

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

Elton Pilar Medeiros

**DESEMPENHO PRODUTIVO, RETORNO FINANCEIRO E
ECONÔMICO DO TIFTON 85 IRRIGADO**

Santa Maria, RS
2021

Elton Pilar Medeiros

**DESEMPENHO PRODUTIVO, RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO DO
TIFTON 85 IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS
2021

Ficha Catalográfica elaborada através do Programa de geração Automática da Biblioteca Central da UFSM

Medeiros, Elton Pilar
Desempenho produtivo, retorno financeiro e econômico
do tifton 85 irrigado / Elton Pilar Medeiros.- 2021.
100 p.; 30 cm

Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Coorientadora: Marcia Xavier Peiter
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Tifton 85 (Cynodon spp.) 2. irrigação 3. funções de
produção 4. análise econômico-financeira I. Dias Robaina,
Adroaldo II. Xavier Peiter, Marcia 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.

©2021

Todos os direitos autorais reservados a Elton Pilar Medeiros. A reprodução do todo ou de partes deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte

Elton Pilar Medeiros

**DESEMPENHO PRODUTIVO, RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO DO
TIFTON 85 IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 31 de março de 2021:

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

Márcia Xavier Peiter, Dr^a. (UFSM) - Parecer
(Coorientadora)

Ana Rita Costenaro Parizi, Dr^a. (IFFar) - Parecer

Jardel Henrique Kirchner Dr. (IFRS) - Parecer

Santa Maria/RS
2021

RESUMO

DESEMPENHO PRODUTIVO, RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO DO TIFTON 85 IRRIGADO

AUTOR: Elton Pilar Medeiros

ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

O Tifton 85 (*Cynodon* spp.), é uma excelente forrageira para a intensificação da produção pecuária no Rio Grande do Sul. Entretanto, ocorrem invariavelmente perdas produtivas relacionadas ao déficit hídrico em períodos de estiagem, assim a irrigação é uma alternativa para a obtenção do máximo potencial produtivo. Contudo, a irrigação suplementar de pastagens deve ser uma técnica economicamente viável e ter máxima eficiência. Objetivou-se, mensurar o efeito do manejo da irrigação sobre a produtividade, qualidade, eficiência de uso da água e retorno econômico-financeiro do capim Tifton 85. O experimento foi conduzido em uma área de pastagem cultivada com Tifton 85, já implantado e estabelecido, a qual é dividida em piquetes onde os animais realizam pastejo rotacionado, localizada no município de São Francisco de Assis, RS. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro blocos e seis tratamentos de irrigação, sendo estes de 0%; 25%; 50%; 75%; 100% e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o) e com turno de rega fixo de 7 dias, quando a precipitação pluvial não supriu a demanda da cultura. Foram realizadas avaliações dos parâmetros biométricos de produção de massa de forragem altura de plantas, índice de área foliar, relação folha/colmo e proteína bruta. Além disso, foram realizadas avaliações da eficiência de uso da água pelas plantas (EUA) e do retorno financeiro e econômico. Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software SISVAR[®]. Após a realização da ANOVA, a análise de regressão foi realizada com o auxílio do software SigmaPlot[®] 11.0. A irrigação promoveu um aumento médio de 22,95%, 36,95%, 44,24%, 50,18% e 52,24% na produtividade de massa de forragem do capim Tifton 85 para as lâminas de 25, 50, 75, 100 e 125% da ET_o, respectivamente, para os seis ciclos avaliados. A eficiência no uso da água, apresentou relação inversa ao aumento da lâmina de irrigação. Com a maior eficiência de uso da água média na lâmina de 25% da ET_o. Na lâmina de 75% da ET_o foram obtidos os maiores teores de proteína bruta na planta, totalizando um aumento médio de 20,22% em relação ao tratamento sem irrigação. O uso da irrigação com diferentes lâminas influenciou na variação do índice de área foliar e altura de plantas positivamente, conforme o aumento da lâmina de irrigação até a máxima eficiência técnica nos ciclos de pastejo onde a irrigação foi a principal fonte de água para a cultura, não afetando a relação folha/colmo. O retorno financeiro e a relação benefício/custo para todos os cenários de ganho médio de peso animal tiveram aumento conforme o aumento da lâmina aplicada, sendo que a maior lâmina irrigação (125% ET_o) apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave: *Cynodon* spp.. influência da irrigação. máxima eficiência técnica. aspectos produtivos. valor de produção.

