo, o período inicial de crescimento e perfilhamento do sorgo forrageiro foi favorecido pelo suprimento hídrico adequado na condição agroecológica 2 em todos os

tratamentos, inclusive na parcela testemunha não irrigado, ao contrário da condição agroecológica 1.

Os resultados encontrados seguem a mesma tendência dos obtidos por Vale & Azevedo (2013) que em avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo, irrigados com água do lençol freático e do rejeito dessanilizados, obtiveram produtividade de 14.500 kg ha^{-1} de massa seca no tratamento irrigado com lençol freático, valor este, um pouco acima dos obtidos na lâmina 100 % nos 2 anos avaliados.

Outro trabalho em que a irrigação proporcionou elevação da produção em sorgo é o de Zwirtes (2013), que em avaliação das características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária, encontrou maior produtividade de massa seca na lâmina de 100 % da ETc com 13.785 kg ha^{-1}, ficando próximo dos 13.661 kg ha^{-1} encontrados na condição agroecológica 1 e dos 13.589 kg ha^{-1} obtidos na condição agroecológica 2 na lâmina de 100 % da ETo.

Cunha e Lima (2010), em determinação da produção de massa seca em 23 genótipos de sorgo, obteve média de 15.703 kg ha^{-1} de produção de massa seca, com produtividade dos genótipos variando de 13.467 a 26.100 kg ha^{-1}, também dentro do intervalo encontrado para ambos os experimentos. Melo (2006), encontrou acréscimo de produção de 57,9 % através da irrigação com lâmina de 100 % da capacidade de campo em relação à lâmina de 25 %.

Através dos resultados encontrados nos experimentos e dos trabalhos citados na literatura, é possível caracterizar a água aplicada através da irrigação, como fator determinante para a oscilação das produtividades de massa seca.

A variação ocorrida na produtividade em cada uma das lâminas de irrigação para ambos os experimentos, com comportamento quadrático e teto de produção na lâmina de 100 % da ETo, tornam a irrigação uma alternativa viável para o aumento dos índices de produção das pastagens cultivadas com sorgo forrageiro e demonstram a importância do correto dimensionamento e manejo da irrigação.

Alinhados aos resultados encontrados, alguns autores enfatizam a necessidade e a importância de determinação da necessidade hídrica e das produtividades das culturas em tratamentos irrigados e não irrigados. De acordo com Antoniel et al. (2016), o aumento da produção de massa seca em pastagens quando irrigado em relação às pastagens de sequeiro é inquestionável.

Além disso, a produção máxima de ambos os anos ficou próxima a 13.000 kg ha^{-1}, sendo encontrada na lâmina de 100 % da ETo. Isto se justifica no fato de não ter ocorrido deficiência hídrica devido à reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação.

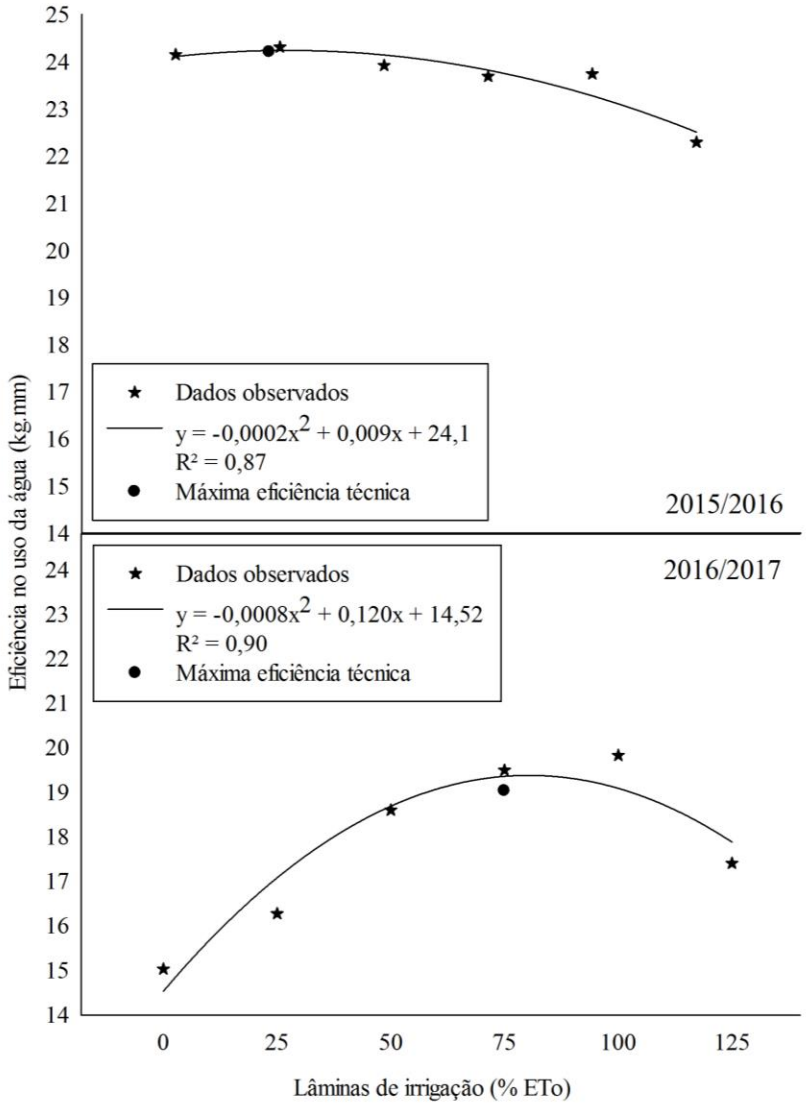
Também é possível verificar que o excesso hídrico aplicado através da lâmina de 125 % da ETo além de caracterizar a perda de água e o aumento do custo de produção ainda ocasiona perdas de produtividades no sorgo forrageiro.

Para Alencar et al. (2009), a aplicação excessiva de água em irrigação de pastagens é o principal problema, pois resulta em prejuízos ao ambiente, desperdício de energia e água, lixiviação de nutrientes e maior compactação do solo. Para Wagner et al. (2013), o crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas são influenciados por vários fatores, incluindo dinâmica solo-planta-atmosfera, disponibilidade de água no solo, evapotranspiração e utilização de água de plantas.

Pimentel et al. (2016) caracterizam a água como fator responsável pelo incremento de produção de forragem, onde o abastecimento adequado de água é um fator determinante para o desenvolvimento de folhas e caules em espécies forrageiras. Somente com a disponibilidade adequada de água no metabolismo vegetal, ocorrem as mudanças necessárias entre a planta e a atmosfera, atingindo altos níveis de fotossíntese, o que, consequentemente, leva ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Ferrari et al. (2015), afirmam que a ocorrência de deficiência hídrica provoca alterações no funcionamento das plantas, tais como, redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência, abscisão foliar, entre outras. Ferraz et al. (2012), definem que através da maior disponibilidade de água, as plantas aumentam a troca de gases entre planta e atmosfera, causando a expansão do tecido vegetal e o desenvolvimento da parte aérea, principalmente folhas. Contudo, além dos aspectos referentes à produtividade, a determinação da eficiência no uso da água (EUA) é extremamente importante na agricultura irrigada. As eficiências no uso da água para cada uma das lâminas de irrigação nos dois anos agrícolas e os pontos de máxima eficiência técnica estão representadas na Figura 3.

Figura 3. Eficiência no uso da água para cada lâmina de irrigação e os pontos de máxima eficiência técnica nos 2 anos avaliados



Conforme pode ser observado na Figura 3, houve variação na EUA entre as condições agroecológicas 1 e 2. Os pontos de máxima eficiência técnica (MET) foram encontrados nos tratamentos com as lâminas de irrigação de 22,5 % em 2015/2016 e 75 % da ETo em 2016/2017, com uma expectativa de rendimento de 24,2 kg mm^{-1} no primeiro ano e 19,02 kg mm^{-1} na condição agroecológica 2016/2017. Esta variação ocorrida na MET entre os anos avaliados ocorreu em função da amplitude de variação nos volumes de precipitação e irrigação distintos, além da variabilidade de produção de massa seca entre os experimentos e da frequência das irrigações.

Como pode ser observado na Figura 1, para o ano de 2015/2016 as irrigações foram necessárias em semanas espaçadas e esporádicas, fato este que aumentou a MET em relação a

2016/2017, onde se fizeram necessárias três irrigações em semanas consecutivas nas primeiras semanas de crescimento e desenvolvimento da cultura, diminuindo assim a MET.

Koetz et al. (2006) afirmam que o aumento do intervalo compreendido entre as irrigações determina um aumento na eficiência do uso da água, pois uma maior fração da irrigação é aproveitada pela planta. Sousa et al. (2000) mencionam que a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante o desenvolvimento da cultura, diminuem a ocorrência de perdas de água por drenagem, bem como, aumentam a eficiência no uso da água e seu ponto de máxima eficiência técnica.

Para a condição agroecológica 1 (2015/2016), houve pequena variação entre as lâminas, com valores compreendidos entre 22,28 e 24,30 $kg.mm^{-1}$. Já para a condição agroecológica 2, houve uma amplitude maior de variação na EUA entre as distintas lâminas, variando de 15,01 a 19,81 $kg\ mm^{-1}$.

Este resultado pode ser atribuído ao fato de durante a condição agroecológica 1 ter ocorrido um volume menor de precipitação pluvial em relação a condição 2, além, de uma distribuição pluviométrica mais uniforme ao longo das primeiras 4 semanas. Na condição agroecológica 1 foi necessária apenas uma irrigação neste período, enquanto na condição 2 foram quatro irrigações.

Este fato ocasionou uma diferença expressiva de produção no tratamento não irrigado entre os anos agrícolas, pelo déficit hídrico ocorrido no condição agroecológica 2 em um período crucial de crescimento e estabelecimento da cultura, que é o perfilhamento. Magalhães et al. (2008) contribuem afirmando que os perfilhos naturalmente são mais sensíveis ao déficit hídrico que a planta mãe, fato este, que causa a morte dos perfilhos e, consequentemente, quedas de produção, influenciando de maneira direta na EUA entre os experimentos.

Nota-se ainda que na condição agroecológica 1 a equação ajustada foi a de segundo grau, onde a maior EUA foi encontrada na lâmina de 22,5 % da ETo seguida pela testemunha não irrigada. As menores EUA foram obtidas nas maiores lâminas de irrigação, ou seja, nas lâminas de 125 e de 100 % da ETo. Este resultado é atribuído à distribuição mais regular de precipitação e a menor amplitude de produtividade entre os tratamentos.

Na condição agroecológica 2 a equação ajustada também foi de segundo grau, onde a maior EUA foi encontrada na lâmina de 75 % da ETo e a menor no tratamento testemunha. O resultado é atribuído à má distribuição da precipitação nas primeiras semanas, provocando amplitude alta de produtividade entre os tratamentos, principalmente na baixa produtividade do tratamento testemunha quando comparado aos demais.

Os resultados encontrados para a condição agroecológica 1 (2015/2016) estão de acordo com os obtidos por Melo (2006), que em trabalho com as culturas do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.), encontrou maior EUA para as menores lâminas de irrigação em sorgo. Neste trabalho foram testadas as seguintes lâminas: 0, 25, 50, 75 e 100 % da capacidade de campo do solo. A maior eficiência foi encontrada na lâmina de 25 % de capacidade de campo com 4,50 g kg^{-1}, enquanto que o menor valor da eficiência de uso da água foi obtido na lâmina de 100 % de capacidade de campo com 3,00 g kg^{-1}.

Ali & Talukder (2008), caracterizam a importância da determinação da eficiência do uso da água afirmando que o aumento pode ser alcançado através de manejos de irrigação com reposição parcial da lâmina total necessária ou com a redução da frequência de irrigação.

Já os resultados obtidos para a condição agroecológica 2 (2016/2017) estão de acordo com os obtidos por Parizi et al. (2009), que trabalhando com cinco estratégias de irrigação 0, 60, 80, 100 e 120 % da ETo, com a cultura do milho, observaram os maiores valores de EUA de 3,41 kg m^{-3} ha^{-1} e 3,46 kg m^{-3} ha^{-1} nos tratamentos de 80 % e 100 % de ETo e o valor mais baixo, 3,0 kg m^{-3} ha^{-1} foi obtido na lâmina de 120 % da ETo, ou seja, lâminas superiores a 100 % diminuíram a EUA.

Também podem ser encontrados resultados opostos aos encontrados nas condições agroecológicas, tais como, os de Souza et al. (2011), que em trabalho com cinco lâminas de irrigação diferentes: 0, 50, 75, 100 e 125 % de ETo, para o consórcio de milho e feijão-caupi na região de Petrolina-PE, encontraram comportamento linear para a eficiência no uso da água em semeadura exclusiva. Os valores encontrados para as lâminas citadas foram de 0,46 kg m^{-3} a 0,77 kg m^{-3} em função dos tratamentos citados, caracterizando assim, que o aumento da lâmina de irrigação proporcionou o aumento da EUA.

CONCLUSÕES

A cultura do sorgo forrageiro apresenta resposta de incremento de produção de massa seca (kg ha^{-1}) quando irrigada para ambas as condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017), porém, é afetada tanto pelo déficit quanto pelo excesso hídrico, sendo sua função de produção quadrática.

A eficiência de uso da água difere em relação as lâminas de irrigação aplicadas para as distintas condições agroecológicas avaliadas, apresentam equações quadráticas em cada

condição agroecológica, variando em função das condições climáticas e do regime de distribuição das precipitações poluviométricas ocorridas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, C. A. B.; da Cunha, F. F.; Martins, C. E.; Cóser, A. C.; da Rocha, W. S. D.; Araújo, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, p.98-108, 2009. http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300012.

Ali, M. H.; Hoque, M. R.; Hassan, A. A.; Khair, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. Agricultural water management, v.92, p.151-161, 2007. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.010.

Ali, M. H.; Talukder, M. S. U. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 95, n.11, p. 1201–1213, 2008. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, J. Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298 p.

Andrade, A. R. S.; Machado, C. B.; Vilela, E. L.; Camêlo, D. L.; Silva, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um latossolo amarelo submetido à adubação orgânica. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava, n. 4, v. 2, p. 137-151, 2011. https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/download/1332/1451.

Antoniel, L. S.; Prado, G.; Rocha, T.; Bombardelli, W. W. A.; Beltrame, G. A.; Bueno, J. I.

Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. Revista Irriga, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 248-259, 2016.
http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p248-259.

Antoniel, L. S.; Prado, G.; Tinos, A. C.; Beltrame, G. A.; De Almeida, J. V.; Cuco, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.
http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p539-544.

Avelino, P. M.; Neiva, J. N. M.; Araujo, V. L.; Alexandrino, E.; Bomfim, M. A. D.; Restle, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 208-215, 2011.
http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/675/527.

Azevedo, L. P. D.; Saad, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. Revista Irriga, v. 14, n. 4, p. 492-503, 2009.
http://hdl.handle.net/11449/71168.

Bertossi, A. P., Milen, L. C., de Oliveira H, M., Rodrigues, R. R., dos Reis, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava- Nucleas, v. *10*, n. 1, p. 125-134, 2013.
http://dx.doi.org/10.3738//1982.2278.864.

Cauduro, F.; Dorfman, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Proni/Iph-UFRGS, Porto Alegre-Rs, 1986.216 p.

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. 400 p.

Cunha, E. E.; Lima, J. M. P. D. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. Revista Brasileira de Zootecnia, Piracicaba, v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010.
http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000400002.

Ferrari, E.; Paz, A.; Silva, A.C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. Nativa, Sinop, v.3, n. 1, p. 67-77, 2015. http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/viewFile/1855/pdf.

Ferraz, R. D. S.; Melo, A. S.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Nunes Júnior, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010.

Ferreira, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

Klein, C.; Klein, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 5,d p.3915-3925, 2014. http://dx.doi.org/10.5902/22361308%2014674.

Koetz, M.; Coelho, G.; Costa, C. C. da; Lima, E. P.; Souza, R. J. de. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface americana em ambiente protegido. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6916d2006000300009.

Magalhães, P. C.; Durães, F. O. M.; Rodrigues, J. A. S. Ecofisiologia. Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2. Versão Eletrônica – 4. ed. Set. 2008.

Melo, D. Avaliação de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) e milheto (Pennisetum glaucum (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo. 59f. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 59 p. Dissertação Mestrado.

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

Moreira, C. D. A.; Pereira, D. H.; Coimbra, R. A.; Moreira, I. D. A. Germinação de Gramíneas Forrageiras em Função da Inoculação de Bactérias Diazotróficas. Scientific

Electronic Archives, v. 6, p. 90-96, 2014.
file:///C:/Users/Cliente/Downloads/99-419-1-PB1.pdf.

Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretária da Agricultura, 1961. 42p.

Nied, A. H.; Heldwein, A. B.; Estefanel, V.; Silva, J. C.; Alberto, C. M. 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.
http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000500003.

Oliveira, E. C. A.; Freire, F. J.; Oliveira, A. C.; Neto, D. E. S.; Rocha, A. T.; Carvalho, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açucar submetida a diferentes regimes hídricos. Pesquisa agropecuária brasileira, v.46, n.6, p.617-625, 2011.
http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/10222.

Oliveira, V. D. S.; Morais, J. A. D. S.; Fagundes, J. L.; Lima, I. G. S.; Santana, J. C. S.; Dos Santos, C. B. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, v.*26*, *n*. 1, p. 1-10, 2016.
http://revistas.bvs-vet.org.br/rcemv/article/view/35675/40086.

Parizi, A. R. C.; Robaina, A. D.; Gomes, A. C. S.; Soares, F. C.; Ramao, C.; Calegaro, I.; Peiter, M. X. Efeito de diferentes estratégias de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. Irriga, Botucatu, v. 14, p. 254- 269, 2009.
file:///C:/Users/Cliente/Downloads/parizi%202009_efeitos%20de%20laminas%20na%20produtividade%20e%20componentes%20de%20rendimento%20millho.pdf.

Pedreira, C. G. S.; Nussio, L. G.; Silva, S. C. Condições edafoclimáticas para produção de Cynodon spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 85-114.

Pimentel, R. M.; Bayão, G. F. V.; Lelis, D. L.; Silva, A. J. C.; Saldarriaga, F. V.; Melo, C. C. V.; Miranda, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. PUBVET, Maringá, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2016.

http://www.pubvet.com.br/uploads/1f23af62995ac0ddf2c41475e0be072b.pdf.

Rodrigues, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (Sorghum bicolor x Sorghum sudanense) sob condições de corte e pastejo. In: Simpósio de forragicultura e pastagens: temas em evidência. Anais... Lavras: UFLA, 2000. p.179-201.

Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf.

Sousa, V.F. de; Coêlho, E.F.; Fizzone, J.A.; Folegatti, M.V.; Andrade Júnior, A.S.; Oliveira, F. das C. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes freqüências de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.183-188, 2000.
http://www.agriambi.com.br/revista/v4n2/183.pdf.

Sbrissia, A. F.; Duchini, P. G.; Echeverria, J. R.; Miqueloto, T., Bernardon, A.; Américo, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, v. *25*, n. 1,p. 47 -60, 2017.
https://www.researchgate.net/publication/318505922_Animal_production_on_cultivated_pasturelands_in_regions_of_temperate_climate_of_Latin_America.

Sigmaplot. For Windows, version 11.0. Systat software, 2008.

Souza, L. S. B; Moura, M. S. B.; Sediyama, G. C.; Silva, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. Bragantia, Campinas, v.70, p.715-721, 2011.
http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000300030.

Streck, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P.; Giasson, E., Pinto, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

Torres, R. R. Resposta da irrigação na produção de forragem de milheto. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2018.

Vale, M. B.; Azevedo, P. B. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. Revista Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Barbacena, v.3, p. 181-195, 2013.
http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1383/688.

Von Pinho, R. G.; Vasconcelos, R. C.; Borges, I. D.; Resende, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. Bragantia, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.
http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200007.

Wagner, M.; Jadoski, S. O.; Maggi, M. F.; Saito, L. R.; Lima, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.2, p. 170-179, 2013.
http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200008.

Zwirtes, A. L. Características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 96 p. Dissertação Mestrado.

6 ARTIGO 2 - VIABILIDADE FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO EM SISTEMA DE ASPERSÃO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE

VIABILIDADE FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO EM SORGO FORRAGEIRO EM SISTEMA DE ASPERSÃO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE

1 RESUMO

A bovinocultura de corte quando os animais são mantidos em pasto de sorgo forrageiro caracteriza-se como um dos principais meios de produção bovina no Rio Grande do Sul. Contudo, existem irregularidade das precipitações e os produtores utilizam a irrigação como alternativa para a falta de água. Porém, há uma necessidade de determinação dos custos de produção e da viabilidade financeira da atividade. Este trabalho objetiva avaliar a viabilidade financeira da irrigação em sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte para diferentes expectativas de ganho de peso médio diário dos animais. Conduziu-se dois experimentos em 2015/2016 e 2016/2017 em Santa Maria/RS, e avaliou-se as produtividades de seis lâminas de irrigação por aspersão convencional (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo), em quatro repetições, delineamento blocos ao acaso. Com as produtividades, gerou-se funções de produção e determinou-se a carga animal possível de ser alimentada para cada tratamento. Simulou-se três cenários de ganho de peso diário por animal (0,5, 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}), e os custos de produção para cada tratamento de irrigação, além do retorno financeiro para cada cenário testado. Verificou-se que a irrigação é viável financeiramente para a maioria dos cenários avaliados e que os custos dependem do regime das precipitações.

Palavras chave: Sorghum bicolor L. (Moench), irrigação de pastagem, viabilidade financeira, custos de produção, déficit hídrico, irrigação complementar.

2 ABSTRACT

The bovinoculture of cut when animals are kept in pasture of forage sorghum grass is one of the main means of bovine production in Rio Grande do Sul. However, there are irregularities of precipitation and producers use irrigation as an alternative to water shortage . However, there is a need to determine production costs and the financial viability of the activity. This work aims to evaluate the financial viability of irrigation in forage sorghum for beef cattle for different expectations of average daily weight gain of the animals. Two experiments were conducted in 2015/2016 and 2016/2017 in Santa Maria / RS, and the yields of six conventional irrigation blades (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of ETo) were evaluated, in four replications, randomized block design. With the productivities, production functions were generated and the possible animal load to be fed for each treatment was determined. Three scenarios of daily weight gain per animal (0.5, 1.0 and 1.5 kg animal-1 day-1) were simulated, and the production costs for each irrigation treatment, in addition to the financial return for each scenario tested. It was found that irrigation is feasible financially for most scenarios evaluated and that the costs depend on the precipitation regime.

Key words: Sorghum bicolor L. (Moench), forage irrigation, financial viability, production costs.

3 INTRODUÇÃO

O Brasil caracteriza-se no mercado internacional como um dos principais produtores de carne bovina, com o maior rebanho comercial do mundo. É considerado um dos poucos países com reais possibilidades de expansão da produção devido ao vasto território (DA CRUZ et al., 2014).

Contudo, há uma heterogeneidade produtiva da bovinocultura de corte a nível nacional devido a fatores ambientais e geográficos, tais como, períodos de escassez de água, acidez do solo, fertilidade, tipo de solos e temperaturas que influenciam na disponibilidade de alimento aos animais (POLAQUINI et al., 2006).

O fornecimento de alimentos aos animais através de pastagens sejam elas nativas ou cultivadas, é a maneira preferencial de alimentação de bovinos por grande parte dos produtores pecuários no Brasil e no mundo, tornando o sistema de engorda em pastejo, a principal fonte de alimento dos rebanhos (CASTRO et al., 2010).

A função das pastagens cultivadas é integrar um sistema de produção ambientalmente adequado, agronomicamente eficiente, economicamente viável e socialmente justo, isto é, buscar a sustentabilidade para atender às demandas de um mercado globalizado (DIAS FILHO, 2011).

Dentre as pastagens cultivadas, o sorgo forrageiro, pertencente à família *Poaceae,* é uma das principais culturas utilizadas para a alimentação animal nos maiores centros produtores de bovinos, ou seja, Estados Unidos, Austrália e América do Sul (ANDRADE et al., 2011). A escolha da cultura se dá em função da sua adaptabilidade ao clima, resistência a elevadas temperaturas e elevada produção de biomassa (AVELINO et al., 2011).

As gramíneas tropicais pertencentes ao grupo C4, dentre elas o sorgo forrageiro, caracterizam-se pela maior eficiência de uso da água, necessitando de cerca de 250 a 350 mL

de água para cada grama de matéria seca produzida (PEDREIRA et al., 1998). Dessa maneira, a distribuição da água ao longo do ciclo é essencial para que a produção seja viável economicamente, fato este, que normalmente não ocorre de maneira natural através das precipitações. Assim, torna-se necessário o complemento hídrico através da irrigação, eliminando o fator água das limitações de produção de forragem (KIRCHNER et al., 2018).

A evolução da pecuária brasileira nos últimos anos tem ampliado a participação da irrigação dentro do agronegócio, tornando uma estratégia cada vez mais importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (BERTOSSI et al., 2013). Nesse contexto, a irrigação de pastagem tem se caracterizado como alternativa para suprir o déficit hídrico, maximizando o potencial produtivo das forragens utilizadas nos sistemas de pastejo e intensificando a produção animal (ALENCAR et al., 2009; ANTONIEL et al., 2016; KIRCHNER et al., 2017).

De acordo com Silva et al. (2007), os investimentos necessários para a aquisição de um sistema de irrigação, atrelados ao intenso uso de insumos agrícolas, tornam a avaliação financeira item essencial de estudo antes de qualquer implantação de projeto de agricultura irrigada. Apesar de a irrigação angariar inúmeros benefícios e vantagens aos agricultores, os riscos da sua utilização devem ser amplamente estudados e avaliados, tendo sempre o intuito de que o incremento de produção supere os investimentos financeiros de aquisição e produção (VILAS BOAS et al., 2011).

A análise econômico-financeira, indispensável para a execução de projetos de irrigação deve ser a determinada através da obtenção dos custos de produção, da receita bruta e da receita líquida para a correta tomada de decisão e investimento (ALMEIDA et al., 2018). Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade financeira da irrigação em sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte para diferentes expectativas de ganho de peso médio diário dos animais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão descritas as metodologias e o referencial utilizados para a realização do trabalho, explicando o processo de obtenção das equações de produção de massa seca de sorgo forrageiro encontradas em experimentos de campo, bem como, as equações e processos utilizados para a determinação dos custos. Também, a metodologia de simulação da produção de sorgo forrageiro em quilogramas de carne bovina e a determinação da viabilidade financeira da irrigação de sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte.

4.1 Experimento de campo

Para análise da viabilidade da produção de forragem de sorgo forrageiro irrigada foram comparados os lucros líquidos da produção não irrigada e irrigada em duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017), na região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foram realizadas as conversões da produção de forragem de sorgo em quilogramas de peso vivo animal e as estimativas de custos com base nas demandas hídricas de cada safra.

As avaliações de campo foram conduzidas nos anos agrícolas de 2015/2016 (condição agroecológica 1) e 2016/2017 (condição agroecológica 2), entre os meses de novembro e março, em área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, sendo utilizada a cultivar Agroceres 2501.

O tratamento consistiu de aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação, sendo elas: 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de referência (ETo). Para a determinação da ETo foi utilizada a equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN, et al., 2006). O manejo da irrigação foi estabelecido com turno de rega fixo de sete dias, sendo que as irrigações eram

realizadas sempre que a precipitação efetiva ocorrida durante o intervalo do turno de rega não satisfazia a demanda evapotranspirativa da cultura. Para a determinação da precipitação efetiva foi adotada metodologia proposta por Millar (1978), onde a fração da precipitação perdida por escoamento superficial utilizada foi 30 % do total precipitado.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional, constituído por uma linha principal e vinte e quatro linhas laterais fixas, com canos do sistema de Policloreto de Vinila (PVC) e espaçamentos das linhas laterais de 4 m. Os aspersores foram conectados nas linhas laterais, com espaçamento de 4 m. Os aspersores utilizados foram da marca AgroJet, modelo $P5^{1/2}$.

Para a definição da lâmina de irrigação aplicada por hora pelo sistema, foi realizada com o teste de uniformidade de Christiansen (CUC), sendo determinada uma taxa de aplicação de água de 12,2 milímetros por hora. A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada através da variação do tempo de aplicação de água das diferentes parcelas, onde eram acionados cada tratamento de forma individual até atingir a necessidade hídrica necessária.

As funções de produção de forragem de sorgo forrageiro obtidas experimentalmente resultaram em equações quadráticas para ambos os experimentos, sendo: $Y = -0{,}1137\ X^2 + 34{,}93\ X + 11026$ para a safra 2015/2016 e $Y = -\ 0{,}3594\ X^2 + 82{,}47\ x + 8646{,}5$ para a safra 2016/2017, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,97 para ambos. A variável Y é a produção de massa seca de forragem de sorgo forrageiro por hectare (kg de MS ha^{-1}), no somatório dos três cortes (50, 80 e 110 DAS), e X é a reposição da evapotranspiração, via irrigação (% ETo).

O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (MORENO, 1961), é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), apresenta temperaturas médias de 19,3 ºC durante o ano. A média de precipitações ocorridas, durante os anos, é de 1688 mm. Contudo, a

distribuição das precipitações durante o período de verão normalmente é irregular, causando períodos de estresse hídrico para as culturas, pois 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 solo utilizado para a realização do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrífico Típico (STRECK et al., 2008). A adubação de base da cultura foi realizada tendo por referência a interpretação dos resultados de análise química do solo para um sistema de plantio direto já consolidado. Foram aplicados 250 kg ha^{-1} de adubo com formulação comercial de 5-20-20 de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOS SOLOS, 2016).

A cultura foi conduzida durante 110 dias compreendidos entre a emergência e o final do terceiro corte, sendo realizados cortes de uniformização para simulação de pastejo. O sorgo forrageiro apresenta na sua composição níveis elevados de tanino e de ácido cianídrico em estágios iniciais de desenvolvimento, não sendo recomendado nem corte para oferta aos animais e nem o pastejo neste intervalo. Assim, o primeiro corte teve um intervalo maior de dias devido ao fato de a cultura do sorgo forrageiro poder desencadear toxidez aos animais.

Realizaram-se três avaliações de produtividade de massa seca (MS) através de cortes aos 50, 80 e 110 dias após a semeadura (DAS). Salienta-se que os cortes foram determinados de acordo com as recomendações do fabricante das sementes. Foram coletadas três amostras de 0,5 metros lineares por parcela, totalizando 72 amostras por corte. Os cortes foram realizados 15 cm de altura em relação ao solo, com auxilio de foice. Foram separadas manualmente, e avaliadas individualmente em duas frações da amostra: folha (lâmina foliar) e colmo (bainha da folha + colmo). Todas as amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas e verificadas sua massa em balança de precisão.

4.2 Estimativa de ganho de peso vivo animal

A carga animal possível de ser alimentada por hectare foi calculada através da produtividade de massa seca de sorgo forrageiro para cada um dos anos de experimento através da seguinte equação (TRINDADE JÚNIOR et al., 2015):

$$CA = \frac{Prod.F}{Pd \,.OF} \quad (11)$$

onde: CA é a carga animal (kg de PV ha^{-1}); Prod.F é a produção de forragem de sorgo forrageiro (kg de MS ha^{-1}); Pd é a duração do período de pastejo (dias); OF é a oferta de forragem (kg de MS dia^{-1} kg de PV^{-1}).

A Prod.F utilizada foi a obtida nos experimentos de campo em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). O Pd utilizado foi de 60 dias, ou seja, intervalo compreendido entre o início do período recomendado para pastejo e o último corte realizado. A OF utilizada foi de 4 % (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV), conforme sugerido por Heringer e Carvalho (2002).

Com a carga animal (CA) determinada, foi estipulado três cenários de ganhos médios diários de peso (GMD), sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg de PV $animal^{-1}$ dia^{-1} devido ao fato de ser a faixa de ganho de peso diário normal de ocorrência (GLIENKE, 2012). O peso vivo dos animais (PV) utilizados para a simulação foi de 300 kg $animal^{-1}$.

Assim, foi determinado o ganho de peso vivo do animal (GPV) através da seguinte equação:

$$GPV = \frac{CA}{PV} \,.\, GMD \,.\, Pd \quad (12)$$

onde: GPV é o ganho de peso vivo no período (kg de PV ha^{-1}); PV é o peso dos animais (kg de PV); GMD é o ganho médio diário (kg de PV ha^{-1} dia^{-1}).

4.3 Obtenção da receita bruta

As receitas brutas estimadas para as diferentes lâminas de irrigação foram obtidas através das funções de produção determinadas em duas condições agroecológicas de campo, compreendidas entre novembro e março das duas avaliações (2015/2016 e 2016/2017), sendo convertidas em simulações de ganho de peso animal. Com o ganho de peso vivo (GPV) conhecido, foi obtida a receita bruta através da multiplicação do GPV pelo preço médio de comercialização de R$ 6,00 kg^{-1} do quilograma animal de peso vivo na região do trabalho.

$$RB = GVP.\ Pp \tag{13}$$

onde: RB é a receita bruta (R$ ha^{-1}); Pp é o preço de venda do produto (R$ kg^{-1} de PV).

4.4 Custos de produção e retorno econômico

Foram determinados os custos de produção de forragem de sorgo forrageiro através da separação dos mesmos em quatro categorias: custos fixos e variáveis, relacionados e não relacionados à irrigação, conforme funções de benefício líquido ao irrigante utilizadas por Martin et al, (1989), Broner & Lambert (1989), Mannocchi & Mecarelli (1994), Frizzone & Andrade Junior (2005) e Santos Junior et al, (2014).

Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) e, para determiná-los, foi considerado um projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional, conforme metodologia proposta por (BISCARO, 2009).

Para o projeto do sistema de irrigação por aspersão convencional fixou-se os valores: altura geométrica de sucção 5m; altura geométrica de recalque 15 metros; desnível da linha principal e das linhas laterais 2 metros; altura das elevações dos aspersores de 2 metros,

comprimento da tubulação de recalque de 100 metros, comprimento da tubulação de sucção de 10 metros. Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial. O controle das laterais em operação foi por meio de registros de esfera.

Considerou-se como área total irrigada a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60 % do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,00 ha^{-1}.

Para a obtenção da potência da bomba, necessária para a aplicação de um de água via irrigação, foram realizados os cálculos de dimensionamento de um sistema de irrigação de aspersão convencional para um hectare. Para o valor da energia elétrica, foi considerada a taxa verde da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, pelo fato de ser o valor médio intermediário, sendo de 0,40 R$ $kW\ h^{-1}$.

Os preços dos componentes foram obtidos de equipamentos existentes na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menor possível para cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção).

Para a determinação dos custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI) foram consideradas todas as operações e insumos necessários (diárias de trator, número de horas homem, número de horas-máquina, preparo do solo, aquisição de sementes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e terra), seguindo a metodologia proposta pela CONAB (2010). Salienta-se que o CFNRI foi constituído de operações que acontecem todos os anos e que não são relacionadas a irrigação (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), porém, podem apresentar variações de valores de um ano para outro.

Já para a determinação do custo fixo relacionado a irrigação (CFRI) foi utilizada a equação da CONAB (2010):

$$CFRI = CD + CJ + CSe \quad (14)$$

onde: CFRI é o custo fixo relacionado á irrigação (R$ ha^{-1}); CD é a depreciação dos componentes do sistema (R$ ha^{-1}); CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R$ ha^{-1}); CS é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R$ ha^{-1}).

Os valores de CD foram calculados utilizando-se a equação (CONAB, 2010):

$$CD = [(VN - VR) / VUh]. \ HsTr \quad (15)$$

onde: VN é o valor de aquisição do componente, novo (R$ ha^{-1}); VR é o valor residual do componente (R$ ha^{-1}); Vuh é a vida útil do componente (h); HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h).

Para a determinação de CJ foi utilizado uma taxa de remuneração de 6,0 % ao ano, aplicáveis sobre o valor médio dos equipamentos, seguindo a mesma metodologia utilizada para as demais variáveis, sendo a equação:

$$CJ = \{[((VN.QM)/2)/CAT].HsTr\}.J \quad (16)$$

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

O VR (valor residual ou de sucata foi calculado como 20 % do valor de compra de cada componente do sistema, sendo considerada uma vida útil de 20 anos. Os valores de CSe foram determinado como sendo 0,35% do valor médio do bem novo (CONAB, 2010), através da seguinte equação:

$$CSe = (VN/2) \ . \ 0,35 \ . \ (HsTr / Vuh) \quad (17)$$

onde: VN é o valor de aquisição do componente novo (R$ ha^{-1}); HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h); Vuh é a vida útil do componente (h).

Os valores de CRVI foram determinados através do somatório do custo variável de energia para a aplicação da lâmina de água, da mão-de-obra empregada e da manutenção do sistema:

$$CVRI = CvE + CvMo + CvMan \quad (18)$$

onde: CVRI é o Custo variável relacionado á irrigação (R$); CvE é o custo variável com energia elétrica (R$); CvMo é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R$); CvMan é o custo com manutenção dos equipamentos (R$).

O custo variável da energia elétrica foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação, sendo:

$$CvE = Pw \cdot Ee \cdot T \cdot L \quad (19)$$

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}); L é a lâmina de irrigação (mm ha^{-1}).

Para a determinação do custo da mão-de-obra empregada, foi utilizado o tempo proposto de 0,5 horas por hectare, em cada setor do sistema, para cada uma das irrigações realizadas (MARQUELLI & SILVA, 2011). Para a determinação do valor da hora trabalhada foi utilizada a metodologia da CONAB (2010), com o valor horário equivalente ao salário mínimo rural, conforme a equação:

$$CvMo = Ni \cdot Ns \cdot 0,5 \cdot VSMin / 220 \quad (20)$$

onde: Ni é o número de irrigações; Ns é o número de setores do sistema de irrigação; VSMin é o valor do salário mínimo (R$).

Foi considerado seis setores do sistema de irrigação, de acordo com o projeto realizado para um hectare. O valor do salário mínimo rural utilizado foi o de R$ 1.175,15.

Para a determinação dos custos com manutenção foram considerados os valores relativos sobre 1 % do valor do sistema de irrigação, somados a 10 % do valor gasto com energia, seguindo metodologia da (CONAB, 2010) conforme a equação:

$$CvMan = VN \cdot 0,01 (CvE / 10) \quad (21)$$

onde: VN é o valor de aquisição do componente novo (R$ ha^{-1}); CvE é o custo variável da energia elétrica.

O retorno líquido (RL), nos diferentes cenários testados (sem irrigação e irrigado com 25, 50,75, 100 e 125% da ETo) para ganhos de peso de 0,5, 1,0 e 1,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1} foi obtido através da seguinte equação:

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (22)$$

onde: RL é o retorno líquido ao produtor irrigante (R$ ha^{-1}); RB é a receita bruta (R$ ha^{-1}); CNRI é o custo não relacionado à irrigação (R$ ha^{-1}); CFRI é o custo fixo relacionado à irrigação (R$ ha^{-1}); CVRI é o custo variável relacionado à irrigação (R$ ha^{-1}).

Nas avaliações de cenários irrigados, testou-se o retorno líquido para as lâminas de reposição utilizadas nos experimentos de campo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É fato corriqueiro a ocorrência de períodos de veranico durante a primavera-verão no estado do Rio Grande do Sul, com distribuição irregular das precipitações, com períodos de elevado volume de chuvas e outros, de insuficiência de precipitações, acarretando em insegurança na produção das pastagens cultivadas.

Neste período do ano, a demanda evapotranspirativa é alta e as precipitações em determinados momentos não são insuficientes ou são mal distribuidas ao longo do tempo para atender as necessidades das culturas (NIED et al., 2005) . Na Tabela 1, estão representadas as precipitações (total e efetiva) ocorridas nas duas condições agroecológicas e a complementação hídrica aplicada nas lâminas de irrigação.

Tabela 1. Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas), precipitação total e efetiva (mm) de acordo com os diferentes tratamentos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.