ABSTRACT

PRODUCTIVE PERFORMANCE, FINANCIAL AND ECONOMIC RETURN OF THE IRRIGATED TIFTON 85

AUTHOR: Elton Pilar Medeiros
ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

Tifton 85 (*Cynodon* spp.), is an excellent forage for the intensification of livestock production in Rio Grande do Sul. However, there are invariably losses in production related to water deficit in periods of drought, so irrigation is an alternative to obtain the maximum productive potential. However, supplementary irrigation of pastures must be an economically viable technique and have maximum efficiency. The objective was to measure the effect of irrigation management on productivity, quality, water use efficiency and economic and financial return of Tifton 85 grass. The experiment was conducted in a pasture area cultivated with Tifton 85, already implanted and established, which is divided into paddocks where the animals perform rotational grazing, located in the municipality of São Francisco de Assis, RS. The experimental design was in randomized blocks, total of four blocks and six treatments, with the irrigation depths being 0%; 25%; 50%; 75%; 100% and 125% based on the reference evapotranspiration (ET_o) and with a fixed irrigation shift of 7 days, when the rainfall did not supply the crop demand. Evaluations of biometric parameters of forage mass production (MF), plant height, leaf area index, leaf / stem ratio and crude protein (PB) were carried out. In addition, evaluations were made of the efficiency of water use by plants (USA) and of the financial and economic return. The treatments were subjected to analysis of variance (ANOVA), at the level of 5% probability of error, with the help of the SISVAR® software. After the ANOVA, the regression analysis was performed with the aid of the SigmaPlot® 11.0 software. Irrigation promoted an average increase of 22.95%, 36.95%, 44.24%, 50.18% and 52.24% in the forage mass productivity of Tifton 85 grass for 25, 50, 75 depths, 100 and 125% of ET_o respectively for the six cycles evaluated. The efficiency in the use of water, showed an inverse relation to the increase of the irrigation depth. With the highest efficiency of use of the average water in the depth of 25% of the ET_o. In the depth of 75% of ET_o, the highest levels of crude protein in the plant were obtained, totaling an average increase of 20.22% in relation to the treatment without irrigation. The use of irrigation with different depths influenced the variation in leaf area and plant height positively, as the irrigation depth increased to the maximum technical efficiency in grazing cycles where irrigation was the main source of water for the crop, no affecting the leaf/stem ratio. The financial return and the benefit/cost ratio for all scenarios of average animal weight gain increased with the increase in the applied depth, with the largest irrigation depth (125% ET_o) having the best results.

Keywords: *Cynodon* spp.. irrigation influence. maximum technical efficiency. productive aspects. production value.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

- Figura 1 – Localização da área experimental situada na chácara do Pinheiro, no 2º distrito do município de São Francisco de Assis, região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul..... 23
- Figura 2 – Distribuição espacial da lâmina precipitada pelo sistema nos setores (a) e valores de taxa de aplicação, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) (b)..... 26
- Figura 3 – Evapotranspiração de referência (ET_o), precipitação efetiva durante os ciclos de pastejo..... 27
- Figura 4 – Curva de retenção de água no solo nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo..... 31
- Figura 5 – Amostras em processo de digestão (A) e amostras em processo de destilação de nitrogênio (B)..... 34
- Figura 6 – Determinação da altura de plantas..... 35
- Figura 7 – Separação das frações colmo, folhas e material morto (A); das lâminas foliares e régua graduada para determinação da área foliar com o programa ImageJ® (B). 36

ARTIGO 1

- Figura 1 – Evapotranspiração de referência (ET_o), precipitação efetiva durante os ciclos de pastejo..... 46
- Figura 2 – Precipitação efetiva e lâminas de irrigação aplicadas durante os ciclos de pastejo. 49
- Figura 3.– Função de produção de forragem em função da lâmina de irrigação e máxima eficiência técnica MET)..... 50
- Figura 4.– Altura média de plantas da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ET_o), ao longo dos ciclos de pastejo..... 51
- Figura 5.– Índice de área foliar da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ET_o), ao longo dos ciclos de pastejo..... 52

Figura 6.– Relação folha/colmo da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.....	54
Figura 7.– Proteína bruta da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.....	55
Figura 8 – Eficiência de uso da água em função da lâmina de irrigação.....	57

ARTIGO 2

Figura 1 – Evapotranspiração de referência (ETo), precipitação efetiva e lâminas de irrigação aplicadas durante os ciclos de 2019 e de 2020.....	72
Figura 2 – Função de produção de massa de forragem (MF) do Tifton 85 submetido a diferentes lâminas de irrigação e máxima eficiência técnica (MET), nos ciclos de 2019 e de 2020.....	74

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do solo nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo.....	29
Tabela 2 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), água drenável (Adren), água disponível (Adisp), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo.....	30
Tabela 3 – Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo.....	31
Tabela 4 – Propriedades químicas do solo.....	32