2015/2016				
Tratamento (% ETo)	**Precipitação Total**	**Precipitação Efetiva**	**Lâmina de Irrigação**	**Lâmina Total**
125	655,20	458,04	146,82	604,86
100			117,46	575,50
75			88,09	546,13
50			58,73	516,77
25			29,36	487,40
0			0,00	458,04
2016/2017				
Tratamento (% ETo)	**Precipitação Total**	**Precipitação Efetiva**	**Lâmina de Irrigação**	**Lâmina Total**
125	847,40	593,18	161,87	755,05
100			92,50	685,68
75			69,37	662,55
50			46,25	639,43
25			23,12	616,30
0			0,00	593,18

De acordo com Von Pinho et al. (2007), a demanda hídrica necessária para a obtenção de boas produtividades na cultura do sorgo é de 380 a 600 mm. Portanto, conforme pode ser observado na Tabela 1, as precipitações efetivas de 458 e 593 mm ocorridas nas duas

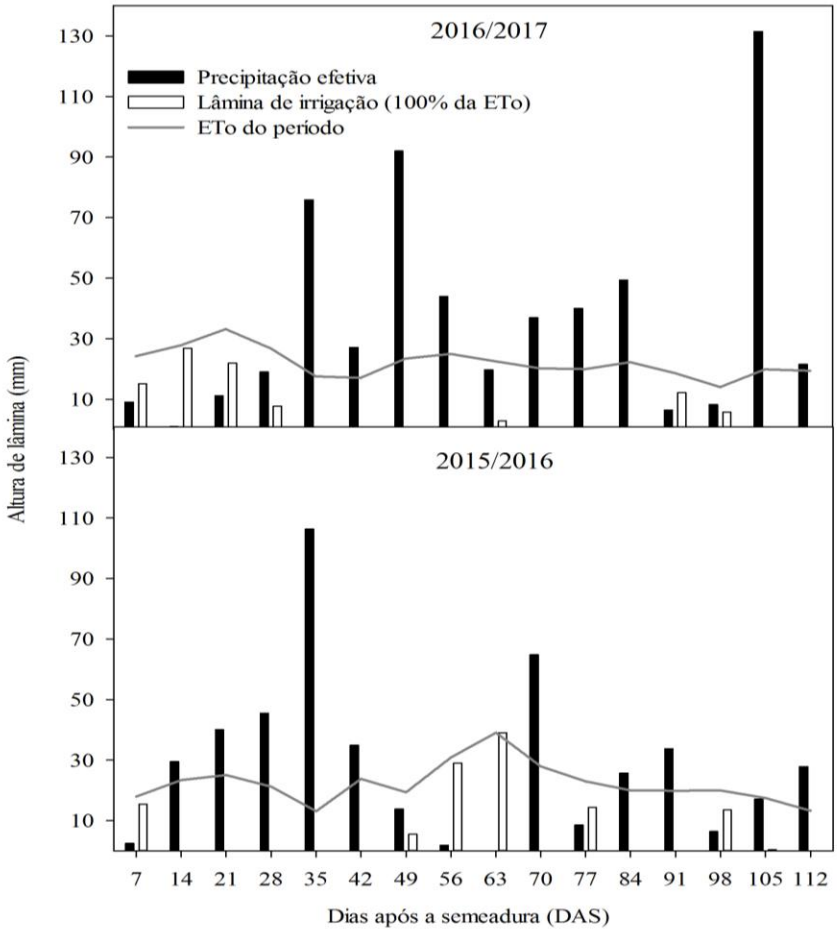
condições avaliadas seriam suficientes para suprir as necessidades hídricas da cultura, caso a distribuição ao longo do tempo não fosse irregular como aconteceu.

É comum considerarmos apenas o volume total ocorrido ao longo do ano para verificar a ocorrência ou não de déficit hídrico. Contudo, é extremamente importante a avaliação do regime de distribuição das precipitações dentro do turno de rega determinado, pois os volumes de precipitações totais muitas vezes mascaram a realidade. Através da avaliação pontual de acordo com a distribuição é possível verificar as necessidades reais de evapotranspiração e, assim, eliminar o fator água do ciclo de produção das pastagens.

Os dados pluviométricos seguiram a mesma tendência nos dois anos avaliados, com oscilações de distribuição da precipitação em ambas as condições agroecológicas e, consequentemente, a produtividade de massa seca também apresentou variação para as distintas lâminas de irrigação. De acordo com Santos & Carlesso (1998), a ocorrência de ano bastante chuvoso promove o crescimento de raízes pouco profundas, o que, mesmo em pequenos intervalos de tempo com ausência ou insuficiência de precipitações, determinam queda de produtivadade.

Conforme se pode observar na Tabela 1, houve necessidades de irrigações consideráveis durante o ciclo da cultura para as duas condições agroecológicas avaliadas, com seis irrigações em 2015/2016 e sete em 2016/2017. Apesar do elevado volume total precipitado, a distribuição foi muito irregular, tornando essencial a realização da reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação. O regime pluviométrico, as necessidades de irrigação e a demanda evapotranspirativa estão representados na Figura 1.

Figura 1. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência (mm), ocorridas nas duas condições agroecológicas.



Conforme pode ser observado da Figura 1, na condição agroecológica 2015/2016 (Experimento 1) foram necessárias irrigações em seis semanas durante o transcorrer do período para complementação das perdas por evapotranspiração, totalizando um volume de irrigação de 117,4 mm na lâmina de 100 % da Eto. Já na condição 2016/2017 (Experimento 2) foram realizadas sete irrigações ao longo da condução da cultura, totalizando um volume de irrigação de 92,5 mm na lâmina de 100 % da ETo. As expectativas de ganho de peso vivo nos três cenários de GMD, obtidos através das produções de massa seca nas distintas lâminas de irrigação estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2. Produção de massa seca (MS), unidade animal (UA), carga animal, número de animais por hectare (NA), expectativa de ganho de peso bruto por hectare para ganhos de 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal dia.

2015/2016

Lâmina	Produção (MS)	Período pastejo	Oferta MS	UA	MS/dia	Carga animal	NA	Ganho peso vivo (kg)		
% ETo	kg ha^{-1}	dias	%	kg	kg	kg	uni	0,5	1,0	1,5
125	13481,20				224,69	5617	19	562	1123	1685
100	13661,89	/	X		227,70	5692	19	569	1138	1708
75	12935,95				215,60	5390	18	539	1078	1617
50	12360,09	60	4	300	206,00	5150	17	515	1030	1545
25	11846,29				197,44	4935	16	493	987	1480
0	11061,02				184,35	4608	15	460	921	1382

2016/2017

Lâmina	Produção	Período pastejo	Oferta MS	UA	MS/dia	Carga animal	NA	Ganho peso vivo (kg)		
% ETo	kg ha^{-1}	dias	%	kg	kg	kg	uni	0,5	1,0	1,5
125	13134,00				219	5472	18	547	1094	1641
100	13589,58	/	**X**		226	5662	19	566	1132	1699
75	12910,37				215	5379	18	538	1076	1614
50	11886,31	60	4	300	198	4952	16	495	990	1486
25	10021,49				167	4176	14	417	835	1253
0	8909,42				148	3712	12	371	742	1114

Conforme pode ser observado na Tabela 2, comparando os sistemas produtivos não irrigado e com 125 % da ETo, para a condição agroecológica 1, as produções de forragem variaram de 11.061 a 13.481 kg ha^{-1} de MS, enquanto que a carga animal variou de 4.608 a 5.692 kg de PV ha^{-1} na lâmina de 100%. Já para a condição agroecológica 2, as produções de forragem variaram de 8.909 a 13.134 kg ha^{-1}de MS e, a carga animal, variou de 3.712 a 5.662 kg de PV ha^{-1} na lâmina de 100 %.

Sendo assim, o ganho de peso vivo, seguiu a mesma tendência, com maiores valores nas lâminas que obtiveram as maiores produções, e, aumentando conforme o cenário de GMD, além de ficar evidente as respostas da irrigação para os dois anos, com significativos aumentos de carga animal, devido a maior produção da cultura nos tratamentos irrigados.

Os resultados encontrados vão ao encontro dos obtidos por Olivo et al. (2010), que trabalhando com diversas espécies utilizadas como pastagem, obtiveram carga animal no somatório de intervalos de 60 dias, mesmo intervalo do presente trabalho, de 3.441 kg de PV ha^{-1} para o consórcio azevém + *coastcross*, 3155 kg de PV ha^{-1} para azevém + *coasteross* + trevo branco, 2.578 kg de PV ha^{-1} azevém + trevo branco e 2.688 kg de PV ha^{-1} para azevém.

Também avaliaram a carga animal Montagner et al. (2008), também avaliaram o desempenho de novilhas de corte em pastagens de milheto, obtendo valores entre 3.119 e 2.541 kg de PV ha^{-1}. Ambos os trabalhos são próximos aos encontrados no presente trabalho, onde a carga animal nos tratamentos não irrigados foi de 4.608 kg de PV ha^{-1} para a condição agroecológica 1 e de 3.712 kg de PV ha^{-1} para a condição agroecológica 2.

Na Tabela 3 pode ser observada a composição dos custos de produção para os distintos sistemas de produção, ou seja, irrigado e não irrigado para a cultura do sorgo forrageiro.

Tabela 3. Composição dos custos relacionados aos sistemas produtivos, com e sem a introdução do sistema de irrigação, para as safras agrícolas (2015/2016 e 2016/2017) e para as lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125 % ETo).

COMPONENTE	LÂMINA DE IRRIGAÇÃO (% ETo)	2015/2016	2016/2017
Custo Fixo não relacionado à Irrigação – CFNRI			
CFNRi	Com e sem irrigação	1651,10	1743,70
Custo Fixo relacionado ao sistema de irrigação – CFRI			
CD	**Todas***	226,85	226,85
CJ	**Todas***	170,14	170,14
CSe	**Todas***	49,62	49,62
CFRI	**Todas***	446,61	446,61
Custo Variável relacionado à irrigação – CVRI			
CvE	**25**	27,04	21,29
	50	54,07	42,58
	75	81,10	63,87
	100	108,15	85,17
	125	135,19	106,45
CvMo	**Todas***	96,15	112,17
CvMan	**25**	20,90	20,32
	50	41,80	40,65
	75	62,70	60,97
	100	83,60	81,30
	125	104,50	101,62
	25	71,97	69,66

	50	143,95	139,32
CVRI	**75**	215,92	208,98
	100	287,90	278,64
	125	359,87	348,30

onde: **CFNRI:** custo fixo não relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CFRI:** custo fixo relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CD:** custo fixo da depreciação do sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CJ:** custo fixo do juro sobre o capital investido (R$ ha^{-1}); **CSe:** custo fixo do seguro do investimento (R$ ha^{-1}); **CVRI**: custo variável relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CvE:** custo variável da energia elétrica (variável conforme a lâmina de irrigação) (R$ ha^{-1}); **CvMo:** custo variável da mão-de-obra (variável conforme o número de irrigações) (R$ ha^{-1}); **CvMan:** custo variável da manutenção (variável conforme o custo com a energia) (R$ ha^{-1}); ***:** custo variável igual para todas as lâminas de irrigação, nas condições agroecológicas avaliadas.

Observa-se que o CFRI é igual para ambos os anos sendo de R$ 446,61 ha^{-1}. Este custo abrange à depreciação do sistema de irrigação, os juros sobre o capital investido e o 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 considerou o custo com estrutura, e, com isso, elevou seu custo anual.

Os componentes do CFNRI variaram de R$ 1651 em 2015/2016 à R$ 1743 em 2016/2017. Salienta-se que o CFNRI foi constituído de operações que acontecem todos os anos e que não são relacionadas a irrigação (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), porém, podem apresentar variações de valores de um ano para outro.

Já o CVRI apresentou variação conforme o número de irrigações e o volume de água

aplicado nas diferentes lâminas de irrigações. Observa-se ainda que o menor CVRI foi encontrado na safra agrícola de 2016/2017 (Condição agroecológica 2) sendo de R$ 278,64 por hectare, o que é justificado pelo menor volume de água aplicado 92,50 mm em relação aos 117,46 mm em 2015/2016 (Condição agroecológica 1) ambos para a lâmina de 100 % da ETo, sendo o CVRI de R$ 287,90 por hectare, como pode ser visualizado na Tabela 3.

A introdução do sistema de irrigação por aspersão aumentou o custo total do sistema produtivo em 44 % para a condição 1 e em 43 % para a condição 2 para área de um hectare no tratamento de reposição de 100 % da ETo. 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.

Alguns autores contribuem para os resultados encontrados, sendo possível encontrar custos oriundos de sistemas de produção de forragem bastante altos. Dantas et al. (2017), encontraram custo anual de produção da palma forrageira irrigada de 7.447,80 R$ ha^{-1}, sendo este resultado relacionado a distribuição pluviométrica muito mais irregular, sendo necessárias maiores reposições de lâminas de irrigação, aumentando consequentemente o custo variável relacionado à irrigação e assim, o custo total em relação ao presente trabalho. Já Pompeu et al. (2014) observaram custos de produção de silagem de milheto de 6.409,90 R$ ha^{-1}, sendo estes valores superiores ao presente trabalho devido ao fato dos custo relacionados a produção de silagem.

Pinheiro (2002) em trabalho analisando a viabilidade econômica da irrigação em sistema de irrigação pivô central em pastagem de capim Tanzânia para diversas regiões do país, encontrou retornos econômicos consideráveis, variando entre (400,00 a 600,00 R$ ha^{-1} ano) para diversas regiões analisadas (Cuiabá-MT, Petrolina-PE, Porto Nacional-TO). Em outros casos, os retornos econômicos foram pouco atraentes, variando entre R$ -100,00 a 300,00 ha^{-1} ano para regiões como Campo Grande-MS, Uberaba-MG, Rio Verde-GO,

Piracicaba-SP. Esses resultados são similares aos encontrados no presente trabalho, onde para o ano de 2015/2016, o retorno líquido, na lâmina de 100 % da ETo, foi de R$ 1.063,48 e para 2016/2017 de R$ 952,81.

Manetti Filho et al. (2018) ao avaliar o retorno econômico da engorda de novilhas em pastagem irrigada obtiveram retorno bruto de 1.960,00 R$ ha^{-1} e renda líquida de 584,11 R$ ha^{-1}, sendo estas, inferiores aos encontrados no presente trabalho. Na Tabela 4 estão representados Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL) para as diferentes lâminas de irrigação (LI), nos três cenários de ganho de peso diário (GPD), para as duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017).

Tabela 4. Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL) para as diferentes lâminas de irrigação (LI), nos três cenários de ganho de peso diário (GPD), para as duas safras (2015/2016 e 2016/2017).

		2015/2016			**2016/2017**		
LI	**GPD**	**RB**	**CT**	**RL**	**RB**	**CT**	**RL**
(%ETo)	**(kg animal^{-1} dia^{-1})**	**R$ ha^{-1}**					
0	**0,5**	2765,30	1651,10	1114,16	2227,4	1743,70	483,70
25		2961,60	2203,92	757,65	2505,4	2296,52	208,85
50		3090,00	2253,28	836,74	2971,6	2345,88	625,70
75		3234,00	2302,63	931,35	3227,6	2395,23	832,36
100		3415,50	2351,99	1063,48	3397,4	2444,59	952,81
125		3370,30	2401,34	968,96	3283,5	2493,94	789,56
0	**1,0**	5530,5	1651,10	3879,41	4454,7	1743,70	2711,01
25		5923,1	2203,92	3719,22	5010,7	2296,52	2714,22
50		6180,0	2253,28	3926,76	5943,2	2345,88	3597,28

75		6468,0	2302,63	4165,34	6455,2	2395,23	4059,95
100		6830,9	2351,99	4478,96	6794,8	2444,59	4350,20
125		6740,6	2401,34	4339,26	6567,0	2493,94	4073,06
0	**1,5**	8295,8	1651,10	6644,67	6682,1	1743,70	4938,36
25		8884,7	2203,92	6680,79	7516,1	2296,52	5219,60
50		9270,1	2253,28	7016,79	8914,7	2345,88	6568,85
75		9702,0	2302,63	7399,33	9682,8	2395,23	7287,55
100		10246,4	2351,99	7894,43	10192,2	2444,59	7747,60
125		10110,9	2401,34	7709,56	9850,5	2493,94	7449,15

Conforme pode ser observado na Tabela 4, um dos principais aspectos que influenciam no sucesso econômico na criação de bovinos é o ganho de peso animal por dia^{-1}. Para a condição agroecológica 1 (2015/2016) caso o animal ganhe 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1}, a introdução do sistema de irrigação de sorgo forrageiro se mostrou prejudicial, onde a receita líquida foi maior no tratamento não irrigado com 1.114,16 R$ ha^{-1} em relação aos 1.063,48 R$ ha^{-1} encontrados para o tratamento de 100 % da ETo.

Contudo, caso o animal ganhe 1 kg animal^{-1} dia^{-1}, a irrigação se mostrou vantajosa, com renda líquida de 4.478,96 R$ ha^{-1} no tratamento de 100 % da ETo, enquanto que no tratamento não irrigado, a renda líquida ficaria em 3.879,41 R$ ha^{-1}, caracterizando assim, um lucro de 15 % a mais com a irrigação. A mesma tendência de resultado foi encontrada para o cenário de ganho de peso de 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}, com maiores receitas líquidas sendo encontradas nos tratamentos irrigados. Desta maneira, fica claro que além da distribuição hídrica, um excelente índice produtivo do rebanho influencia de maneira crucial nos lucros da atividade com 19 % para a condição agroecológica 1 e 57 % para a condição 2.

Também pode ser observado na Tabela 4 que para a condição agroecológica 2 (2016/2017) o cenário do incremento da irrigação suplementar em pastagem de sorgo forrageiro foi ainda mais favorável em relação a 2015/2016. A receita líquida para a estimativa de ganho de 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1} foi de 952,81 R$ ha^{-1} para o tratamento de 100% da ETo, enquanto que no tratamento testemunha não irrigado foi de 483,70 R$ ha^{-1}. Através deste resultado encontrado, é possível afirmar que o regime hídrico influencia de maneira direta na renda do produtor, uma vez que, na condição agroecológica 2 houve período de maior irregularidade das precipitações e assim, os resultados do incremento da irrigação foram mais significativos em relação a condição 1.

Para as estimativas de ganhos de 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}, os resultados foram significativos para o a utilização da irrigação, caracterizando que a atividade pecuária é uma excelente fonte de lucro para o produtor quando irrigada com receita líquida de 4.350,20 e 7.747,60 respetivamente para a lâmina de 100 % da ETo com 60 % e 56 % a mais de lucro em relação a testemunha não irrigada.

Pode-se observar ainda que para a condição agroecológica 2 o lucro obtido no tratamento não irrigado foi muito inferior ao mesmo tratamento na condição 1, sendo este fato devido ao maior intervalo com insuficiência de precipitações na condição 2.

Os resultados obtidos vão ao encontro de Torres et al. (2018), que avaliando a receita líquida da irrigação para a cultura do milheto através de simulação de ganhos de peso animal, encontraram lucro variando entre 2.731 R$ ha^{-1} para o tratamento não irrigado a 3.272 R$ ha^{-1} para o tratamento 100% da ETo para ganho de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} para a mesma época e local de estudo, enquanto que no presente trabalho esses valores variaram de 2.711 R$ ha^{-1} no tratamento não irrigado à 4.350 R$ ha^{-1} no tratamento 100 % da ETo.

6 CONCLUSÕES

O lucro da atividade pecuária está diretamente relacionado com a variação do regime hídrico ocorrido, onde o mesmo caracteriza a viabilidade ou inviabilidade econômica da atividade, uma vez que, acarreta em variabiliadade da produção de sorgo forrageiro.

A introdução da irrigação no sistema produtivo acarreta em aumento do custo total da pecuária de corte, estando os lucros relacionados com a distribuição das precipitações e com os índices produtivos do rebanho.

A irrigação por aspersão convencional na cultura do sorgo forrageiro se mostrou viável economicamente para a maioria dos cenários testados, caracterizando-se como uma alternativa de aumento da lucratividade para o produtor pecuário.

Com estimativas de ganhos de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} a irrigação se mostrou viável para ambos os anos e regimes hídricos, caracterizando um índice produtivo ideal para o sucesso da atividade, onde os ganhos foram de 15 % na condição agroecológica 1 e de 60 % na condição 2.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C. A. B.; DA CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; DA ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p.98-108, 2009.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALMEIDA, V.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.;EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 11, n. 02, p. 256-273, 2018.

ANDRADE, A. R. S.; MACHADO, C. B.; VILELA, E. L.; CAMÊLO, D. L.; SILVA, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um latossolo amarelo submetido à adubação orgânica. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, n. 4, v. 2, p. 137-151, 2011.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; TINOS, A. C.; BELTRAME, G. A.; DE ALMEIDA, J. V.; CUCO, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.

AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAUJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; BOMFIM, M. A. D.; RESTLE, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 208-215, 2011.

BERTOSSI, A. P., MILEN, L. C., DE OLIVEIRA H, M., RODRIGUES, R. R., DOS REIS, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. **Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava- Nucleas**, Ituverava, v. *10*, n. 1, p. 125-134, 2013.

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

BRONER B. I.; LAMBERT J. Optimal scheduling of irrigation machines. I: Model development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. Reston-VA, v. 115, n. 5, p. 862-879, 1989.

CASTRO, G.H.F.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R. M. Características produtivas, agronômicas e nutricionais do capim-tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro Medicina Veteterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.62, n. 3, p.654-666, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 376 p., 2016.

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

da CRUZ, R. S.; ALEXANDRINO, E.; MISSIO, R. L.; RESTLE, J.; MELO, J. C.; de PAULA NETO, J. J.; NEIVA, J. N. M.; MENDES FILHO, G. de O.; de SOUZA JÚNIOR, A.; DUARTE, T. D.; de REZENDE, J. M.; SILVA, A. A. M. Desempenho bioeconômico de tourinhos alimentados com níveis de concentrado e farelo do mesocarpo de babaçu. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2159-2174, 2014.

DANTAS, G de F.; LIMA G. F. da C.; MOTA E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**. Piracicaba, v. 3 n. 1, p. 59-74, 2017.

DIAS FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.243-252, 2011.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Eds). **Planejamento da irrigação**: Análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GLIENKE, C. L. **Estudo da recria de novilhas em corte em pastagens cultivadas de verão.** 2012, 131 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**. Nairóbi, v. 12, n. 2, p. 111-124, 2017.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BEN, L. H. B.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D. Productivity and efficiency in the use of water in different irrigation depths in forage sorghum in dynamic of cuts. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 359-379, 2018.

MANETTI FILHO, J.; de OLIVEIRA, C. M. G.; CARAMORI, P. H.; NAGASHIMA, G. T.; HERNANDEZ, F. B. T. Cold tolerance of forage plant species, **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 1469-1476, 2018.

MANNOCCHI B. F.; MECARELLI P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston-VA, v. 120, n. 3, p. 484-503. 1994.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas para hortaliças**. 2 Ed. Circular técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.

MARTIN, D. L.; GILLEY, J. R.; SUPALLA, R. J. Evaluation of Irrigation Planning Decisions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston – VA, v. 115, n. 1, p. 58-77, 1989.

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

MONTAGNER D. B.; ROCHA M. G. da; SANTOS D. T. dos; GENRO T. C. M.; QUADROS F. L. F. de; ROMAN J.; POTTER L.; BREMM C. Manejo da pastagem de milheto para recria novilhas de corte. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.38, n.8, p. 2293-2299, nov, 2008.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul. Secretária da Agricultura**, Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.
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, RS, v.35, n.5, p.995-1002, 2005.

OLIVO, C. J.; MEINERZ, G. R.; AGNOLIN, C. A.; STEINWANDTER, E.; ZIECH, M. F.; SKONIESKI, F. R. Produção de forragem e carga animal de pastagens de Coastcross sobressemeadas com forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n.1, p. 68-73, 2010.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições edafoclimáticas para produção de Cynodon spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 85-114.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 2002, 131 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

POMPEU R. C. F. F.; ANDRADE I. R. A. de; OUZA H. A. de; GUEDES F. L.; OLIVEIRA L. S. TONUCCI R. G.; MARTINS E. C.; **Produtividade e Custos de Produção de Silagem para Alimentação de Ovinos a Partir de Sorgo, Milheto e Girassol - Safra 2013**. Circular Técnica 44. EMBRAPA. Sobral. 2014.

POLAQUINI, L. E. M., SOUZA, J. G., GEBARA, J. G. Transformações técnico-produtivas e comerciais na pecuária de corte brasileira a partir da década de 90. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 321-327, 2006.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. da S. Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 196-206, 2014.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, M. L. O.; DE FARIA, M. A.; REIS, R. P.; DE 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, 2007.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TORRES, R. R. **Resposta da irrigação na produção de forragem de milheto**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2018.

TRINDADE, JUNIOR. G.; SILVA, R. R.; CARVALHO, G. G. P.; DA SILVA, F. F.; NEGRÃO, J. A.; BARROSO, D. S.; DIAS, D. L. S.; COSTA, P. B. Ganho compensatório de novilhas mestiças suplementadas em pastagens sob avaliação do perfil hormonal e parâmetros sanguíneos. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 36, n. 3, p. 1481-1494, 2015.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; MONTES, D. R. P.; da CUNHA, F. F. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.19, n.1, p. 53-61, 2011.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JÚNIOR, J. A.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Revista Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

7 ARTIGO 3 – INDICADORES DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO IRRIGADA DE SORGO FORRAGEIRO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE

INDICADORES DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO IRRIGADA DE SORGO FORRAGEIRO PARA BOVINOCULTURA DE CORTE

1 RESUMO

A bovinocultura de corte caracteriza-se como uma das principais atividades agropecuárias no Rio Grande do Sul, sendo uma alternativa de renda ao produtor. Contudo, há uma preocupação dos produtores referente à alimentação dos animais, devido à irregularidade das chuvas e, consequentemente, a falta de alimento de qualidade. Assim, as pastagens cultivadas são amplamente utilizadas, principalmente o sorgo forrageiro com a introdução da irrigação para suprir as necessidades hídricas. Porém, são escassas as informações referentes a viabilidade econômica da introdução da irrigação no sistema produtivo de sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte. O trabalho objetivou avaliar a viabilidade econômica através de indicadores (VPL, TIR e relação B/C) da irrigação em sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte para diferentes expectativas de ganho de peso diário dos animais. Conduziram-se dois experimentos em 2015/2016 e 2016/2017 em Santa Maria/RS, e, avaliou-se as produtividades com lâmina de 100 % da evapotranspiração de referência (ETo). Determinou-se a carga animal possível de ser alimentada com a produção obtida e simulou-se três cenários de ganho de peso diário por animal (0,5, 1 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}), e determinou-se os custos de produção e a viabilidade econômica. Verificou-se viabilidade econômica da irrigação em todos os indicadores avaliados e variações de rentabilidade com as diferentes estimativas de ganho de peso médio diário animal.

Palavras chave: Sorghum bicolor L. (Moench), irrigação de pastagem, análise econômica, indicadores econômicos.

2 ABSTRACT

Cattle breeding is characterized as one of the main agricultural activities in Rio Grande do Sul, being an income alternative to the producer. However, there is a concern of the producers regarding the feeding of the animals, due to the irregularity of the rains and, consequently, the lack of quality food. Thus, cultivated pastures are widely used, mainly forage sorghum with the introduction of irrigation to meet water needs. However, there is little information on the economic feasibility of introduction of irrigation in the forage sorghum production system for beef cattle. The objective of this work was to evaluate the economic viability through the use of indicators (NPV, IRR and B / C ratio) of irrigation in forage sorghum for beef cattle for different expectations of daily gain of animals. Two experiments were conducted in 2015/2016 and 2016/2017 in Santa Maria / RS, and the yields with a 100% reference evapotranspiration (ETo) slide were evaluated. The possible animal load was determined to be fed with the production obtained and three scenarios of daily weight gain per animal (0.5, 1 and 1.5 kg animal^{-1} day^{-1}) were simulated, and it was determined production costs and economic viability. Economic viability of irrigation was verified in all the indicators evaluated and variations in profitability with the different estimates of average daily animal weight gain.

Key words: Sorghum bicolor L. (Moench), pasture irrigation, economic viability, economic analysis.

3 INTRODUÇÃO

A água é um fator essencial para a produção agrícola, e sua disponibilidade e distribuição pode definir a viabilidade de qualquer atividade agropecuária (FAGGION et al., 2009). Nos últimos anos a pecuária brasileira tem apresentado aumento na participação do agronegócio, tendo elevado também a participação da irrigação em pastagens, fazendo com que esta se torne uma estratégia importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (PEREIRA et al., 2016).

Dentre as pastagens cultivadas, o sorgo forrageiro, pertencente à família *Poaceae*, é uma das principais culturas utilizadas para a alimentação animal nos maiores centros produtores de bovinos, ou seja, Estados Unidos, Austrália e América do Sul (ANDRADE et al., 2011; ANTONIEL et al., 2016; KIRCHNER et al., 2018). A escolha da cultura se dá em função da sua adaptabilidade ao clima, resistência a elevadas temperaturas e elevada produção de biomassa (AVELINO et al., 2011).

As gramíneas tropicais pertencentes ao grupo C4, dentre elas o sorgo forrageiro, necessitam de cerca de 250 a 350 gramas de água para cada grama de matéria seca produzida (PEDREIRA et al., 1998). Dessa maneira, a distribuição da água ao longo do ciclo é essencial para que a produção seja viável economicamente, fato este, que normalmente não ocorre de maneira natural através das precipitações.

De Sousa et al. (2017), afirmam a importância da otimização do uso da água na cultura do sorgo, sendo extremamente importante compatibilizar o balanço hídrico com a demanda, de modo que a necessidade de água das plantas seja atendida, possibilitando o correto manejo e dimensionamento do sistema de irrigação para atender a demanda da cultura (FREIRE et al., 2011; SANTOS JÚNIOR et al., 2014).

A análise de viabilidade econômico-financeira de um negócio é o primeiro passo para que o empreendedor possa tomar a decisão correta sobre o investimento (SEIBERT et al., 2013). Através da análise o produtor passa a conhecer com detalhes e a utilizar de maneira inteligente e econômica os fatores de produção (terra, trabalho e capital). Dessa forma, localizam-se os pontos cruciais para depois concentrar esforços gerenciais e tecnológicos, a fim de obter sucesso na sua atividade e atingir os seus objetivos de maximização de lucros ou minimização de custos (LOPES et al., 2004).

A utilização da irrigação na agricultura vem ganhando espaço significativo nos últimos anos, com aumento de 1,3 milhões de hectares na área irrigada do país nos últimos 10 anos. A irrigação por aspersão representa 1.572.960 hectares, caracterizando 35% da área irrigada total do Brasil (PAULINO et al., 2011).

De acordo com Silva et al. (2007), os investimentos necessários para a aquisição de um sistema de irrigação, atrelados ao intenso uso de insumos agrícolas, tornam a avaliação econômica item essencial de estudo antes de qualquer implantação de projeto de agricultura irrigada. Apesar de a irrigação angariar inúmeros benefícios e vantagens aos agricultores, os riscos da sua utilização devem ser amplamente estudados e avaliados, tendo sempre o intuito de que o incremento de produção supere os investimentos financeiros de aquisição e produção (VILAS BOAS et al., 2011).

Diversos indicadores administrativos são utilizados para avaliar a viabilidade econômica de um investimento, tais como, a receita bruta (RB), a taxa interna de retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e a relação Benefício/Custo (FRIZZONE, 2005). Sendo assim, o objetivo do trabalho foi analisar a viabilidade econômica da produção irrigada de sorgo forrageiro para a bovinocultura de corte através de indicadores econômicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão descritas as metodologias e o referencial utilizados para a realização do trabalho, explicando o processo de obtenção das equações de produção realizadas em experimentos de campo. Também, as equações e processos utilizados para a determinação dos custos, e a metodologia de transformação da produção de sorgo forrageiro em quilogramas de carne bovina, e de obtenção da viabilidade econômica da irrigação através de indicadores para a bovinocultura de corte.

4.1 Experimento de campo

Para análise da viabilidade econômica da produção de forragem de sorgo forrageiro irrigada foram comparados os indicadores econômicos da produção irrigada de sorgo forrageiro em três cenários de ganho médio de peso diário dos animais, sendo os trabalhos de campo realizados em duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017), na região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foram realizadas as conversões da produção de forragem de sorgo em quilogramas de peso vivo animal e as estimativas de custos com base nas demandas hídricas de cada safra.

Os experimentos de campo foram conduzidos nos anos agrícolas de 2015/2016 (Condição agroecológica 1) e 2016/2017 (Condição agroecológica 2), em área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, sendo utilizada a cultivar Agroceres 2501.

Para a determinação da ETo foi utilizada a equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN, et al., 2006). Foi realizada a reposição de 100 % da ETo visando repor a necessidade da cultura, visando obter os resultados de viabilidade econômica baseados na real necessidade hídrica da cultura. O manejo da irrigação foi estabelecido com turno de rega fixo de sete dias, sendo que as irrigações eram realizadas sempre que a precipitação efetiva ocorrida durante o intervalo do turno de rega não satisfazia a demanda evapotranspirativa da cultura.

Para a determinação da precipitação efetiva foi adotada metodologia proposta por Millar (1978), onde a fração da precipitação perdida por escoamento superficial utilizada foi 30% do total precipitado.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional, constituído por uma linha principal e vinte e quatro linhas laterais fixas, com canos do sistema de Policloreto de Vinila (PVC) e espaçamentos das linhas laterais de 4 m. Os aspersores foram conectados nas linhas laterais, com espaçamento de 4 m. Os aspersores utilizados foram da marca AgroJet, modelo $P5^{1/2}$.

Para a definição e calibração da lâmina de irrigação aplicada por hora pelo sistema, foi realizada com o teste de uniformidade de Christiansen (CUC), sendo determinada uma taxa de aplicação de água de 12,2 milímetros por hora.

O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (MORENO, 1961), é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), apresenta temperaturas médias de 19,3 ºC durante o ano. A média de precipitações ocorridas, durante os anos, é de 1688 mm. Contudo, a distribuição das precipitações durante o período de verão normalmente é irregular, causando períodos de estresse hídrico para as culturas, pois 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 solo utilizado para a realização do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrífico Típico (STRECK et al., 2008). A adubação de base da cultura foi realizada tendo por referência a interpretação dos resultados de análise química do solo para um sistema de plantio direto já consolidado. Foram aplicados 250 kg ha^{-1} de adubo com formulação comercial de 5-20-20 de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOS SOLOS, 2016).

A cultura foi conduzida durante 110 dias compreendidos entre a emergência e o final do terceiro corte, sendo realizados cortes de uniformização para simulação de pastejo. Realizaram-se três avaliações de produtividade de massa seca (MS) através de cortes aos 50, 80 e 110 dias após a semeadura (DAS). Salienta-se que os cortes foram determinados de acordo com as recomendações do fabricante das sementes. O sorgo forrageiro apresenta na sua composição níveis elevados de tanino e de ácido cianídrico em estágios iniciais de desenvolvimento, não sendo recomendado nem corte para oferta aos animais e nem o pastejo neste intervalo. Assim, o primeiro corte teve um intervalo maior de dias devido ao fato de a cultura do sorgo forrageiro poder desencadear toxidez aos animais.

Foram coletadas três amostras de 0,5 metros lineares por parcela, totalizando 72 amostras por corte. Os cortes foram realizados 15 cm de altura em relação ao solo, com auxilio de foice. Foram separadas manualmente, e avaliadas individualmente em duas frações da amostra: folha (lâmina foliar) e colmo (bainha da folha + colmo). Todas as amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas e verificadas sua massa em balança de precisão.

As funções de produção de forragem de sorgo forrageiro obtidas experimentalmente resultaram em equações quadráticas para ambos os experimentos, sendo: $Y = -0{,}1137\ X^2 + 34{,}93\ X + 11026$ para a safra 2015/2016 e $Y = -\ 0{,}3594\ X^2 + 82{,}47\ x + 8646{,}5$ para a safra 2016/2017, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,97 para ambos. A variável Y é a

produção de massa seca de forragem de sorgo forrageiro por hectare (kg de MS ha^{-1}), no somatório dos três cortes (50, 80 e 110 DAS), e X é a reposição da evapotranspiração, via irrigação (% ETo).

4.2 Estimativa de ganho de peso vivo animal

A carga animal possível de ser alimentada por hectare foi calculada através da produtividade de massa seca de sorgo forrageiro para cada um dos anos de experimento através da seguinte equação (TRINDADE JÚNIOR et al., 2015):

$$CA = \frac{Prod.F}{Pd \,.OF} \quad (23)$$

onde: CA é a carga animal (kg de PV ha^{-1}); ProdF é a produção de forragem de sorgo forrageiro (kg de MS ha^{-1}); Pd é a duração do período de pastejo (dias); OF é a oferta de forragem (kg de MS dia^{-1} kg de PV^{-1}).

A Prod.F utilizada foi a obtida nos experimentos de campo em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). O Pd utilizado foi de 60 dias, ou seja, intervalo compreendido entre o início do período recomendado para pastejo e o último corte realizado. A OF utilizada foi de 4 (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV), conforme sugerido por Heringer & Carvalho (2002).

Com a carga animal (CA) determinada, foi estipulado três cenários de ganhos de peso médio diário (GMD), sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg de PV $animal^{-1}$ dia^{-1} devido ao fato de ser a faixa de ganho de peso diário normal de ocorrência (GLIENKE, 2012). O peso vivo dos animais (PV) utilizados para a simulação foi de 300 kg $animal^{-1}$.

Assim, foi determinado o ganho de peso vivo do animal (GPV) através da seguinte equação:

$$GPV = \frac{CA}{PV} \,.\, GMD \,.\, Pd \quad (24)$$

onde: GPV é o ganho de peso vivo no período (kg de PV ha^{-1}); PV é o peso dos animais (kg de PV^{-1}); GMD é o ganho médio diário (kg de PV ha^{-1} dia^{-1});

4.3 Obtenção da receita bruta

As receitas brutas estimadas para as diferentes lâminas de irrigação foram obtidas através das funções de produção determinadas em dois anos de experimentos e sua transformação para ganho de peso animal. Com o ganho de peso vivo (GPV) conhecido, foi obtida a receita bruta através da multiplicação do GPV pelo preço médio de comercialização do quilograma animal de peso vivo na região do trabalho.

$$RB = GPV \cdot Pp \tag{25}$$

onde: RB é a receita bruta (R$ ha^{-1}); Pp é o preço de venda do produto (R$ kg^{-1} de PV).

Considerou-se, neste trabalho, o valor médio de R$ 6,00 kg^{-1} de peso vivo.

4.4 Custos de produção e retorno econômico

Foram determinados os custos de produção de forragem de sorgo forrageiro através da separação dos mesmos em quatro categorias: custos fixos e variáveis, relacionados e não relacionados à irrigação, conforme funções de benefício líquido ao irrigante utilizadas por Martin et al, (1989), Broner e Lambert (1989), Mannocchi e Mecarelli (1994), Frizzone & Andrade Junior (2005) e Santos Junior et al, (2014).

Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) e, para determiná-los, foi considerado um projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional, conforme metodologia proposta por (BISCARO, 2009).

Para o projeto do sistema de irrigação por aspersão convencional fixou-se os valores: altura geométrica de sucção 5m; altura geométrica de recalque 15 metros; desnível da linha principal e das linhas laterais 2 metros; altura das elevações dos aspersores de 2 metros, comprimento da tubulação de recalque de 100 metros, comprimento da tubulação de sucção de 10 metros. Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial. O controle das laterais em operação foi por meio de registros de esfera.

Considerou-se como área total irrigada a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60% do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,00 ha^{-1}.

Os preços dos componentes foram obtidos de equipamentos existentes na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menor possível para cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção).

Para a determinação dos custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI) foram consideradas todas as operações e insumos necessários (diárias de trator, número de horas homem, número de horas-máquina, preparo do solo, aquisição de sementes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e terra), seguindo a metodologia proposta pela CONAB (2010). Salienta-se que o CFNRI foi constituído de operações que acontecem todos os anos e que não são relacionadas a irrigação (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), porém, podem apresentar variações de valores de um ano para outro.

4.5 Indicadores econômicos de viabilidade

A análise da viabilidade econômica foi realizada através de indicadores econômicos, sendo eles, a relação benefício-custo (B/C), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Foi realizada a determinação dos indicadores para os 3 cenários de estimativa de ganho médio de peso diário dos animais, sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}. Para a análise, foi considerada a lâmina de 100% da ETo pelo fato de ser a lâmina adequada com a necessidade hídrica da cultura.

Para a análise do investimento construiu-se um fluxo de caixa com taxa de desconto de 6,0% ao ano (CONAB, 2010).

O valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento é definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos para um determinado horizonte de tempo (da SILVA & FONTES, 2005).

O VPL foi calculado por meio da Equação:

$$VPL=\sum_{t=0}^{N}\frac{Ft}{(1+j)^t} \quad (26)$$

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 TIR é um dos métodos de se avaliar propostas de investimentos. É uma medida relativa, expressa em percentual, que demonstra o quanto rende um projeto de investimento, considerando a mesma periodicidade dos fluxos de caixa do projeto. Representa a taxa que iguala, num único momento, os fluxos de entradas com os de saídas de caixa. Em outras palavras, é a taxa que produz um VPL igual à zero (PEREIRA & ALMEIDA, 2008).

A taxa interna de retorno de um projeto foi obtida através da Equação 9.

$$\sum_{i=0}^{N}\frac{Ft}{(1+\rho)^t}=0 \quad (27)$$

onde: 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 relação B/C é a razão existente entre os lucros obtidos e os custos para a sua obtenção em determinado tempo.

A razão benefício/custo foi calculada por meio da Equação:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{n} B/(1+j)^t}{\sum_{t=0}^{n} C/(1+j)^t} \quad (28)$$

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

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tem sido observada, ao longo dos últimos anos, a ocorrência de períodos de veranico durante o período de primavera-verão no estado do Rio Grande do Sul, com distribuição irregular das precipitações. Frequentemente tem ocorrido alguns períodos de elevado volume de chuvas e outros com insuficiência de precipitações, acarretando insegurança na produção das pastagens cultivadas.

Nesta época, a demanda evapotranspirativa é elevada e as precipitações em determinados momentos não são suficientes ou são mal distribuidas ao longo do tempo para atender as necessidades das culturas (NIED et al., 2005) . Na Tabela 1, estão representadas as precipitações (total e efetiva) ocorridas nos dois anos de experimentos e a complementação hídrica aplicada através da reposição via irrigação.

Tabela 1. Precipitação total, efetiva e lâmina de irrigação total nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.