ARTIGO 2

Tabela 1 – Massa de forragem (kg ha^{-1}) da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da E_{To}), nos ciclos de 2019 e de 2020.....	73
Tabela 2 – Produção média de massa de forragem sob diferentes lâminas de irrigação convertida para carga animal por hectare, com as respectivas simulações de ganhos de peso, para ambos os ciclos.....	76
Tabela 3 – Componentes dos custos dos sistemas de produção, nos dois ciclos para as lâminas de irrigação testadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % E_{To}) nos ciclos de 2019 e de 2020.....	77
Tabela 4 – Ganho de peso diário (GPD), receita bruta (RB), custo total (CT), receita líquida (RL) e relação benefício/custo (B/C) sob diferentes lâminas de irrigação nos ciclos de 2019 e de 2020.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	PASTAGENS NO BIOMA PAMPA	14
3.2	EFEITO DOS SISTEMAS DE PASTEJO NA QUALIDADE DAS PASTAGENS.....	15
3.3	CARACTERÍSTICAS DO TIFTON 85.....	16
3.4	IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS EM REGIÕES DE CLIMA SUBTROPICAL	17
3.4.1	Tecnologias paralelas à irrigação	18
3.5	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.....	19
3.6	VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO	20
4	METODOLOGIA	23
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	23
4.3	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E MANEJO	24
4.4	PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO	27
4.5	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	32
4.6	AVALIAÇÕES DA CULTURA	32
4.6.1	Coleta e estimativa da produção	32
4.6.2	Análise de proteína bruta	33
4.6.3	Altura de plantas	34
4.6.4	Índice de área foliar e relação folha/colmo	35
4.6.6	Análise Estatística	36
4.7	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.....	36
4.8	RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO DA IRRIGAÇÃO	37
5	ARTIGO 1 - EFEITO DA IRRIGAÇÃO NOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS, PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PARA O CAPIM TIFTON 85.	42
6	ARTIGO 2 - DESEMPENHO PRODUTIVO E ESTIMATIVA DO RETORNO ECONÔMICO DO TIFTON 85 IRRIGADO DESTINADO AO PASTEJO BOVINO	62
7	DISCUSSÃO GERAL	85
7.1	PRODUÇÃO DE FORRAGEM.....	85
7.2	ALTURA DE PLANTAS.....	86

7.3	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	86
7.4	RELAÇÃO FOLHA/COLMO	87
7.5	QUALIDADE.....	88
7.6	EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA)	88
7.7	ESTIMATIVA DO RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO	89
8	CONCLUSÕES GERAIS	94
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

A produção de pastagens para a alimentação animal abrange, aproximadamente, um terço das áreas agricultáveis cultivadas no mundo (FAO, 2015). As pastagens cultivadas compõem a principal fonte de alimentação para rebanhos bovinos na América do Sul (SBRISSIA et al., 2017). No Brasil, as áreas de pastagens cultivadas têm aumentado (OLIVEIRA et al., 2017). Contudo, essa área total cultivada não atende à demanda total da dieta. Uma vez que, o rebanho bovino brasileiro aumentou em 26,5%, nas duas últimas décadas, e se tornou o maior rebanho bovino comercial no mundo, com mais de 214 milhões de cabeças (FAOSTAT, 2017). O aumento na produtividade, para atender essa demanda, pode ser obtido com o uso de tecnologias para o máximo aproveitamento das condições climáticas e do potencial produtivo dos solos (OJEDA et al., 2018).

O cultivo de pastagens com grande capacidade de produção de biomassa, como de Tifton 85 (*Cynodon* spp.), é uma alternativa para suprir essa demanda, com a intensificação da produção de pasto, pois áreas cultivadas com esta forrageira podem comportar alta taxa de lotação animal. Além disso, o Tifton 85 pode ser utilizado para produção de feno para a alimentação animal nas entressafras. No entanto, seu máximo potencial produtivo depende do adequado manejo da pastagem (TAFFAREL et al., 2014).

No estado do Rio Grande do Sul, apesar do alto volume anual de chuvas e de normal climática com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, o manejo das pastagens de Tifton 85 com irrigação é necessário para aumentar a produtividade (TAFFAREL et al., 2014), o valor nutritivo (NASCIMENTO; AZEVEDO; SALES et al., 2017) e a eficiência dos insumos utilizados, pois a distribuição das chuvas tem sido irregular devido à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

A irrigação pode proporcionar aumento da produtividade (SANCHES et al., 2015), mas os efeitos sobre a qualidade são contraditórios, pois alguns estudos indicam que o acúmulo de proteína bruta responde positivamente às taxas de irrigação (SANCHES et al., 2017) e a digestibilidade da matéria seca aumenta (SANCHES et al., 2015), enquanto a fibra em detergente neutro e a fibra em detergente ácido não responderam à irrigação (SANCHES et al., 2017). Enquanto outros estudos indicam que a qualidade do Tifton 85 diminui com a irrigação (SILVA, 2014; RIGOTTI et al., 2019).