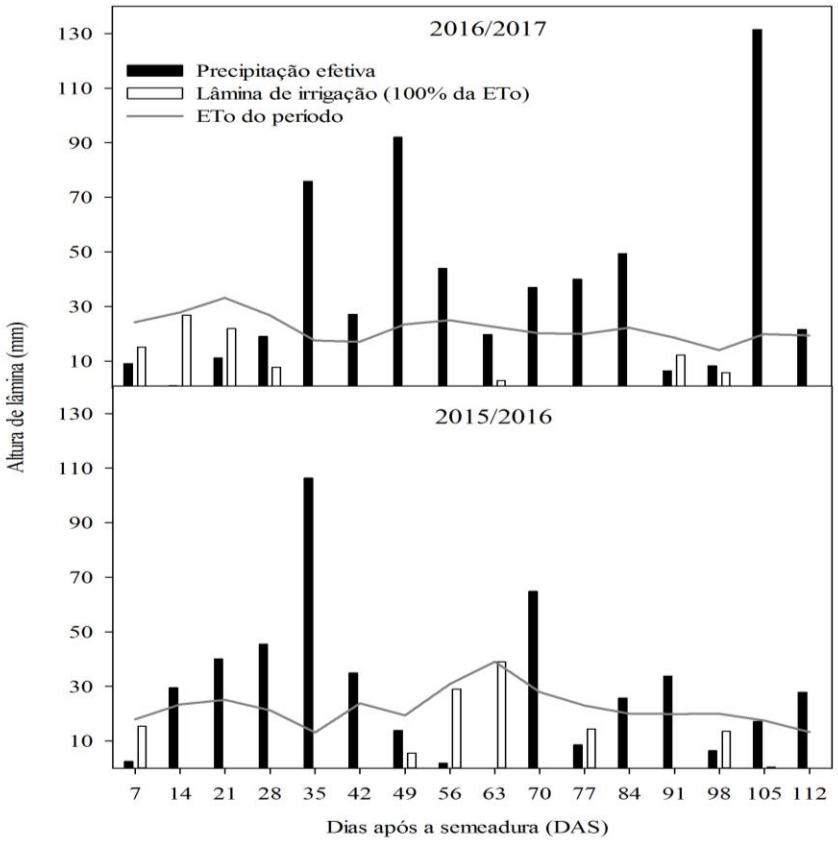
	Ano agrícola	
Altura de lâmina (mm)	**2015/2016**	**2016/2017**
Precipitação total	655,20	847,40
Precipitação efetiva	458,04	593,18
Lâmina de irrigação	117,46	92,50
Lâmina total	575,50	685,68

Apesar de ser uma cultura relativamente resistente a déficits hídricos, a demanda hídrica necessária para a obtenção de boas produtividades na cultura do sorgo é de 380 a 600 mm (VON PINHO et al., 2007). Contudo, na Tabela 1 pode ser observado que para ambos os experimentos, houve necessidade de reposições elevadas de água através da irrigação, totalizando 117 e 92 mm para as duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017). As precipitações efetivas foram mal distribuídas e o volume total ficou abaixo da necessidade, sendo que, para obtenção de elevadas produtividades, a irrigação se fez necessária para suprir os períodos de déficits hídricos.

Os resultados pluviométricos seguiram a mesma tendência nas duas condições avaliadas, ou seja, apesar de serem volumétricamente elevados, apresentaram períodos de insufiência hídrica e assim, necessidade de complemento através da irrigação. Por consequência disto, a produtividade de massa seca também apresentou variação entre os anos avaliados. Santos & Carlesso (1998) caracterizam que a ocorrência de ano bastante chuvoso promove o crescimento de raízes pouco profundas e que, mesmo em pequenos intervalos de tempo com ausência ou insuficiência de precipitações, determinam queda de produtivadade.

Conforme se pode observar na Tabela 1, houve necessidades de irrigações, totalizando volumes consideráveis durante o ciclo da cultura em ambas as condições. Apesar do elevado volume total precipitado, a distribuição foi muito irregular, tornando essencial a realização da reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação para que o fator água não se caracterizasse como preponderante no resultado produtivo. O regime pluviométrico, as necessidades de irrigação e a demanda evapotranspirativa estão representados na Figura 1.

Figura 1. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência ocorridas durante o transcorrer dos 2 experimentos.



No experimento 2015/2016 (Condição agroecológica 1) foram necessárias irrigações em seis semanas durante o decorrer do período para complementação da evapotranspiração, totalizando um volume de irrigação de 117,4 mm na lâmina de 100 % da ETo. Já no experimento 2016/2017 (Condição agroecológica 2) foram realizadas seis irrigações ao longo

da condução da cultura, totalizando um volume de irrigação de 92,5 mm na lâmina de 100 % da ETo.

Como pode ser observado na Figura 1, na condição agroecológica 1 (2015/2016), foi realizada uma irrigação na primeira semana após a semeadura e depois, somente transcorridas 6 semanas foi necessária a segunda irrigação. Na condição agroecológica 2 (2016/2017) foram necessárias 4 irrigações consecutivas nas primeiras semanas de desenvolvimento da cultura.

Através das produtividades obtidas em cada um dos experimentos com a irrigação, e com a oferta de alimento de 4 % do peso vivo do animal por dia, foi determinada a carga animal possível de ser alimentada com a produção durante o período de pastejo. Assim, foram determinadas as expectativas de ganho de peso por hectare para os três cenários de ganho diário por animal de 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1}, durante os 60 dias de alimentação, para as duas safras, estando os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Produção de sorgo forrageiro, periodo de pastejo, oferta forrageira diária, carga animal por hectare, quantidade de massa seca produzida e ofertada para cada dia, número de animais possível de alimentar, ganho médio de peso vivo por hectare, preço de comercialização do quilograma de carne em peso vivo e receita bruta obtida

Transformação da produção forragem em receita bruta	**2015/2016**	**2016/2017**
Produção (kg ha^{-1})	13661	13590
Período de pastejo	60 dias	
Oferta de forragem	4 %	
Unidade animal	300 kg animal	
Carga animal (kg ha^{-1})	5692	5662
Massa seca disponível diária	227	226

Número de animais		19	19
Ganho médio de peso vivo	0,5	569	566
	1,0	1138	1133
	1,5	1707	1699
Preço comercialização kg carne PV		6,00 R$ kg^{-1}	
Receita Bruta (R$ ha^{-1})	0,5	3415,00	3397,00
	1,0	6830,00	6795,00
	1,5	10246,00	10192,00

onde: **Pr** – Produção de forragem (kg ha^{-1}); **/** – divisão; **PP** – Período de pastejo (dias); **OF** – oferta de forragem (% do peso vivo do animal); **UA** – quilograma de peso vivo dos animais; **CA** – carga animal possível de ser alimentada com a produção durante o período de pastejo (kg peso vivo ha); **MS** – kg de massa seca disponível para cada dia durante período de pastejo; **NA** – número de animais possível de alimentar por hectare; **GMPV** – ganho médio de peso vivo durante o período (kg de peso vivo) para três cenários de ganho de peso por dia por animal; **PC** – preço de comercialização do kg de peso vivo de carne; **RB** – receita bruta em reais por hectare para os três cenários de ganho médio de peso diário.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, as produtividades de sorgo forrageiro por hectare no somatório dos cortes foram próximas para os dois anos avaliados, aonde na condição 2015/2016 chegou a 13.661 kg ha^{-1} e em 2016/2017 produção de 13.560 kg ha^{-1}.

Através dos resultados obtidos é possível verificar a importância da irrigação para a cultura, com produções elevadas em ambas as condições agroecológicas, podendo alimentar uma carga animal elevada de animais através dos incrementos de produção quando comparados à agricultura não irrigada. É possível observar ainda, que a estimativa de ganho de peso vivo por hectare seguiu a mesma tendência para ambos os anos avaliados e, que, a obtenção de índices zootécnicos de qualidade, com elevação do ganho de peso

diário dos animais, caracteriza-se como uma das principais variáveis para o sucesso econômico da pecuária em pastagens cultivadas irrigadas.

Contudo, apesar dos resultados produtivos serem elevados, é necessário o balanço econômico da produção para que seja possível afirmar a viabilidade da irrigação de sorgo forrageiro. Assim, os custos de produção da cultura estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Composição dos custos relacionados a irrigação do sorgo forrageiro para as safras agrícolas (2015/2016 e 2016/2017) para a lâmina de 100 % ETo).

COMPONENTE	2015/2016	2016/2017
Custo fixo não relacionado à irrigação - CFNRi		
CFNRi	1651,10	1743,70
Custo Fixo relacionado ao sistema de irrigação – CFRI		
CD	226,85	226,85
CJ	170,14	170,14
CSe	49,62	49,62
CFRI	446,61	446,61
Custo Variável relacionado à irrigação – CVRI		
CvE	108,15	85,17
CvMo	96,15	112,17
CvMan	83,60	81,30
CVRI	287,90	278,64

onde: **CFNRI** – custo fixo não relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CFRI** – custo fixo relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CD** – custo fixo da depreciação do sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CJ** – custo fixo do juro sobre o capital investido (R$ ha^{-1}); **CSe** – custo fixo do seguro do investimento (R$ ha^{-1}); **CVRI** – custo variável relacionado ao sistema de irrigação (R$ ha^{-1}); **CvE** – custo variável da energia elétrica (variável conforme a lâmina de irrigação) (R$ ha^{-1}); **CvMo** – custo variável da mão-de-obra (variável conforme o número de irrigações) (R$ ha^{-1}); **CvMan** – custo variável da manutenção (variável conforme o custo com

a energia) (R$ ha^{-1}); ***:** custo variável igual para todas as lâminas de irrigação, na safra agrícola.

Observa-se na Tabela 3 que o CFRI é igual para as duas condições agroecológicas sendo de R$ 446,61. Este valor de custo se deve à depreciação do sistema de irrigação, os juros sobre o capital investido e o seguro do equipamento de irrigação para um horizonte de projeto, sendo considerado como 20 anos. O valor deste custo está abaixo do apresentado por Vieira et al. (2011), para o mesmo tipo de sistema de irrigação, ou seja, aspersão. Estes autores verificaram o valor de R$ 511,61 ha^{-1}, porém, diferentemente deste trabalho, os autores consideraram o custo com estrutura, e, com isso, elevaram seu custo anual.

Os componentes do CVNRI variaram de R$ 1.651,10 em 2015/2016 à R$ 1.743,70 em 2016/2017, sendo esta diferença atribuída à variação do valor de sementes e de insumos de um ano para outro. Já o CVRI apresentou variação conforme o número de irrigações e o volume de água aplicado para cada uma das condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017), sendo de 287,90 R$ ha^{-1} para 2015/2016 e de 278,64 R$ ha^{-1} para 2016/2017. Esta pequena diferença de valores é justificada pelo menor volume de água aplicado no experimento 2 com 92,50 mm em relação ao Experimento 1 com 117,46 mm, ambos com reposição de 100 % da ETo.

Com a determinação dos custos relacionados à irrigação, foi possível verificar que a introdução do sistema de irrigação por aspersão aumentou o custo total do sistema produtivo em 44 % para o Experimento 1 e em 43 % para o experimento 2 para área de um hectare.

Alguns trabalhos obtidos na literatura corroboram com os resultados encontrados, sendo possível caracterizar custos oriundos de sistemas de produção de forragem bastante altos. Dantas et al. (2017), relataram custo anual de produção da palma forrageira irrigada de 7.447,80 R$ ha^{-1} no semiárido do Rio Grande do Norte, sendo este resultado relacionado aos

maiores volumes de lâminas de irrigação aplicados, aumentando o custo variável relacionado à irrigação e assim, o custo total em relação ao presente trabalho.

Pinheiro (2002) em trabalho analisando a viabilidade econômica em sistema de irrigação por pivô central em pastagem de capim Tanzânia para diversas regiões do país, encontrou retornos econômicos consideráveis, variando entre (400,00 a 600,00 R$ ha^{-1} ano) para diversas regiões analisadas (Cuiabá-MT, Petrolina-PE, Porto Nacional-TO). Em outros casos, os retornos econômicos foram pouco atraentes, variando entre R$ -100,00 a 300,00 ha^{-1} ano para regiões como Campo Grande-MS, Uberaba-MG, Rio Verde-GO, Piracicaba-SP.

Na Tabela 4 estão representados Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL) para as diferentes lâminas de irrigação (LI), nos três cenários desimulação de ganho de peso médio diário (GPD), para as duas condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017).

Tabela 4. Receita bruta (RB), Custo total (CT) e Receita líquida (RL), nos três cenários de ganho de peso diário (GPD), para as duas safras (2015/2016 e 2016/2017).

GPD	**2015/2016**			**2016/2017**		
	RB	**CT**	**RL**	**RB**	**CT**	**RL**
0,5	3415,5	2351,9	1063,4	3397,4	2444,5	952,8
1,0	6830,9	2351,9	4478,9	6794,8	2444,5	4350,2
1,5	10246,4	2351,9	7894,4	10192,2	2444,5	7747,6

GPD em kg animal dia; **RB**, **RL** e **CT** em R$ ha^{-1}.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, para ambas as condições agroecológicas, a receita líquida foi positiva, indicando que a introdução da irrigação dentro do sistema de produção de sorgo forrageiro é lucrativa. Também é possível observar que através do aumento do ganho médio diário simulado, há elevação na lucratividade da atividade, sendo

extremamente importante a obtenção de ganhos elevados, uma vez que, os custos se mantem os mesmos.

Os resultados obtidos vão ao encontro de Torres et al. (2018), que avaliando a receita líquida da irrigação para a cultura do milheto através de simulação de ganhos de peso animal, encontraram lucro de 3.272 R$ ha^{-1} para o tratamento 100 % da ETo para ganho de 1,0 kg animal dia, para a mesma época e local de estudo, enquanto que no presente trabalho a receita líquida foi de 4.350 R$ ha^{-1} para o mesmo ganho de peso médio diário animal.

Contudo, apesar dos resultados apresentados na Tabela 4 serem de receita líquida positiva, para a determinação da viabilidade econômica da irrigação em sorgo forrageiro voltada para a bovinocultura de corte, é necessário à determinação dos indicadores econômicos.. Desta maneira, estão representados na Tabela 5 o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e a relação B/C para os três cenários de simulação de ganho médio de peso diário animal, para os dois anos de avaliação.

Tabela 5. Valor presente líquido (R$ ha^{-1}), taxa interna de retorno (%) e relação benefício/custo para três cenários de GMD em sorgo forrageiro irrigado.

Experimento	GPD	VPL	TIR	B/C
	0,5	3755,38	10	1,58
2015/2016	1,0	42929,75	46	3,16
	1,5	82105,26	82	4,74
	0,5	2421,93	9	1,21
2016/2017	1,0	41389,84	45	2,41
	1,5	80357,75	80	3,62

Conforme pode ser observado na Tabela 5, houve viabilidade econômica para a irrigação de sorgo forrageiro para as duas condições agroecológicas avaliadas, onde todos os indicadores, ou seja, VPL, TIR e relação B/C, apresentaram resultados positivos, sendo, a irrigação de sorgo forrageiro uma boa opção de investimento para o produtor de bovinocultura de corte, eliminando as incertezas do fator precipitação da cadeia de produção de alimentos e servindo como segurança através do retorno econômico proporcionado.

Também é possível observar na Tabela 5 a importância da obtenção de um bom índice de ganho de peso diário dos animais, uma vez que, quanto maior for o ganho diário dos animais, maior será o retorno econômico ao produtor, fato este, demonstrado através dos dois anos avaliados e dos três indicadores econômicos.

O valor presente líquido apresentou variações elevadas entre os três cenários de ganho peso diário animal, porém, os valores ficaram próximos na variação de um ano para o outro. O VPL variou de 3.755 para as simulações de 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1} a 82.105 R$ ha^{-1} para o cenário de ganho de 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1} em 2015/2016 e de 2.421 para as simulações de 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1} a 80.357 R$ ha^{-1} para o cenário de ganho de 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1} em 2016/2017. Através desses resultados do VPL é possível verificar que a soma dos fluxos de caixa para o universo de 20 anos é positiva em todos os cenários, acarretando em viabilidade econômica. Através do VPL foi possível verificar que com a introdução da irrigação o valor de receitas no universo de 20 anos é maior do que os de despesas para todas as simulações avaliadas, sendo crescente conforme a melhora dos índices de ganho de peso médio.

Além disso, observa-se uma variação entre os anos avaliados para todos os cenários, onde o menor VPL foi sempre obtido nas condições agroecológicas 2016/2017 em relação com o 2015/2016, sendo este fato justificado pelo maior custo.

Os resultados obtidos vão ao encontro de Almeida et al. (2018) que avaliando a viabilidade econômica da irrigação via pivô central em sistemas de plantio convencional e

direto de soja, milho e tomate industrial, obtiveram VPL de 2.129,82 R$ ha^{-1} ano^{-1} para o sistema convencional e de 2.294,95 R$ ha^{-1} ano^{-1} para sistema direto, ficando próximos dos valores obtidos para o ganho médio de peso de 0,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1} para os dois experimentos do presente trabalho.

Na avaliação da taxa interna de retorno (TIR), os resultados apontaram a mesma tendência observada no VPL, variando de 10 a 82 % em 2015/2016 e de 9 a 80 % em 2016/2017 conforme o aumento do GMD, ou seja, valores próximos entre os dois anos avaliados e com aumento conforme o ganho de peso diário dos animais. Esses resultados apontam que o rendimento do projeto ao longo dos 20 anos é positivo para todos os cenários, aumentando conforme o GMD dos animais. Almeida et al. (2018) encontraram TIR de 131 % para sistema de plantio convencional e de 162 % para sistema de plantio direto ambos irrigados, para um universo de 30 anos.

Dessa maneira, a TIR também caracterizou viabilidade econômica da irrigação de sorgo forrageiro, além de demostrar a variação econômica entre os distintos cenários de resultados zootécnicos de ganho médio diário de peso dos animais.

Já a relação benefício/custo (B/C), apontou resultados positivos para todos os cenários, com valores maiores que 1, fato este, que torna o investimento na irrigação viável economicamente, com diferença de magnitude entre os anos variando de acordo com a precipitação e, consequentemente, com o número de irrigações realizadas e que alteram o custo. A tendência foi a mesma dos demais indicadores, com aumento da viabilidade conforme a melhora na receita, ou seja, aumento do ganho de peso diário animal, variando de 1,58 a 4,74 em 2015/2016 e de 1,21 a 3,62 em 2016/2017.

Os resultados referentes à relação B/C vão ao encontro dos obtidos por Torres et al. (2018), que avaliando a viabilidade econômica da irrigação para a cultura do milheto, também

no munícipio de Santa Maria-RS, encontraram relação de 2,17 para a lâmina de 100 % de ETo de reposição, ficando próximo dos 2,41 encontrados para o experimento 2016/2017.

6 CONCLUSÕES

A irrigação da cultura do sorgo forrageiro é viável economicamente para as condições agroecológicas do trabalho na região central do Rio Grande do Sul, fato este, demonstrado através de todos os indicadores econômicos avaliados, ou seja, valor presente líquido, taxa interna de retorno e relação benefício/custo.

O aumento da viabilidade econômica da pecuária de corte está intrinsecamente relacionado à obtenção de elevados GMD pelo animal, determinados pelo aumento da oferta de forragem quando irrigada, elevando a receita e, consequentemente, o retorno financeiro.

Os indicadores econômicos se mostraram eficientes na determinação da viabilidade econômica da irrigação, sendo ferramentas de extrema importância na tomada de decisão do investimento na agropecuária de corte irrigada.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALMEIDA, V.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.;EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 11, n. 02, p. 256-273, 2018.

ANDRADE, A. R. S.; MACHADO, C. B.; VILELA, E. L.; CAMÊLO, D. L.; SILVA, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um latossolo amarelo submetido à adubação orgânica. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, n. 4, v. 2, p. 137-151, 2011.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; TINOS, A. C.; BELTRAME, G. A.; DE ALMEIDA, J. V.; CUCO, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.

AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAUJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; BOMFIM, M. A. D.; RESTLE, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 208-215, 2011.

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

BRONER B. I.; LAMBERT J. Optimal scheduling of irrigation machines. I: Model development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. Reston-VA, v. 115, n. 5, p. 862-879, 1989.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 376 p., 2016.

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

DANTAS, G de F.; LIMA G. F. da C.; MOTA E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**. Piracicaba, v. 3 n. 1, p. 59-74, 2017.

da SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.931-936, 2005.

de SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. de A; de CARVALHO, C. M.; de SOUSA, A. M.; COSTA, C. P. de M; de AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.4, p. 1528 - 1537, 2017.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; DEMÉTRIOS, C. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada &**

Agrotecnologia, Guarapuava, v. 2, n .1, p. 187-190, 2009.

FREIRE, J. L. de O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. T.; DIAS, T. J.; SOUTO, A. G. de L. Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p.82- 91, 2011.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Eds). **Planejamento da irrigação**: Análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GLIENKE, C. L. **Estudo da recria de novilhas em corte em pastagens cultivadas de verão.** 2012, 131 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**. Nairóbi, v. 12, n. 2, p. 111-124, 2017. :

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BEN, L. H. B.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D. Productivity and efficiency in the use of water in different irrigation depths in forage sorghum in dynamic of cuts. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 359-379, 2018.

LOPES, M. A.; LIMA, A. L. R.; CARVALHO, F. M. Controle gerencial e estudo da rentabilidade de sistemas de produção de leite na região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n.4, p. 234-247, 2004.

MANNOCCHI B. F.; MECARELLI P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston-VA, v. 120, n. 3, p. 484-503. 1994.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas para hortaliças**. 2 Ed. Circular técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.

MARTIN, D. L.; GILLEY, J. R.; SUPALLA, R. J. Evaluation of Irrigation Planning Decisions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston – VA, v. 115, n. 1, p. 58-77, 1989.

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

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul. Secretária da Agricultura**, Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.

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, RS, v.35, n.5, p.995-1002, 2005.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S.; JOSÉ, J.V.; Situação da agricultura irrigada no brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p.163-176, 2011.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições edafoclimáticas para produção de Cynodon spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 85-114.

PEREIRA, L. R., DE SOUZA, J. M., DA MATTA RAFAEL, A., DA CRUZ, E. A., DAS GRAÇAS TEIXEIRA, A., & DOS REIS, E. F.. Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 156-161, 2016.

PEREIRA, W. A. ALMEIDA, L.S. Método Manual para Cálculo da Taxa Interna de Retorno. **Revista Objetiva**, Rio Verde, p. 38 - 50. 2008.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 2002, 131 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. da S. Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 196-206, 2014.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SEIBERT et al. **Estudo de viabilidade econômico–financeira para implantação de uma estufa hidropônica em uma propriedade rural no interior de santo ângelo – rs**. IESA, Santo Ângelo-RS. 2013.

SILVA, M. L. O.; DE FARIA, M. A.; REIS, R. P.; DE 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, 2007.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TORRES, R. R. **Resposta da irrigação na produção de forragem de milheto**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2018.

TRINDADE, JUNIOR. G.; SILVA, R. R.; CARVALHO, G. G. P.; DA SILVA, F. F.; NEGRÃO, J. A.; BARROSO, D. S.; DIAS, D. L. S.; COSTA, P. B. Ganho compensatório de novilhas mestiças suplementadas em pastagens sob avaliação do perfil hormonal e parâmetros sanguíneos. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 36, n. 3, p. 1481-1494, 2015.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JÚNIOR, J. A.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Revista Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 20007

8 DISCUSSÃO GERAL

A bovinocultura de corte tem participação especial na economia do estado do Rio Grande do Sul e tem se caracterizado como uma das principais estratégias de renda adotadas pelos produtores em suas propriedades. Contudo, uma das principais preocupações reside no fornecimento de alimento adequado aos animais durante todo o ano, visando sempre atender as demandas impostas pela sociedade consumidora por uma carne de qualidade, com origem de animais com abate precoce, devido à baixa quantidade de gorduras, e, também, oriundo de um meio de produção mais adequado com princípios de preservação do meio ambiente.

A partir deste cenário, as pastagens cultivadas têm se caracterizado como excelente opção ao produtor para atender esta gama de situações. As mesmas, possuem características essenciais, tais como, elevada produção de massa seca, captação do CO_2 atmosférico para seu desenvolvimento, rápido crescimento e estabelecimento e qualidade e adaptabilidade ao clima local. Dentre as pastagens cultivadas no estado, o sorgo forrageiro tem sido a cultura mais utilizada pelos produtores pecuários e tem apresentado crescimento em área cultivada, com bons resultados de produção.

Para que a produção de sorgo forrageiro seja elevada e atinja os níveis desejados, o principal fator de limitação é a irregularidade na distribuição das precipitações, que ocorrem na grande maioria dos anos. Esta situação, afeta a produção e compromete o planejamento de terminação e abate dos animais. Para suprir esta limitação, a irrigação das pastagens, em especial da cultura do sorgo forrageiro, tem sido utilizada para eliminar o fator precipitação do ciclo produtivo, contudo, os resultados produtivos e financeiro-econômicos da irrigação nesta cultura, são extremamente importantes para auxiliar o produtor na tomada de decisão no investimento.

Por meio dos experimentos realizados nas condições agroecológicas de 2015/2016 (Condição agroecológica 1) e 2016/2017 (Condição agroecológica 2) foi possível observar que a distribuição das precipitações é fator de extrema importância e, que, os volumes totais ao longo do ciclo devem ser analisados de acordo com a ocorrência e necessidade hídrica da cultura. Na condição agroecológica 1 foi contabilizado uma precipitação total de 655 mm e na condição agroecológica 2 de 847 mm durante o transcorrer dos períodos de avaliação. Porém, seguindo a metodologia de Millar (1978), as precipitações efetivas foram de 458 mm e de 593 mm para as condições 1 e 2, respectivamente.

Tardin et al. (2013) relatam a influência de regimes insuficientes ou mal distribuídos

de precipitações como responsáveis pela queda de produtividade em plantas com fins forrageiros. Já Cunha et al. (2008) e Kirchner et al. (2018), salientam a influência da distribuição das precipitações durante todo o período da cultura, salientando que em alguns períodos a demanda evapotranspirativa nas pastagens excede a precipitação e assim, a irrigação torna-se necessária para garantir a produtividade e atingir elevados níveis de produção e rentabilidade.

Apesar de os volumes de precipitação pluvial serem elevados e superiores ao intervalo citado por Von Pinho et al. (2007) como necessário para boas produtividades na cultura do sorgo, sendo de 380 a 600 mm, para ambos os experimentos foram necessárias irrigações durante o ciclo avaliado, com volume total de irrigação na lâmina de 100% da ETo de 117 mm para a condição agroecológica 1 e de 92 mm para a condição agroecológica 2. Foram realizadas seis irrigações em 2015/2016 e sete em 2016/2017, sendo encontradas diferenças estatisticamente significativas de produção de massa seca para ambos os anos e entre as lâminas de irrigação aplicadas.

Em relação à produção de forragem de sorgo forrageiro (kg de MS ha^{-1}) observou-se efeito significativo em nível de 5% de probabilidade de erro nas duas safras agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). Foram ajustadas equações quadráticas com coeficientes de determinação de 97 % para ambos os anos, onde, as maiores produções foram obtidas na lâmina de 100 % da ETo para ambos os anos, com produção de forragem de 13.661,89 em 2015/2016 e 13.589,59 kg ha^{-1} em 2016/2017, produções estas superiores em relação ao tratamento testemunha em 23,50 e 52,53 %, respectivamente.

Com os resultados encontrados, é possível concluir que o excesso hídrico é prejudicial ao sorgo forrageiro, acarretando em perdas de produção, e que, a calibração da lâmina de irrigação é imprescindível para a obtenção de produtividades próximas do teto produtivo. Além disso, os resultados mostram que houve grande diferença de produção entre os tratamentos não irrigados entre as condições agroecológicas 1 e 2. A variabilidade e a irregularidade das precipitações nas primeiras semanas de crescimento na condição agroecológica 2, sendo necessárias irrigações para suprir esta falta em três semanas consecutivas, causou deficiência hídrica no tratamento não irrigado, justificando os cerca de 2.000 kg ha^{-1} a menos de massa seca produzida no ano 2 (2016/2017) em relação ao 1 (2015/2016).

Vale & Azevedo (2013) em avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo, irrigados com água do lençol freático e do rejeito dessanilizados, obtiveram produtividade de 14.500 kg ha^{-1} de massa seca no tratamento irrigado com lençol freático,

valor este, próximo aos obtidos na lâmina 100 % nos 2 anos avaliados. Zwirtes (2013), em avaliação das características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária, encontrou maior produtividade de massa seca na lâmina de 100 % da ETc com 13.785 kg ha^{-1}, semelhante aos 13.661 kg ha^{-1} encontrados na condição agroecológica 1 e dos 13.589 kg ha^{-1} obtidos na condição agroecológica 2 na lâmina de 100 % da ETo.

Tanto os trabalhos desenvolvidos nos dois anos agrícolas, quanto os trabalhos citados na literatura, demonstram a importância do adequado suprimento hídrico na cultura do sorgo forrageiro, onde tanto a falta quanto o excesso hídrico poderão acarretar em perdas de produção. Assim, é possível determinar a água aplicada através da irrigação, como fator determinante para a oscilação das produtividades de massa seca, tornando a irrigação uma alternativa para o aumento dos índices de produção das pastagens cultivadas com sorgo forrageiro e demonstram a importância do correto dimensionamento e manejo da irrigação.

Essas variações de produção são explicadas por Ferrari et al. (2015), pela ocorrência de deficiência hídrica, fato este que provoca alterações no funcionamento das plantas, tais como, redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência, abscisão foliar, entre outras. Ferraz et al. (2012), afirmam que com o aumento da quantidade de água disponível, as plantas aumentam a troca de gases entre planta e atmosfera, causando a expansão do tecido vegetal e o desenvolvimento da parte aérea, principalmente folhas. Fato este, que em culturas utilizadas como pastagem, caracteriza-se como aumento expressivo na produtividade, uma vez que, folhas são preferenciais pelos animais no momento de pastejo.

Os resultados obtidos com as produções de massa seca nos distintos tratamentos são insuficientes para caracterizar a viabilidade da irrigação na cultura. Para isso, a realização da análise da eficiência no uso da água, torna-se imprescindível para a caracterização na agricultura irrigada, uma vez que, a água é um bem cada vez mais escasso e, seu uso racional é cada vez mais necessário.

Para ambas as condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017) foram ajustadas equações quadráticas. Para a condição 1 (2015/2016), houve pequena variação entre as lâminas, com valores de EUA compreendidos entre 22,28 e 24,30 kg mm^{-1}. Este resultado pode ser atribuído ao fato de ter ocorrido um volume menor de precipitação pluvial em relação a condição agroecológica 2, além, de uma distribuição pluviométrica mais uniforme ao longo das primeiras 4 semanas. Este fato ocasionou uma diferença expressiva de produção no tratamento não irrigado entre os anos agrícolas, pelo déficit hídrico ocorrido na condição 2

em um período crucial de crescimento e estabelecimento da cultura, que é o perfilhamento.

A maior EUA foi encontrada na lâmina de 25 % da ETo seguida pela testemunha não irrigada e, as menores, foram obtidas nas maiores lâminas de irrigação, ou seja, nas lâminas de 125 e de 100 % da ETo, sendo este resultado atribuído à distribuição mais regular de precipitação e a menor amplitude de produtividade entre os tratamentos.

Já para a condição agroecológica 2 (2016/2017) a maior EUA foi encontrada na lâmina de 100 % da ETo e a menor no tratamento testemunha. O resultado é atribuído à má distribuição da precipitação nas primeiras semanas, sendo necessárias três irrigações no estabelecimento da cultura, provocando uma elevada amplitude de produtividade entre os tratamentos variando de 8.909 a 13.589 kg ha^{-1}, tendo como consequência a obtenção de aumento relativo na EUA.

Os resultados encontrados no ano 2015/2016 vão de encontro dos obtidos por Zhang et al. (2018) que 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. Também contribui Melo (2006), que em trabalho com as culturas do sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e milheto (Pennisetum glaucum (L.), encontrou maior EUA para as menores lâminas de irrigação em sorgo. Em seu trabalho, foram testadas as seguintes lâminas: 0, 25, 50, 75 e 100 % da capacidade de campo do solo. A maior eficiência foi encontrada na lâmina de 25 % de capacidade de campo com 4,50 g kg^{-1}, enquanto que o menor valor da eficiência de uso da água foi obtido na lâmina de 100% de capacidade de campo com 3,00 g kg^{-1}.

Já os resultados no ano 2016/2017 estão de acordo com os obtidos por Parizi et al. (2009), que trabalhando com cinco estratégias de irrigação 0, 60, 80, 100 e 120 % da ETo, com a cultura do milho, observaram os maiores valores de EUA de 3,41 kg $m^{-3}ha^{-1}$ e 3,46 kg m^{-3} ha^{-1} nos tratamentos de 80 e 100% de ETo e o valor mais baixo 3,0 kg m^{-3} ha^{-1} foi obtido na lâmina de 120 % da ETo, ou seja, lâminas superiores a 100 % diminuíram a EUA.

Com os resultados experimentais e os encontrados na literatura, é possível caracterizar que os regimes hídricos ocorridos são determinantes na EUA, pois conforme for a amplitude de variação de produtividade entre os tratamentos, bem como, a realização de irrigações, acarretá em mudanças na EUA.

Através das produções encontradas nos distintos tratamentos, foi realizada a determinação do número de animais possível de serem alimentados visando obter o rendimento bruto da irrigação de sorgo forrageiro. Para ambos os anos, o maior número de animais foi encontrado na lâmina de 100 % da ETo pelo fato de ser a de maior produtividade, por consequencia, a maior carga de peso médio vivo animal, também foi encontrada neste

tratamento. Além disso, conforme o aumento do ganho médio de peso diário dos animais, ou seja, os cenários de 0,5 , 1,0 e 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1} testados, foi encontrado maior carga animal.

Corroboram com estes resultados Montagner et al. (2008), que avaliando o desempenho de novilhas de corte em pastagens de milheto, obtiveram valores entre 3.119 e 2.541 kg de PV ha^{-1}, sendo inferiores a amplitude de carga animal entre os tratamentos projetadas para a condição agroecológica 1 de 4.608 a 5.692 kg de PV ha^{-1} e de 3.712 a 5.662 na condição agroecológica 2. Também Pacheco et al. (2014) chegaram a uma carga animal inferior, com média de 1.741 kg de PV ha^{-1}.

Estas diferenças encontradas no presente trabalho em relação aos citados, pode ser atribuída as menores produções de massa seca dos trabalhos citados, uma vez que, ambos os trabalhos foram realizados sem a complementação hídrica através da irrigação.

Para a determinação da viabilidade econômico-financeira da irrigação em sorgo forrageiro, foram realizadas as determinações dos custos de produção irrigada e não irrigada. Desta forma, foi possível verificar que os custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI) tiveram uma pequena variação, sendo de 1.651 R$ ha^{-1} para 2015/2016 e de 1.743 R$ ha^{-1} para 2016/2017. Esta variação se deve a mudança de preço no valor de sementes e de insumos ocorridas de um ano para outro.

Já o custo fixo relacionado à irrigação (CFRI) que é caracterizado pelo valor do sistema de irrigação, foi o mesmo para ambos os anos, sendo de 446,61 R$ ha^{-1}. O custo variável relacionado à irrigação (CVRI), que é o custo relacionado ao número de irrigações realizadas foi distinto para ambos os anos. Para o ano de 2015/2016 o CVRI foi de 287,90 R$ ha$^{-1,}$ enquanto que para 2016/2017 foi de 278,64 para a lâmina de 100 % de ETo, sendo realizadas seis e sete irrigações para a sequência dos anos estudados.

Como o custo total da produção não irrigada para 2015/2016 foi de 1.651,10 R$ ha^{-1} e com a irrigação foi de 2.351,99 R$ ha^{-1}, o incremento do sistema irrigado ocasionou um aumento de custo de 42 %. Já para o ano 2016/2017 o custo total de produção não irrigada foi de 1.743,70 R$ ha^{-1}, enquanto que o irrigado foi de 2.444,59 R$ ha^{-1}, acarretando em um aumento de 40 %.

Os custos obtidos no presente trabalho são semelhantes aos de Martins et al. (2016) que encontraram custos não relacionados à irrigação de 2.325,00 R$ ha^{-1} para sistema de irrigação por gotejamento na cultura do milho. Já no que tange aos custos fixos relacionados à irrigação, esses autores encontraram 1.848,75 R$ ha^{-1}, sendo bastante superior aos 446,61 R$ ha^{-1}. Esta diferença é atribuída ao tipo de sistema de irrigação utilizado, onde o

gotejamento geralmente apresenta um custo maior de aquisição quando comparado com a aspersão.

Com os resultados obtidos, bem como, dos encontrados na literatura, é possível verificar que os custos de produção da agricultura irrigada são sempre mais elevados em relação aos de sequeiro. Assim, a produtividade obtida no sistema irrigado deve ser superior ao sistema sem irrigação, para superar estes custos envolvidos e, assim, caracterizar-se economicamente viável, justificando o investimento no sistema de irrigação.

A receita líquida ou lucro por hectare apresentou resultados distintos para as condições agroecológicas avaliadas. No cenário de ganho de peso de 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1}, para 2015/2016, o incremento da irrigação apresentou resultados de lucros inferiores em relação ao não irrigado, com 1.114 R$ ha^{-1} no tratamento testemunha e de 1.063 R$ ha^{-1} na lâmina de 100 % da ETo.

Já para a condição agroecológica 2016/2017 a irrigação se mostrou lucrativa para o mesmo ganho de peso de 0,5 kg animal^{-1} dia^{-1}. A variação do lucro ficou entre 483 R$ ha^{-1} no tratamento não irrigado a 952 na lâmina de 100 % da ETo. Esta diferença entre os anos se justifica pela diferença de produção no tratamento não irrigado entre os anos, com 11.061 kg ha^{-1} em 2015/2016 e 8.909 em 2016/2017.

Para ganhos de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} a irrigação se mostrou vantajosa, aumentando a receita líquida para ambos os anos avaliados. Em 2015/2016 variou de 3.879 R$ ha^{-1} no não irrigado a 4.478 R$ ha^{-1} na lâmina de 100 % da ETo, enquanto que em 2016/2017 variou de 2.711 R$ ha^{-1} no tratamento testemunha a 4.350 R$ ha^{-1} no tratamento irrigado com 100 % da ETo.

Com ganhos de 1,5 kg animal^{-1} dia^{-1} os resultados seguiram a mesma tendência de lucro em relação ao ganho de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1}, com grande aumento nos tratamentos irrigados em relação aos não irrigados para ambos os anos. Em 2015/2016 o lucro variou de 6.644 R$ ha^{-1} em sequeiro a 7.894 R$ ha^{-1} com 100 % da reposição da demanda evapotranspirativa. Já para 2016/2017 os lucros ficaram entre o intervalo de 4.938 R$ ha^{-1} em sequeiro a 7.747 R$ ha^{-1} na irrigação ideal.

Estes resultados permitem estimar o ganho médio de peso diário dos animais como um dos principais aspectos influenciadores do sucesso econômico-financeiro da criação de bovinos de corte tanto em sequeiro quanto em agricultura irrigada. Também é possível afirmar que o regime hídrico influencia de maneira direta na renda do produtor, uma vez que, na condição agroecológica 2 houve período de maior irregularidade das precipitações e assim, os resultados do incremento da irrigação foram mais significativos em relação a condição

agroecológica 1.

Além disso, a estimativa de ganho médio de peso diário de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} caracterizou-se como adequado para lucros do produtor para ambos os cenários, sendo determinante para o sucesso econômico-financeiro da atividade em todos os cenários testados. Os resultados obtidos são similares aos de Torres et al. (2018), que avaliando a receita líquida da irrigação para a cultura do milheto através de simulação de ganhos de peso animal, encontraram lucro para o tratamento testemunha e para o de 100 % de reposição evapotranspirativa.

Torres et al. (2018) encontraram receitas líquidas variando entre 2.731 R$ ha^{-1} para o tratamento não irrigado a 3.272 R$ ha^{-1} para o tratamento 100 % da ETo para ganho de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} para a mesma época e local de estudo, enquanto que no presente trabalho esses valores variaram de 2.711 R$ ha^{-1} no tratamento não irrigado à 4.350 R$ ha^{-1} no tratamento 100 % da ETo, sendo portanto, bastante próximos e com o mesmo resultado tanto para o incremento de lucro com a irrigação, quanto para o cenário de ganho de peso de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1}.

Além dos resultados referentes às receitas líquidas dos distintos tratamentos, ambos os anos avaliados apresentarem balanço positivo, ou seja, lucratividade da atividade pecuária na cultura do sorgo forrageiro. Os indicadores de viabilidade econômica também confirmaram este fato. Os três indicadores avaliados, ou seja, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e relação benefício/custo apresentaram-se positivos para a irrigação em sorgo forrageiro.

Desta maneira, a irrigação de sorgo forrageiro caracterizou-se como uma boa opção de investimento para o produtor de bovinos de corte, eliminando o fator precipitação da cadeia de produção de alimentos e servindo como segurança através do retorno econômico proporcionado. Salienta-se ainda que os resultados encontrados foram obtidos em dois anos agrícolas considerados como acima da média da precipitação, e, caso ocorram anos com maiores irregularidades no regime hídrico. As comparações dos resultados da viabilidade da irrigação em sorgo forrageiro voltado para a pecuária de corte tendem a ser ainda mais vantajosos aos produtores.