De maneira geral, a irrigação, como técnica complementar à precipitação pluvial, possibilita a superação do déficit hídrico em períodos de estiagem pelas pastagens. Contudo, o uso da irrigação complementar, deve ser técnica e economicamente viável. A viabilidade do

uso da irrigação deve ser avaliada por meio de um estudo amplo e detalhado das condições ambientais locais, principalmente de solo e de clima, além de custos e receitas da atividade. Se existir viabilidade, é necessário o adequado manejo da irrigação para a obtenção da máxima eficiência de uso da água e de energia e conseqüentemente o máximo lucro e menor impacto ambiental.

O cultivo de gramíneas tropicais irrigadas no Rio Grande do Sul, RS tem sido objeto de diversos estudos, contudo, as respostas obtidas são distintas e dependem da região, da espécie forrageira, do sistema de irrigação e da quantidade e do tipo de insumos utilizados. Os estudos do efeito da irrigação sobre a produtividade e a qualidade do Tifton 85 são incipientes, o que implica na necessidade de estudos que possam obter resultados inéditos ou mesmo fortalecer e aprimorar o conhecimento já obtido, principalmente para a região centro-oeste do RS.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Mensurar o efeito do manejo da Irrigação sobre a produtividade, qualidade, eficiência de uso da água e retorno econômico-financeiro do capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*)

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade do Tifton 85;
- b) Mensurar a proteína bruta do Tifton 85 irrigado com diferentes lâminas;
- c) Determinar a eficiência de uso da água para as estratégias (lâmina) de irrigação para a cultura do Tifton 85;
- d) Verificar o retorno financeiro do sistema de irrigação por irrigação convencional para as diferentes lâminas aplicadas;
- e) Avaliar a relação custo-benefício do sistema de irrigação nos diferentes cenários de ganho de peso médio e preço do quilo vivo animal.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item será disposta uma revisão de literatura que proporcionou o embasamento teórico para este trabalho.

3.1 PASTAGENS NO BIOMA PAMPA

As áreas de pastagem do estado do Rio Grande do Sul-RS estão, predominantemente, no Bioma Pampa (90% das áreas de pastagem, incluindo campo nativo e pastagem cultivada). Esse bioma ocupa 750.000 km² na América do Sul, sendo 176.496 km² alocados no estado brasileiro do RS (2,07% do território brasileiro e 63% do território do RS) (REICHERT et al., 2017).

O bioma Pampa foi ocupado com pecuária extensiva por mais de 300 anos, o que tornou a produção pecuária com rebanho bovino uma característica desse bioma (OVERBECK et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2017), com influência na economia e na cultura regional (OLIVEIRA et al., 2017). Essa região, embora tenha alto potencial de produção de forragem e de produção pecuária (OLIVEIRA et al., 2017), tem sido explorada com baixa eficiência (BARCELLOS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2017). A baixa eficiência na produção pecuária decorre do manejo inadequado do sistema a pasto extensivo. Esse sistema vinha sendo conduzido, basicamente, com baixa lotação animal, mas com excesso de pastoreio e com a exaustão da capacidade física e nutricional do solo e sem a adoção de alternativas tecnológicas para o aumento da produtividade. Por consequência, com produtividade e retorno financeiro baixo (OLIVEIRA et al., 2017).

Como a região do bioma Pampa possui alto potencial para a produção pecuária, com alta produtividade e retorno financeiro (RUVIARO et al., 2016), o manejo e a fertilização do solo, a irrigação e o manejo do gado nas pastagens são algumas alternativas para aumentar a produtividade. Contudo, a adoção dessas alternativas é incipiente e os resultados econômicos podem não ser obtidos em curto prazo (DILL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017). Essas limitações, associadas à resistência dos agricultores devido a aspectos culturais para a adoção de técnicas de manejo na produção pecuária (DILL et al., 2015) e a expansão de outros cultivos, proporcionaram mudanças de uso e degradação dos solos e a fragmentação da paisagem tradicional do Pampa. Com isso, as áreas de campo (pastagem nativa e cultivada) vêm sendo substituídas por culturas anuais e por florestas plantadas (DILL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017; REICHERT et al., 2017). A soja (*Glycine max* L.) é a principal cultura anual (OLIVEIRA

et al., 2017), enquanto o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) (REICHERT et al., 2017) é a principal essência florestal que tem sido utilizada em substituição às áreas de pastagem.

Embora essa substituição de áreas de pastagem por culturas agrícolas e florestais esteja acontecendo, a demanda por pastagem para a produção pecuária é alta e as áreas de pastagem não suprem essa demanda devido ao aumento do rebanho bovino comercial. A produção de pastagens para a alimentação animal no mundo ocupa, aproximadamente, um terço das áreas agricultáveis cultivadas (FAO, 2015). No Brasil, o rebanho bovino aumentou 26,5% nas duas últimas décadas, se tornando o maior rebanho bovino comercial no mundo, com mais de 214 milhões de cabeças (FAOSTAT, 2017). A forma de produção desses rebanhos é principalmente a pasto, com uma área de pastagem nativa utilizada de 70 milhões de hectares, que não atende à demanda total da dieta. Com isso, para suprir essa demanda, aproximadamente, 100 milhões de hectares são cultivados com pastagens (MOREIRA et al., 2014).

O Tifton 85 (*Cynodon* spp.) é uma das forrageiras utilizadas como pastagem para ruminantes por possuir alto potencial produtivo. Tal forragem, se manejado corretamente, possui alto valor nutritivo (NASCIMENTO; AZEVEDO; SALES, 2017), alta produtividade e boa adaptação a diversos ambientes (TAFFAREL et al., 2014) e responde à fertilização e à irrigação. Essas características tornam o Tifton 85 uma forrageira ideal para sistemas de intensificação de produção.

3.2 EFEITO DOS SISTEMAS DE PASTEJO NA QUALIDADE DAS PASTAGENS

A pecuária conduzida, basicamente, no sistema a pasto extensivo com baixa lotação animal, possibilita que os animais tenham acesso contínuo e irrestrito às pastagens durante um período, ou ao longo do ano (TEAGUE et al., 2013). O pastejo ocorre concentrado próximo das fontes de água com a diminuição da pressão de pastejo, devido à taxa de lotação espacialmente variável (TEAGUE et al., 2013), à medida que a distância à água aumenta (SANDHAGE-HOFMANN et al., 2016). Isto leva à degradação do solo e à deterioração da vegetação próximo das fontes de água (KOTZÉ et al., 2013) e, devido à falta de tempo de pousio, o pastejo extensivo não permite a recuperação de áreas fortemente pastejadas (SANDHAGE-HOFMANN, 2016).

Com o avanço das culturas anuais e da silvicultura sobre o Pampa, a pecuária tradicional no sistema a pasto extensivo com baixa lotação animal, vem sendo modificada para sistemas de pastejo rotacionado com altas taxas de lotação, com vistas a maximizar a produtividade e a rentabilidade pecuária. O pastejo rotacionado possibilita o manejo da pastagem para reduzir a

degradação das plantas e do solo e dos animais, para superar a distribuição espaço-temporalmente heterogênea da biomassa (TEAGUE et al., 2013), que é uma característica comum da maioria dos sistemas a pasto extensivo, além de aumentar a rentabilidade da produção pecuária (TEAGUE et al., 2015).

O pastejo rotacionado consiste na utilização mais uniforme de todas as plantas disponíveis na área, por meio do controle da frequência e da intensidade do pastejo (TEAGUE et al., 2013), com uma taxa de lotação mais alta quando comparada com as taxas de lotação recomendadas. Os períodos curtos de pastejo evitam que o gado paste de forma seletiva e o pousio durante a rotação favorece o crescimento da planta.

Assim, os sistemas de pastejo rotacionado têm sido responsáveis por causar grande pressão de pastejo em curto período nas áreas de pastagem. Esse sistema de pastejo pode gerar impactos negativos ao solo e ao ambiente, ocasionados pelo intenso pisoteio animal em condições de alta umidade (CARVALHO et al., 2010), quando manejados de forma inadequada, pois resultam em baixo aporte de material orgânico, aumento do estado de compactação do solo, principalmente nas camadas superficiais (ORTIGARA et al., 2014), e redução da resistência do solo ao cisalhamento (CARVALHO et al., 2010).

Os benefícios do pastejo rotacionado podem ser potencializados em sistemas de pastagem cultivada, com culturas melhoradas geneticamente, com alto potencial de produção de fitomassa, resistentes às condições climáticas regionais e submetidas à irrigação como técnica suplementar em períodos de estiagem. Com isso, o manejo do pastejo rotacionado deve ser realizado de forma que as condições de alta umidade proporcionadas pela irrigação não favoreçam a compactação e a degradação do solo (LIMA et al., 2004; CARVALHO et al., 2010).