O valor presente líquido apresentou variações elevadas entre os três cenários de ganho peso diário animal, contudo, os resultados foram similares na variação de um ano para o outro. Os resultados obtidos vão ao encontro de Almeida et al. (2018) que avaliando a viabilidade econômica da irrigação via pivô central em sistemas de plantio convencional e direto de soja, milho e tomate industrial. Os autores obtiveram VPL de 2.129 R$ ha^{-1} ano^{-1}

para o sistema convencional e de 2.294 R$ ha^{-1} ano^{-1} para sistema direto, ficando próximos dos valores obtidos para o ganho médio de peso de 0,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1} para os dois experimentos (3755 R$ ha^{-1} em 2015/2016 e 2421 R$ ha^{-1} R$ ha^{-1} em 2016/2017) do presente trabalho.

Além do VPL, a taxa interna de retorno (TIR) também apresentou resultados significativos para o incremento de sistema de irrigação da cultura do sorgo forrageiro voltada para a pecuária de corte. Os resultados foram positivos para ambos os anos e para todos os cenários de ganho animal. Para o experimento 2015/2016 a TIR variou de 10 % para ganho de meio quilograma animal dia a 82 % para 1,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1}, enquanto que no experimento 2016/2017 variou de 9 % para ganho de meio quilograma animal dia a 80 % para 1,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1}.

Desta maneira, pode ser observado que os resultados foram similares entre os dois anos avaliados, estando vinculados às produtividades próximas obtidas para ambos os anos e ao regime hídrico ocorrido, com irrigações pontuais para ambos os casos. Além disso, o aumento da taxa interna de retorno de acordo com o ganho de peso diário dos animais demonstram a importância de a propriedade agropecuária buscar um manejo eficiente para todos os fatores produtivos, pois de nada adiantaria o investimento em sistema de irrigação se o fator animal não for bem trabalhado.

Os resultados evidenciaram que a tendência econômica favorável da irrigação se manteve, onde, conforme o aumento do ganho de peso dos animais, acarretou em acréscimo do intervalo de viabilidade para a TIR, com valores próximos entre os dois anos avaliados e aumento conforme o ganho de peso diário dos animais. Almeida et al. (2018), encontraram TIR de 131 % para sistema de plantio convencional e de 162 % para sistema de plantio direto ambos irrigados, para um universo de 30 anos. Da mesma maneira que no presente trabalho, estes autores caracterizaram a TIR como um bom indicador de avaliação da viabilidade econômica da irrigação, sendo encontrados resultados positivos para ambos os sistemas de semeadura.

O terceiro indicador avaliado, ou seja, a relação B/C, apontou resultados positivos para todos os cenários, com valores maiores que 1, fato este, que torna o investimento na irrigação viável economicamente. A amplitude dos resultados entre os anos é consequência da variação das precipitações de um ano para outro e, consequentemente, com o número de irrigações realizadas, fato este que altera o custo. Além disso, foi possível observar a mesma tendência dos demais indicadores, com aumento da viabilidade conforme a melhora na receita, ou seja, aumento do ganho de peso diário animal.

Resultados semelhantes foram obtidos por Torres (2018), que avaliando a relação B/C da irrigação na cultura do milheto no mesmo município e ano, encontrou 2,17, sendo semelhante ao resultado obtido para o sorgo forrageiro que foi de 2,47. Desta maneira, pode-se afirmar que a irrigação se apresenta como uma alternativa de incremento de produção e de viabilidade econômica aos produtores da região.

9 CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que:

- O aumento da viabilidade econômica da pecuária de corte está intrinsecamente relacionado à obtenção de elevadas eficiências agronômicas e zootécnicas através de obtenção de elevadas produtividades no sorgo forrageiro e de altos ganhos médios diários de peso pelo animal, aumentando a receita e, consequentemente, o retorno econômico-financeiro.

- Com ganhos de 1,0 kg animal^{-1} dia^{-1} a irrigação se mostrou viável financeiramente para ambas as condições agroecológicas e regimes hídricos, caracterizando um índice produtivo ideal para o sucesso da atividade, sendo encontrados ganhos de 15 % em 2015/2016 e de 60 % em 2016/2017.

- A irrigação da cultura do sorgo forrageiro é viável economicamente para as condições agroecológicas (2015/2016 e 2016/2017) de Santa Maria - RS, fato este, verificado através de todos os indicadores econômicos avaliados, ou seja, valor presente líquido, taxa interna de retorno e relação benefício/custo.

- A irrigação caracterizou-se como uma excelente alternativa de incremento de produção de massa seca por hectare na cultura do sorgo forrageiro em ambos os anos avaliados, sendo ajustadas equações quadráticas de produção.

- Apesar de os dois anos avaliados terem sido considerados como acima da média em precipitação, houve diferenças elevadas de produção entre as distintas lâminas de irrigação, podendo estes resultados serem ainda mais significativos em anos com precipitações abaixo da média.

- A maior eficiência no uso da água em 2015/2016 foi encontrada na lâmina de 22,5 % da ETo, enquanto que em 2016/2017 a maior EUA foi em 75 % da Eto. Esses resultados foram em função do regime de distribuição da precipitação de cada condição agroecológica (2015/2016 e 2016/2017), sendo um parâmetro extremamente importante de ser estudado e avaliado para a produção de espécies forrageiras irrigadas.

- O lucro da atividade pecuária está intrinsicamente relacionado com a variação do regime hídrico ocorrido, onde o mesmo caracteriza a viabilidade ou inviabilidade econômica da atividade, uma vez que, acarreta em variabiliadade da produção de sorgo forrageiro.

- A introdução da irrigação no sistema produtivo acarreta em aumento do custo total da pecuária de corte, e, também, aumento na produção de massa secae estimativa de ganho de peso animal, estando os lucros relacionados com a distribuição das precipitações e com os

índices produtivos do rebanho em ganho médio de peso animal por dia.

- A irrigação por aspersão convencional na cultura do sorgo forrageiro se mostrou vantajosa e viável economicamente para a grande maioria dos cenários testados, caracterizando-se como uma excelente alternativa de aumento da lucratividade para o produtor pecuário.

- Os indicadores econômicos podem ser utilizados como ferramenta auxiliar na tomada de decisão de investimentos agrícolas, sendo que se mostraram eficientes na determinação da viabilidade econômica da irrigação para a bovinocultura de corte em sorgo forrageiro.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. **Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne**. Perfil da Pecuária no Brasil – Relatório Anual 2016. Disponível em http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf.

AFFÉRRI, A.; TRENTO, E.; PINTO, R. **Como fazer um plano diretor de irrigação de canaviais**. Projeto cana pede água, 2015.

AGUIAR, L. M. S.; MORAES, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Clima**. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed). **Cultivo do sorgo**. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2007. Acesso em: 8 jan. 2014.

AITA, V. **Utilização de diferentes pastagens de estação quente na recria de bovinos de corte**. Santa Maria, 102f. 1995. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ALENCAR, C. A. B. D.; CUNHA, F. F. D.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D. D. & ARAÚJO, R. A. S. **Irrigação de pastagem**: atualidade e recomendações para uso e manejo,2009.

ALI, M. H.; HOQUE, M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. **Agricultural water management**, v.92, p.151-161, 2007.

ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n.11, p. 1201–1213, 2008.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. ***Evapotranspiration del cultivo*: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALMEIDA, L. A. S. B., VIEIRA, M. C., GASPARINO FILHO, J., MORETTI, V. A, BICUDO NETO, L. C. Factibilidade econômica sob condições de riscos: análise de moinhos de milho para suplementação de farinha de trigo. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, n. 2, 1985.

ALMEIDA, V.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.;EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 11, n. 02, p. 256-273, 2018.

ÁLVARES, J. A. S.; HOLANDA Jr, E. V.; MELO, M. V. M.; MADALENA, F. E. **Produção de leite em pastagens irrigadas**. In: 3º ENCONTRO DE PRODUTORES DE F1 – JORNADA TÉCNICA SOBRE UTILIZAÇÃO DE F1 PARA PRODUÇÃO DE LEITE, 3., 2001, Juiz de Fora. Anais...p23 – 32. disponível.

ALVES FILHO, D.C. **Evolução do peso e desempenho anual de um rebanho de cria,**

constituído por fêmeas de diferentes grupos genéticos. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1995.131 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1995.

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.

AMARAL, S. R. et al. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 973-979, 2003.

ANDRADE, A. R. S.; MACHADO, C. B.; VILELA, E. L.; CAMÊLO, D. L.; SILVA, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um latossolo amarelo submetido à adubação orgânica. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, n. 4, v. 2, p. 137-151, 2011.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; ROCHA, T.; BOMBARDELLI, W. W. A.; BELTRAME, G. A.; BUENO, J. I. Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 248-259, 2016.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; TINOS, A. C.; BELTRAME, G. A.; DE ALMEIDA, J. V.; CUCO, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.

ARAGÃO, V. F.; FERNANDES, P. D.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M. de; FEITOSA, H. de O. FEITOSA, E. de O. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, p.207-216, 2012.

ARÊDES, A.F. et al. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia,** Anápolis, GO, v. 5, n. 1, p. 66-86, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Perfil da Pecuária no Brasil Relatório Anual 2016. Website. 2016. Disponível em: <http://www.assessoriaagropecuaria.com.br/anexo/88> Acessado em: 14/06/2017.

AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAUJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; BOMFIM, M. A. D.; RESTLE, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 208-215, 2011.

AZEVEDO, L. P. D.; SAAD, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. **Revista Irriga**, v. 14, n. 4, p. 492-503, 2009.

AZEVEDO, J. A. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília: EMBRAPA/CPCA, 1983. 53p. EMBRAPA/CPAC. (Circular Técnica, 16).

BARBERO, R. P.; BARBOSA, M. A. A. F.; CASTRO, L. M.; RIBEIRO, E. L. A.; MIZUBUTI, I. Y.; BUMBIERIS JÚNIOR, V. H.; SILVA, L. D. F.; MASSARO JUNIOR, F.

L. Performance of steers on pasture of Tanzania grass under four defoliation heights. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 2, p. 481-488, 2014.

BARBERO, R. P.; MALHEIROS, E. B.; ARAÚJO, T. L. R.; et al. Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. **Animal Feed Science and Technology**, Madrid, v.209, p.110-118, 2015.

BARONI, C. E. S.; LANA, R. P.; MANCIO, A. B.; MENDONÇA, B. P. C.; LEÃO, M. I.; SVERZUT, C. B. Consumo e digestibilidade de nutrientes em novilhos suplementados e terminados em pasto, na seca. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.62, n.2, p.365-372, 2010.

BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M.V.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; FARIA, R.T. Manejo econômico da irrigação de feijão-caupi via modelo de simulação. **Revista Irriga**, Botucatu, v.5, n.2, p.84-98, 2000.

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

BERTOSSI, A. P., MILEN, L. C., DE OLIVEIRA H, M., RODRIGUES, R. R., DOS REIS, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. **Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava- Nucleas**, Ituverava, v. *10*, n. 1, p. 125-134, 2013.

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. M. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.221-228, 2011.

BEZERRA, L. R.; de ARAÚJO, M. J.; MARQUES, C. A. T.; TORREÃO, J. N. da C; VAZ, R. R.; NETO, C. B. de O. Caracterização de propriedades agrícolas para pecuária de corte. **Revista Comunicata Scientiae**, v. 4, n.1, p. 75-84, 2013.

BIANCHINI, W.; SILVEIRA, A. C.; ARRIGONI, M. de B.; JORGE, A.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, E. Crescimento e características de carcaça de bovinos superprecoces Nelore, Simental e mestiços. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 3, p. 554-564, 2008.

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

BISERRA, J. V. Rentabilidade da irrigação pública no Nordeste, sob condições de risco: o caso do perímetro Morada Nova. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, n. 3, 1994.

BOND, G. B.; ALMEIDA, R.; OSTRENSKY, A.; MOLENTO C.F.M. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1286-1293, 2012.

BRONER B. I.; LAMBERT J. Optimal scheduling of irrigation machines. I: Model development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. Reston-VA, v. 115, n. 5, p. 862-879, 1989.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. de OLIVEIRA. "Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo." **Caderno de pesquisas em Administração**, v. 1, n.6, 1998.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.et al. (Eds.). **Estresses ambientais**: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005. Cap. 2, p. 95- 104.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre, PRONI-IPH-UFRGS, 1986. 216p.

CARVALHO, L. F. et al. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 185-192, 2000.

CARVALHO, P. C. F.; PRACHE, S.; DAMASCENO, J.C. O processo de pastejo: desafios da procura e apreensão da forragem pelo herbívoro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Anais..., 36,Porto Alegre-RS. 1999a. p. 253-268.

CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de; TAVARES, E. C. N. Comparação de custo de produção na atividade de pecuária de engorda nos principais países produtores de carne bovina. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SOBER, 2009.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 1, p. 501-546. 2005.

CASTRO, G.H.F.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R. M. Características produtivas, agronômicas e nutricionais do capim-tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.62, n. 3, p.654-666, 2010.

CASTRO JUNIOR, W. L.; DE 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. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n. 3, p. 406-418, 2015.

CAUDURO, F.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Proni/Iph-UFRGS, Porto Alegre-Rs, 1986.216 p.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. ... http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/.

CESAR, J. H. F.; ROCHA, F. A.; SILVA, A.M.; MELLO, C. R. Desempenho hidráulico e diâmetro de gotas de um canhão do tipo turbina. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 193-204, maio-jul. 2005.

COELHO, R. D.; FOLEGATTI, M. V. Influência do nível da tensão da mola na percentagem de água desviada e de energia absorvida em um aspersor de impacto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.170-174, 1998.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **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.

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

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

CORSI, M.; SILVA, S.C.; FARIA, V.P. Princípios de manejo do capim-elefante sob pastejo. **Informe Agropecuário**, v.19,n.192, p.36-43, 1998.

COSTA, V.A.C.; DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C.; CARVALHO, I.P.C.; MONTEIRO, L.P. Consumo e digestibilidade em bovinos em pastejo durante o período das águas sob suplementação com fontes de compostos nitrogenados e de carboidratos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.8, p.1788-1798, 2011.

CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P. D. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Piracicaba, v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010.

CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; PEREIRA, O. G.; LAMBERTUCCI, D. M.; ABREU, F. V. S. Características morfogênicas e perfilhamento do Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.628-635, 2007.

CUNHA, F.F.D.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, O. G.; ABREU, F. V. D. S. Produtividade de capim-tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum.Agronomy** (Impresso)[JCR], v. 30, p. 103-108, 2008.

CLARK, E.; J ACOBSON, K.; OLSON, D.C. Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação. Brasília : Ministério da Integração Nacional/Secretaria da Irrigação, 1993. (Manual de irrigação, 3).

da CRUZ, R. S.; ALEXANDRINO, E.; MISSIO, R. L.; RESTLE, J.; MELO, J. C.; de PAULA NETO, J. J.; NEIVA, J. N. M.; MENDES FILHO, G. de O.; de SOUZA JÚNIOR, A.; DUARTE, T. D.; de REZENDE, J. M.; SILVA, A. A. M. Desempenho bioeconômico de tourinhos alimentados com níveis de concentrado e farelo do mesocarpo de babaçu. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2159-2174, 2014.

DALEY, C. A.; ABBOTT, A.; DOYLE, P. S.; NADER, G. A.; LARSON, S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 10, 2010.

da ROCHA, M. G.; RESTLE, J.; PILAU, A.; dos SANTOS, D. T. Produção animal e retorno econômico da suplementação em pastagem de aveia e azevém. animal e retorno econômico da suplementação em pastagem de aveia e azevém. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 573-578, 2003.

da SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET).

Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.931-936, 2005.

da SILVA, S. C.; JÚNIOR, D.N.; EUCLIDES, V.P.B. **Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo.** 1. ed. Viçosa: Suprema, 2008. 115 p.

da SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. In: Simpósio sobre Ecossistemas de Pastagens, 3., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal : FUNEP, 1997., p. 1-62.

DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DANTAS, G de F.; LIMA G. F. da C.; MOTA E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**. Piracicaba, v. 3 n. 1, p. 59-74, 2017.

de ARÊDES, A. F.; de OLIVEIRA, B. V.; RODRIGUES, R. M. Viabilidade econômica da tomaticultura em Campos dos Goytacazes. **Revista PerspectivasOnLine**, , *v*. 4, n. 16, p. 2007-2010, 2014.

de AZEVEDO, L. P.; SAAD, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 492-503, 2009.

de SOUZA, P. G. R.; VIANA, T. V. de A; de CARVALHO, C. M.; de SOUSA, A. M.; COSTA, C. P. de M; de AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.4, p. 1528 - 1537, 2017.

DETMANN, E. et al. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiço em pastejo durante época seca: desempenho produtivo e característica de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.169-180, jan./fev. 2004.

DIAS FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.243-252, 2011.

DRUMOND, L. C. D. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85**. 2003, 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. A. "**Irrigação de pastagens**." *Uberaba: FAZU* (2005).

DOURADO-NETO, D., et al. **Manejo da irrigação de pastagens**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 19º Piracicaba. Anais do 19º Simpósio sobre Manejo de Pastagens. Piracaba: FEALQ. p.189-26, 2002.

El NAIM, A. M.; AHMED, M. F.; IBRAHIM, K. A. Effect of Irrigation and Cultivar on Seed Yield, Yield's Components and Harvest Index of Sesame (*Sesamum indicum* L.). **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 6, n. 4, p. 492-497, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. p. 230.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1979. 235 p.

ESPERANCINI, M. S.T.; PAES, A. R. Análise de investimentos da produção de café nos sistemas irrigado e convencional, na região de Botucatu, estado de São Paulo. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v.35, n.4, 2005.

ESTANISLAU, M.L.L.; CANÇADO Jr., F.L. Aspectos econômicos da pecuária de corte. **Informe Agropecuário**, v.21, n.205, p. 5-16, 2000.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; DEMÉTRIOS, C. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 2, n .1, p. 187-190, 2009.

FARIA, L. C.; PRADO, G. D.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. D.; BESKOW, S. Simulação da distribuição de água em diferentes condições de vento e espaçamentos entre aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.918–925, 2013.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. R.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 19-27, 2009.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricult Water Management**, v. 83, p. 135–143, 2006.

FARSUL. In: **A importância e desafios da agricultura na economia Regional:** A agricultura é importante para o crescimento e desenvolvimento econômico ou é apenas fornecedora de alimentos?, 2015. Disponível em: http://www.farsul.org.br/arquivos/estudo_competitividade.pdf. Porto Alegre: Sistema FARSUL. 2018.

FERNANDES, L.B.; FRANZOLIN, R.; FRANCO, A.V.M.; CARVALHO, G. Aditivos orgânicos no suplemento concentrado de bovinos de corte mantidos em pastagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.2, p.231-238, 2008.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A.C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v.3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERRAZ, R. D. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188,

2012.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

FIGUEIREDO, A. M.; dos SANTOS, P. A.; SANTOLIN, R.; REIS, B. dos S. Integração na criação de frangos de corte na microrregião de Viçosa – MG: viabilidade econômica e análise de risco. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 713 730, 2006.

FIGUEIREDO, D. M.; de OLIVEIRA, A. S.; SALES, M. F. L.; PAULINO, M. F.; do VALE, S. M. L. R. Análise econômica de quatro estratégias de suplementação para recria e engorda de bovinos em sistema pasto-suplemento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1443-1453, 2007.

FIGUEIREDO, M. G. et al. "Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n.1, p. 81-87, 2008.

FREIRE, J. L. de O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. T.; DIAS, T. J.; SOUTO, A. G. de L. Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p.82- 91, 2011.

FRIZZONE, J. A. "Funções de resposta das culturas à irrigação." *Piracicaba: Esalq* (1993).

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

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. de S.; de SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. **Planejamento da irrigação:** Análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626p. ISBN: 85-7383-308-4

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

GARGANTINI, P.E. **Irrigação e adubação nitrogenada em capim mombaça na região oeste do estado de São Paulo**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Teresina. Anais do 15º Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Viçosa: ABID, 2005. (CD-ROM).

GAROFALO, P.; RINALDI, M. Water use efficiency of irrigated biomass sorghum in a Mediterranean environment. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 4, p. 1153–1169, 2013.

GERBER, P.; KEY, N.; PORTET, F.; STEINFELD, H. Policy options in addressing livestock's contribution to climate change. **Animal**, Clermont-Theix, v. 4, n. 3, p. 393-406, 2010.

GLIENKE, C. L. **Estudo da recria de novilhas em corte em pastagens cultivadas de verão**. 2012, 131 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; MACHADO, M.A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partícula do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, 36:664-668, 2006.

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002.

HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C.; ANCHÃO, P.P.O. et al. Manejo do pasto com vistas a maximizar a produção de ruminantes. In. VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES. **Anais**... Jaboticabal. Funep, 2005. p.125-158.

HONG-BO; S.; CHU, L.Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p. 215– 225. 2008.

IGLESIAS, E; GARRIDO, A; GÓMES-RAMOS, A. Evaluation of drought management in irrigated áreas. **Agricultural Economics**, v. 29, n.2, p. 211-229, 2003.

JOBIM, C. I. P. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos: aplicação ao feijão irrigado no RS**. 2007. 138f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009, 452 p.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**. Nairóbi, v. 12, n. 2, p. 111-124, 2017. :

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BEN, L. H. B.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D. Productivity and efficiency in the use of water in different irrigation depths in forage sorghum in dynamic of cuts. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 359-379, 2018.

KLEIN, C.; KLEIN,V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p.3915-3925, 2014.

KOETZ, M.; COELHO, G.; COSTA, C. C. DA; LIMA, E. P.; SOUZA, R. J. de. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface americana em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006.

KRAMER, P.J.; BOYER, M. **Water relations of plants and soils**. New York. Ed. Macgraw-Hill, 1995, 482 p.

KRAMER, P. J. Water relations of plants. New York: **Academic Press**, 1983, 489 p.

LARCHER, W. Gas exchange in plants. In: **Physiological plant ecology**. 3rd edition. p. 74-128. Berlin: Springer,1995.

LECOEUR, J. & SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**. v. 36, p. 331-335, 1996.

LIRA. M. de A.; ARAÚJO, M.R.A. de; MACIEL, G.A.; LEIMING, G. Comportamento de novas progênies de sorgo forrageiro para o semi-árido de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 11, p. 1239- 1246, 1988.

LOPES, M. A.; CARVALHO, F. M. 2000. Custo de produção de gado de corte. Fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão 23.

LOPES, M. A.; LIMA, A. L. R.; CARVALHO, F. M. Controle gerencial e estudo da rentabilidade de sistemas de produção de leite na região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n.4, p. 234-247, 2004.

MACHADO, L.A.Z.; FABRICIO, A.C.; GOMES, A.; ASSIS, P.G.G.; LEMPP, B.; MARASCHIN, G.E. Desempenho de animais alimentados com lâminas foliares, em pastagem de capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1609-1616, 2008.

MAGALHÃES, J. A.; CARNEIRO, M. D. S.; ANDRADE, A. C.; PEREIRA, E. S.; DE ANDRADE, A. P.; BAKKE, O. A.; RODRIGUES, B. H. N.; MOCHEL FILHO, W. de J. E.; COSTA, N. D. L. Características morfogênicas e estruturais do capim-andropogon sob irrigação e adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2427-2436, 2013.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 87).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Ecofisiologia. Cultivo do Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2. Versão Eletrônica – 4. ed. Set. 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46p. (Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica, 3).

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, n. 1-2, p. 84-91, 2009.

MANETTI FILHO, J.; de OLIVEIRA, C. M. G.; CARAMORI, P. H.; NAGASHIMA, G. T.; HERNANDEZ, F. B. T. Cold tolerance of forage plant species, **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 1469-1476, 2018.

MANNOCCHI B. F.; MECARELLI P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston-VA, v. 120, n. 3, p. 484-503.

1994.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355 p.

MANTOVANI, E. C.; ZAMBOLIM, L.; OLIVEIRA, D.S.; SEDIYAMA, G. C.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata sob diferentes regimes de irrigação por aspersão convencional. **Horticultura Brasileira** (Impresso)[JCR], v. 31, p. 527-532, 2013.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum**. v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.

MARTIN, D. L.; GILLEY, J. R.; SUPALLA, R. J. Evaluation of Irrigation Planning Decisions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston – VA, v. 115, n. 1, p. 58-77, 1989.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GRACIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (Zea mays L.). **Revista Idesia**, v. 29, n. 3. p. 65-74, 2011.

MARTINS, J. D.; PETRY, M. T.; RODRIGUES, G. C; CARLESSO, R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 150 – 165, 2016.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas para hortaliças**. 2 Ed. Circular técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; PERES, F. C. Uso da árvore de decisão na escolha da lâmina de irrigação da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Ilha Solteira, Estado de São Paulo. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 321-327, 2004.

MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; ALEXIOU, A.; HALL, D. O. The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. **Plant Physiology, Bethesda**, v. 96, p. 198-207, 1991.

MATOS, C. M. **Viabilidade e análise de risco de projetos de irrigação:** estudo de caso do Projeto Jequitaí (MG). 2002. 142 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

MATTOS, Z. P. B. **Contabilidade financeira rural**. São Paulo: Atlas, 1999. 196 p.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, p.225- 241, 1995.

MCCLUSKEY, J. J.; GRIMSRUD, K. M.; OUCHI, H.; WAHL, T. I. 'Bovine spongiform encephalopathy in Japan: Consumers' food safety perceptions and willingness to pay for tested beef', **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, V. 49, p. 197–

209, 2005.

MELO, D. **Avaliação de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) e milheto (Pennisetum glaucum (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo**. 59f. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 59 p. Dissertação Mestrado.

MENESES, C. H. S. G; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; VIDAL, M. S. Revisão: aspectos genéticos e moleculares de plantas 72 submetidas ao deficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande. v. 10, n. 1/2, p 1039-1072, 2006.

MINGARDO, M. **Irrigação: Água para garantir bom pasto**. 2005. Disponível em: revistarural.com.br/Edicoes/2005/artigos/rev90_pastagem.htm . Postado em: agosto de 2005.

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

MONTAGNER D. B.; ROCHA M. G. da; SANTOS D. T. dos; GENRO T. C. M.; QUADROS F. L. F. de; ROMAN J.; POTTER L.; BREMM C. Manejo da pastagem de milheto para recria novilhas de corte. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.38, n.8, p. 2293-2299, nov, 2008.

MORAES, A., MARASCHIN, G.E. Pressões de pastejo e produção animal em milheto cv. comum. **Pesquisa Agropecuária Brasilera**., v. 23, n. 2, p. 197-205. 1988.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A.M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

MOREIRA, C. D. A.; PEREIRA, D. H.; COIMBRA, R. A.; MOREIRA, I. D. A. Germinação de Gramíneas Forrageiras em Função da Inoculação de Bactérias Diazotróficas. **Scientific Electronic Archives**, v. 6, p. 90-96, 2014.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul. Secretária da Agricultura**, Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirement of beef cattle**. 6.ed. Washington, National Academy Press, 1966. 90 p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I.L. Efeito do tamanho da partícula e do tipo de silo sobre o valor nutritivo da silagem de sorgo (Sorghum bicolor, L. Moench). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.224-242, 2005.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NORNBERG, J.; OLlBONI, R; PELLEGRINI, L. G. de; FARIA, M. V.; OLIVEIRA, M. R Efeito associativo do espaçamento entre linhas de plantio, densidade de plantas e idade sobre o desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 2, p. 165-181,2008.

NIED, A. H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. 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.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. 2 ed. São Paulo, Atlas, 1987. 269p.

NORONHA, J. F., LATAPIA, M. X. L. C. Custos de produção agrícola sob condições de risco no Estado de São Paulo. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, n.3, 1988.

NURENBERG, K.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; VOIGT, J.; SCOLLAN, N. D.; WOOD, J. D.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, n. 1-2, p. 137-147, 2005.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; NETO, D. E. S.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açucar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, V. D. S.; MORAIS, J. A. D. S.; FAGUNDES, J. L.; LIMA, I. G. S.; SANTANA, J. C. S.; DOS SANTOS, C. B. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.*26, n.* 1, p. 1-10, 2016.

OLIVO, C. J.; MEINERZ, G. R.; AGNOLIN, C. A.; STEINWANDTER, E.; ZIECH, M. F.; SKONIESKI, F. R. Produção de forragem e carga animal de pastagens de Coastcross sobressemeadas com forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n.1, p. 68-73, 2010.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, p.71-81, 1987.

PACHECO, R. P. et al. Características produtivas de pastagens de milheto ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para o abate. **Ciência animal brasileira**, v. 15, n. 3, p. 266 – 276, 2014.

PAIVA, R & OLIVEIRA, L.M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104 p.

PARDO, R. M. P.; FISCHER, V.; BALBINOTTI, M.; MORENO, C. B.; FERREIRA, E. X.; VINHAS, R. I.; MONKS, P. L. Comportamento ingestivo diurno de novilhos em pastejo submetidos a níveis crescentes de suplementação energética. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n.6, p. 1408-1418, 2003.

PALIERAQUI, J. G. B.; FONTES, C. A. A.; RIBEIRO, E. G.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; FERNANDES, A. M. Influência da irrigação sobrea disponibilidade, a composição química, a digestibilidade e o consumo dos capins Mombaça e Napier. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.6, p.2381-2387, 2006.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; RAMAO, C.; CALEGARO, I.; PEITER, M. X. Efeito de diferentes estratégias de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, p. 254- 269, 2009.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S.; JOSÉ, J.V.; Situação da agricultura irrigada no brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p.163-176, 2011.

PAULINO, M.F.; FIGUEIREDO, D.M.; MORAES, E.H.B.K. et al. Suplementação de Bovinos em pastagens: uma visão sistêmica. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 4., 2004, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.93-144.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições edafoclimáticas para produção de Cynodon spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 85-114.

PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações de água disponível no solo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 26, n.1, p. 51-55, 1996.

PEREIRA, L. R., DE SOUZA, J. M., DA MATTA RAFAEL, A., DA CRUZ, E. A., DAS GRAÇAS TEIXEIRA, A., & DOS REIS, E. F.. Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 156-161, 2016.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de Eucalyptus sp. w. (hill ex. maiden) submetidos a diferentes níveis de água no solo**. 69 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 2006.

PEREIRA, R. M., JÚNIOR, J. A., 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**, v. 1, n. 2, p. 149-157, 2015.

PEREIRA, W. A. ALMEIDA, L.S. Método Manual para Cálculo da Taxa Interna de Retorno. **Revista Objetiva**, Rio Verde, p. 38 - 50. 2008.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 1991.

PIMENTEL, R. M.; BAYÃO, G. F. V.; LELIS, D. L.; SILVA, A. J. C.; SALDARRIAGA, F. V.; MELO, C. C. V.; MIRANDA, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **PUBVET**, Maringá, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2016.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola superior de agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

PINTO, C. E.; FONTOURA JÚNIOR, J. A. S.; FRIZZO, A.; FREITAS, T. M. S.;

NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F.. Produções primária e secundária de uma pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul submetida a diversas ofertas de fitomassa aérea total. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1737-1741, 2008.

POMPEU R. C. F. F.; ANDRADE I. R. A. de; SOUZA H. A. de; GUEDES F. L.; OLIVEIRA L. S. TONUCCI R. G.; MARTINS E. C.; **Produtividade e Custos de Produção de Silagem para Alimentação de Ovinos a Partir de Sorgo, Milheto e Girassol - Safra 2013**. Circular Técnica 44. EMBRAPA. Sobral. 2014.

POLAQUINI, L. E. M., SOUZA, J. G., GEBARA, J. G. Transformações técnico-podutivas e comerciais na pecuária de corte brasileira a partir da década de 90. **Revista Brasileira de Zootecnia** v. 35, p. 321-327, 2006.

PORTAL PLANALTO. In: **Responsável por 23% do PIB, Plano Safra impulsiona agropecuária**. Brasil: Palácio do Planalto Presidência da República, 2015. Disponível em: http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/06/responsavel-por-23-do-pib-plano-safra-impulsiona-agropecuaria. Acesso em 10 ago. 2015.

PORTES, M. T.; ALVES. T. H.; SOUZA, G. M. Water deficit affects photosynthetic induction in Bauhinia forficata Link (Fabaceae) and Esenbeckia leiocarpa Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 4, p. 491-512, 2006.

PÖTTER, L.; LOBATO, J. F. P.; MIELITZ NETTO, C. G. A. Análises econômicas de modelos de produção com novilhas de corte primíparas aos dois, três e quatro anos de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.861-870, 1998.

PRACHE S. Developing a diet authentication system from the composition of milk and meat in sheep: A review. **Journal Agricultural Science**, v. 145, p.435–444, 2007.

PRADO, I. N. D. ; MOREIRA, F. B. ; NASCIMENTO, W. G. Desempenho de Bovinos em Crescimento e Terminação Mantidos em Pastagem Durante o Verão e Suplementasdos com Sal Proteinado. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n.4, p. 1059-1064, 2002.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. dos S.; de LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.3, p.277-283, 2004.

RAUPP, F. M.; FUGANTI, E. N. Gerenciamento de custos na pecuária de corte: um comparativo entre a engorda de bovinos em pastagens e em confinamento. **Revista Custos e @gronegócios**, v. 10, n. 3, 2014.

RADIN , B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v,9, n. 1-2, p. 7 – 16, 2003.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RESENDE FILHO, M. de A., BRAGA, M. J.; RODRIGUES, R. V. Sistemas de Terminação

em Confinamento: Perspectivas para Dinamização da Cadeia Produtiva da Carne Bovina em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Economia**, v. 55, n.1, p. 107-131, 2001.

RESTLE, J., LUPATINI, G.C., ROSO, C. et al. Eficiência e desempenho de diferentes categorias de bovinos de corte em pastagem cultivada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 2, p.397-404, 1998.

RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V.; NORNBERG, J. L.; BRONDANI, I. V.; CERDÓTES, L.; CARRILHO, C. de O. Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n. 3, p. 1491-1500, 2002.

RESTLE, J.; VAZ, F.N.; ALVES FILHO, D.C. et al. Efeito da suplementação energética sobre a carcaça de vacas de diferentes idades, terminados em pastagem cultivada de estação fria sob pastejo horário. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.1076-1083, 2001.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais.** Viçosa: Editora UFV, 2001. 389 p.

RIBAS, M. N.; MACHADO, F. S. Produção de forragem utilizando híbridos de sorgo com capim Sudão (S. bicolor x S. sudanense). **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição set, 2010.

ROCHA, M.G.; RESTLE, J.; PILAU, A. et al. Produção animal e retorno econômico da suplementação em pastagem de aveia e azevém. **Ciência Rural**, v.33, n.3, p.85-93, 2003.

RODRIGUES, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (Sorghum bicolor x Sorghum sudanense) sob condições de corte e pastejo. In: Simpósio de forragicultura e pastagens: temas em evidência. **Anais**... Lavras: UFLA, 2000. p.179-201.

RODRIGUES, P. H. M.; SENATORE, A. N.; ANDRADE, S. J. T.; RUZANTE, J. M.; LUCCI, C. S.; LIMA, F. R. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, V.31, n. 6,p.2373-2379,2002.

RUBIANO, G. A. G.; ARRIGONI, M. de B.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, E.; GONÇALVES, H. C.; ANGERAMI, C. N. Desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos superprecoces das raças Canchim, Nelore e seus mestiços. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n.12, p. 2490-2498, 2009.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. da S. Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 196-206, 2014.

SANTOS, L. L.; GOMES FILHO, A.; LEANDRO, R. I.; CARVALHO, F. M.; GOMES, P. L.; SOARES, A. S. Desempenho agronômico de variedades de feijão-caupi produzidas em regime irrigado e sob déficit hídrico no semiárido mineiro. ***AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES*** , v. 2, n.1, p. 1-14, 2016.

SANTOS, N. L.; AZENHA, M. V.; SOUZA, F. H. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. G. Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais. **Enciclopédia Biosfera,**

Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.13, 2011.

SANTOS, N. L.; da SILVA, M. W. R.; CHAVES, M. A. Efeito da irrigação suplementar sobre a produção dos capins tifton 85, tanzânia e marandu no período de verão no sudoeste baiano. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 911-922, 2008.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SARMENTO, J. L. R.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, M. N.; MARTINS FILHO, R. Efeitos ambientais e genéticos sobre o ganho de peso diário de bovinos Nelore no estado da Paraíba, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 2, p. 325-330, 2003.

SBRISSIA, A.F.; SILVA, S.C. da. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: MATTOS, W.R.S. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: SBZ, 2001. p.731-753.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ECHEVERRIA, J. R.; MIQUELOTO, T., BERNARDON, A.; AMÉRICO, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. *25*, n. 1,p. 47 -60, 2017.

SEIBERT et al. **Estudo de viabilidade econômico–financeira para implantação de uma estufa hidropônica em uma propriedade rural no interior de santo ângelo – rs**. IESA, Santo Ângelo-RS. 2013.

SHIROTA, R., SILVA, R. D.M., LIMA, R.A.S, NEVES, E. M. A técnica de simulação aplicada à avaliação econômica de matriz de duas linhagens de frango de corte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, n. 1, 1987.

Sigmaplot. For Windows, version 11.0. Systat software, 2008.

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**, v.7, n.1, p.34-74, 2003.

SILVA, L. B. & FREITAS, H.M.B. Texto Acadêmico - **Os Vegetais e a Água**. UFBA / Projeto Qualibio, Salvador, 1998. Disponível em: http://www.qualibio.ufba.br/012.html.

SILVA, M. L. O.; DE FARIA, M. A.; REIS, R. P.; DE 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, 2007.

SILVA, S. R. S.; DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. D. A.; CASALI, V. W. D.; NASCIMENTO, E. A.; PINHEIRO, A. L. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de Melaleuca alternifolia Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363- 1368, nov./dez. 2002.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W.A. **Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em**

ambientes protegidos. In: FARIA, M.A. (Coord.).Manejo de irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.311-48.

SILVEIRA, V. C. P.; VELHO, J. P.; VARGAS, A. F. C.; GENRO, T. C. M; VELHO, I. M. P. H. Parâmetros nutricionais da pastagem natural em diferentes tipos de solos na APA do Ibirapuitã, Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v. 36, n.6, p.1896-1901, 2006.

SIQUEIRA, M. de M. "Eficácia da administração pública: imposição democrática. **Revista de Administração de Empresas**, v. 30, n. 1, p. 65-72, 1990.

SOARES, A. B.; CARVALHO, P. C. de F.; NABINGER, C.; SEMMELMANN, C.; da TRINDADE, J. K.; GUERRA, E.; de FREITAS, T. S.; PINTO, C. E.; FONTOURA JÚNIOR, J. A.; FRIZZO, A. Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n. 5, p. 1148-1154, 2005.

SOARES, J. C. R.; BARCELLOS, J. O. J.; QUEIROZ FILHO, L. A. V.; OAIGEN, R. P.; CANOZZI, M. E. A.; CAMARGO, C. M.; DRUMOND, L. C. D.; BRACCINI NETO, J. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada**. Brazilian Journal of veterinary and Animal Sciences**, v. 67, n. 4, p. 1096-1104, 2015.

SOUSA, V. F. de; COÊLHO, E. F.; FIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; OLIVEIRA, F. das C. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes freqüências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.183-188, 2000.

SOUSSANA, J.F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, Clermont-Theix, v. 4, n.3, p. 334-350, 2010.

SOUZA, L. S. B; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, p.715-721, 2011.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E. D.; OLIVEIRA, C.; MACHADO, D.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B. D.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, p.102-107, 2013.

TATAGIBA, S. D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

TORRES, R. R. **Resposta da irrigação na produção de forragem de milheto**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2018.

TRINDADE, JUNIOR. G.; SILVA, R. R.; CARVALHO, G. G. P.; DA SILVA, F. F.; NEGRÃO, J. A.; BARROSO, D. S.; DIAS, D. L. S.; COSTA, P. B. Ganho compensatório de novilhas mestiças suplementadas em pastagens sob avaliação do perfil hormonal e parâmetros sanguíneos. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 36, n. 3, p. 1481-1494, 2015.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. B. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Revista Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte**, Barbacena, v.3, p. 181-195, 2013.

VAUX, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water production functions. **Advances in irrigation**, v. 2, n.1, p. 61-95, 1983.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; MONTES, D. R. P.; da CUNHA, F. F. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.19, n.1, p. 53-61, 2011.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JÚNIOR, J. A.;CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Revista Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

VITOR, C. M. T., FONSECA, D. D., CÓSER, A. C., MARTINS, C. E., NASCIMENTO JÚNIOR, D., & RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. *38, n.* 3, p. 435-442, 2009.

VIVAN, G. A. Simulação dinâmica da soja, milho e feijão, cultivadas sob diferentes regimes hídricos. 2014. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Revista Bragantia**, v.66, n.2, p.235-245, 2007.

WAGNER, M.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p. 170-179, 2013.

WANI, S. P.; ALBRIZIO, R.; VAJJA, N.R. **Sorghum**. In: Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Raes D (eds) Crop yield response to water. FAO Irrig Drain Pap 66, Rome, 500 pp, 2012.

XAVIER, A. C.; LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D. Modelo matemático para manejo da irrigação por tensiometria em pastagem *Panicum maximum* Jacq. rotacionada sob pivô central. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. **Anais**... Piracicaba: SBZ, p. 249-250, 2001.

ZAMBERLAN, J. F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; FERRAZ, R. C.; NUNES, M. dos S. Análise de benefício – custo levando-se em consideração os custos da água de irrigação

para o arroz. **Revista TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p.100-104, 2011.

ZHANG, G.; XIE, C.; HAOJIELAI, H.; LI, X. Buried Lifting Sprinkling Irrigation Device. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 144, n.1, 2018.

ZWIRTES, A. L. **Características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 96 p. Dissertação Mestrado.