3.3 CARACTERÍSTICAS DO TIFTON 85

O "Tifton 85" (*Cynodon* spp.) é uma forrageira oriunda da cidade de Tifton, Geórgia, nos Estados Unidos da América, e foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura do Estado junto com a Universidade da Geórgia. Essa forrageira foi liberada para cultivo em 1992, podendo ser cultivada diversos climas, possui alto potencial como forragem para pastagem e produção de feno para bovinos (HILL et al., 1996)

O Tifton 85 foi considerado o melhor híbrido (*Cynodon grass* L.) lançado até hoje (BASEGGIO et al., 2015) devido ao seu alto acúmulo de forragem e valor nutritivo. Tem sido muito utilizado para produção de feno e pastagem no sudeste dos Estados Unidos. O seu

máximo potencial produtivo depende do adequado manejo da pastagem (TAFFAREL et al., 2014).

O Tifton 85 responde à irrigação, com aumento da matéria seca e acúmulo de proteína bruta (SANCHES et al., 2015). Além disso, o Tifton 85 responde à adubação nitrogenada (SANCHES et al., 2017) e tem boa adaptação e produtividade quando cultivado sobressemeado com aveia (SANCHES et al., 2015).

Além disso, o gênero *Cynodon* destaca-se na produção de gado leiteiro, mas também vem sendo muito utilizado para bovinos de corte, pois possui potencial de produção de forragem, podendo ultrapassar 25.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (GOMES et al., 2015), com bom valor nutricional, com valores de teor de proteína superior a 11% da matéria seca (SANCHES et al., 2015).

3.4 IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS EM REGIÕES DE CLIMA SUBTROPICAL

No Sul do Brasil, estiagens são registradas periodicamente, segundo a série histórica do Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos - National Weather Service (NWS, 2015). Nos últimos 65 anos, o evento La Niña, que caracteriza anos com secas severas na região subtropical do Brasil, foi observado em 29% dos anos (NWS, 2015). A normalidade climática foi observada em 37% dos anos, ou seja, com alta demanda evaporativa da atmosfera associada a eventos de precipitação pluvial pontuais no verão.

Como a evapotranspiração em pastagens, geralmente, excede a precipitação pluvial, a irrigação é uma alternativa para minimizar as perdas de produtividade causadas por períodos de seca prolongada e sazonalidade, o que pode aumentar a produtividade média das pastagens (ANTONIEL et al., 2016).

A irrigação tende a aumentar o crescimento das pastagens, o que leva à redução da variabilidade de oferta de forragem e do risco da variação climática (VOGELER et al., 2016a). A irrigação está entre as tecnologias que mais contribuem para o aumento da produtividade (LIRA et al., 2015; PEREIRA et al., 2015) pois é responsável por 50% da produção agrícola mundial e ocupa apenas 18% da área colhida (SATURNINO et al., 2010).

O consumo de água é quantificado, principalmente, com base no coeficiente de cultura (Kc) que é calculado por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo). O Kc está diretamente relacionado com o estágio de desenvolvimento da cultura (BARBOSA et al., 2015), sendo esses valores determinados por meio de pesquisas, para auxiliar os produtores a manejar a irrigação de uma lavoura da forma

mais correta possível. No entanto, a evapotranspiração de referência (ET_o) tem sido utilizada para manejar a irrigação em pastagens (ANTONIEL et al., 2016) devido à falta de informações de evapotranspiração de cultura para pastagens.

Mesmo que não haja K_c específico para pastagens perenes em sistema de pastejo rotacionado, a irrigação executada com base na E_{to} promove maior produção de Tifton 85 ao longo dos ciclos de pastejo, o que contribui para mais ciclos de colheita, com produtividade média de 3.625,5 e 2.074,1 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de massa seca de forragem, irrigada e não irrigada, respectivamente (SANCHES et al., 2017).

Uma alternativa para aumentar a precisão e a eficiência do uso da água nesses sistemas de produção é a irrigação deficitária, que consiste na aplicação de lâminas de água menores do que 100% da lâmina requerida pela cultura. Exemplo disso é o trabalho desenvolvido por Da Silva et al. (2017) onde encontraram que o déficit de irrigação de 71% do valor do coeficiente de cultura proporcionou a maior produção de Tifton 85.

Embora a irrigação possa proporcionar aumento da produtividade (SANCHES et al., 2015), os efeitos sobre a qualidade são contraditórios. Alguns estudos indicam que a irrigação tem relação positiva com o acúmulo de proteína bruta (SANCHES et al., 2015; SANCHES et al., 2017) e com o aumento da digestibilidade da matéria seca (SANCHES et al., 2015), tornando as pastagens de Tifton 85 irrigadas mais digeríveis do que pastagens não irrigadas (FARIAS FILHO et al., 2018).

A fibra em detergente neutro e a fibra em detergente ácido não responderam à irrigação (SANCHES et al., 2017). Contudo, outros estudos indicam que a qualidade do Tifton 85 diminui com a irrigação (SILVA, 2014; RIGOTTI et al., 2019), que proporciona maior valor de fibra em detergente neutro e o menor valor de digestibilidade (SANCHES et al., 2015).

3.4.1 Tecnologias paralelas à irrigação

O controle da desfolha e a adubação, devem ser adotadas para aumentar a produção de pasto. O uso de irrigação promove incremento de até 20% de produção adicional da pastagem com o Tifton 85 (VOGELER et al., 2016b), enquanto a maior relação folha/colmo obtida com o controle da desfolha aumentou em 55% a produtividade total de forragem (SANCHES et al., 2015).

A adubação nitrogenada é indispensável na produção de forrageiras e pode ser potencializada com a irrigação. Pastos fertilizados são mais produtivos e de melhor qualidade do que aqueles que não fertilizados e podem ser mais eficientes do que somente a irrigação para

melhorar a estrutura de pastagens. Entretanto, a irrigação proporciona pastagens de Tifton 85 mais digeríveis do que pastagens não irrigadas (FARIAS FILHO et al., 2018).

O rendimento do Tifton 85 possui resposta quadrática às doses de nitrogênio aplicadas e os índices folha/colmo são maiores quando o Tifton 85 é irrigado. Índices folha/colmo de 1,3 e 0,8 foram obtidos para pastagens de Tifton 85 irrigadas e não irrigadas, respectivamente (SANCHES et al., 2017).

A produtividade e o valor nutritivo do Tifton 85 sobressemeado com aveia, na presença e ausência de irrigação, foram avaliados no Paraná. A irrigação incrementou a produtividade da pastagem com média de 2760,4 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹, com a maior relação folha/colmo de 2,8, aumentando a digestibilidade da matéria seca (SANCHES et al., 2015).

A produtividade em matéria seca do Tifton 85 foi maior em área irrigada do que em área não irrigada, no Paraná, e aumentou linearmente com adubação nitrogenada. A produtividade foi de 39279 kg MS ha⁻¹ com irrigação e de 27826 kg MS ha⁻¹, sem irrigação, para a dose de 60 kg N ha⁻¹. A relação folha colmo não foi afetada pela irrigação. A média geral do percentual de material morto com irrigação foi de 13% e sem irrigação foi de 17% (GOMES et al., 2015).

O efeito de níveis de depleção de água no solo ($p_1 = 0 - 0,05$; $p_2 = 0,20$; $p_3 = 0,40$; $p_4 = 0,60$; $p_5 = 0,80$), correspondendo a 95%-100% (testemunha), 80%, 60%, 40% e 20% da água disponível no solo no momento das irrigações influenciou a produção de massa seca de raízes e a produtividade da água do Tifton 85, o que indica fatores de depleção mais baixos ($p = 0,2$) podem ser utilizados durante o inverno sem que haja comprometimento na quantidade e qualidade da forragem produzida. Contudo, os níveis de depleção não proporcionaram diferenças para a produção de massa seca da parte aérea e número de perfilhos (AMARAL, 2019).

3.5 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

A eficiência de uso da água (EUA), tanto para preservação do ambiente, quanto para o retorno econômico da irrigação, tem relação com as lâminas de irrigação aplicadas, em função das condições climáticas e do regime de distribuição das precipitações pluviais (KIRCHNER et al., 2019). Além disso, consiste no menor consumo de água para atingir uma meta de produção específica ou para aumentar a produção com um determinado suprimento de água (VELASCO-MUÑOZ et al., 2018).

Estratégias para o aumento na eficiência de uso da água são fundamentais para garantir o retorno econômico e a sustentabilidade ambiental em áreas submetidas à irrigação. Com a

melhoria deste parâmetro é possível aumentar e melhorar a produção de alimentos, aumentar os ganhos financeiros a um custo social e ambiental mais baixo por unidade de água utilizada (BOUTRAA, 2010; XUE et al., 2017).

As práticas usadas para aumentar a EUA abrangem a captação de água, a irrigação suplementar, a irrigação deficitária, as técnicas de irrigação de precisão e as práticas para a conservação da água no solo (ATTWATER; DERRY, 2017).

A EUA pode ser avaliada e expressa do ponto de vista econômico e fisiológico para a planta (NAIR et al., 2013). Economicamente se considera a razão entre produção unitária de massa fresca (kg) por unidade de água transpirada, sendo o nível de irrigação que maximiza o rendimento, considerando todos os custos, preços e a resposta do rendimento da safra à irrigação (BOUTRAA, 2010; MOLDEN et al., 2010).

Do ponto de vista fisiológico, consiste na medida do ganho de carbono unitário fixado pela fotossíntese por unidade de água transpirada para uma redução de 1 kPa de déficit de pressão de vapor, não sendo considerada a possível perda de água durante a produção agrícola. A EUA da planta consiste na razão entre massa seca produzida e lâmina de água transpirada, sendo esse conceito utilizado por profissionais de irrigação e de produção agropecuária.

Os profissionais de irrigação usam o conceito de EUA para descrever a relação entre a água usada nas lavouras e a água perdida da fonte, sendo essa expressa em volume por volume de água. Já os profissionais da agropecuária consideram uma estratégia para maximizar a produção de biomassa ou o rendimento das culturas por unidade de água utilizada (VELASCO-MUÑOZ et al., 2018).

Assim, a máxima eficiência no uso da água pode ser obtida por meio da eficiência dos sistemas de irrigação e do manejo da irrigação e das culturas. Enquanto, as plantas mais eficientes no uso da água são aquelas que possuem melhores funções fisiológicas, o que implica em maiores valores de relação raiz/parte aérea, conteúdo de clorofila, eficiência fotossintética e acúmulo de matéria seca, com menor quantidade de água aplicada (ZHENGBIN et al., 2011).

3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO

As áreas utilizadas para a produção de pastagens cultivadas têm aumentado na região centro-oeste do Rio Grande do Sul, para atender as demandas por produtos de origem animal. Os sistemas de produção agropecuária têm sido intensificados, o que pode gerar aumento dos custos diretos e dos riscos (PACHECO et al., 2006; SILVA et al., 2010), e estão, predominantemente, em solos arenosos, o que implica em baixa capacidade de armazenamento

hídrico. Segundo Gomes et al. (2010) essa limitação pode ser superada com a utilização da irrigação, desde que esta técnica seja economicamente viável.

Nas atividades pecuárias, a análise do impacto financeiro no sistema por meio de estudos de viabilidade econômica possibilita a melhor estimativa e previsão dos resultados, sendo fundamental para gestão do sistema (PACHECO et al., 2006; SILVA et al., 2010). A viabilidade econômica da irrigação deve proporcionar, além da eficiência de uso da água, o aumento na produção (VOGELER et al., 2016a).

O adequado manejo da irrigação, com melhoria na eficiência do uso da água e manutenção ou aumento na produtividade (MEZZOMO, 2017) pode proporcionar a viabilidade econômica do sistema de irrigação.

A irrigação, normalmente, possibilita o aumento de produção e, por consequência, o aumento do lucro (GOMES, 2013). No entanto, o investimento de capital em infraestrutura de irrigação e custos operacionais associados aumenta os riscos financeiros (VOGELER et al., 2016a). Assim, para que a irrigação seja economicamente viável, o aumento na produção deve gerar renda adicional suficiente para cobrir os custos da instalação do sistema de irrigação, bem como quaisquer outros custos, incluindo pagamentos de financiamentos e juros, custos variáveis associados ao uso da irrigação, incluindo eletricidade e mão de obra (VOGELER et al., 2016a).

A tomada de decisão em relação ao uso de técnicas como a irrigação deficitária depende dos preços das *comodities* e do custo operacional, usados no cálculo do retorno econômico líquido (KLOCKE et al., 2012). Contudo, é necessário o conhecimento das respostas da cultura à quantidade de água aplicada em diferentes lâminas de irrigação para que seja possível avaliar o sistema de irrigação, da cultura e a produção (KLOCKE et al., 2012). A quantidade de água aplicada exerce influência no rendimento das culturas por área, contudo maiores lâminas de irrigação podem aumentar os custos de produção com aumento de produtividade que não seja proporcional ao aumento nos custos, o que pode não compensar o uso da técnica de irrigação (CASTRO JÚNIOR et al., 2015), de forma economicamente viável.

A viabilidade econômica da irrigação vem sendo avaliada para distintos cultivos (SANTANA et al., 2009; ZWIRTES et al., 2015; GOMES et al., 2018; TORRES, 2018; KIRCHNER et al., 2019), contudo as informações para sistemas cultivados com Tifton 85 ainda são incipientes, principalmente em sistemas de produção pecuária na região centro-oeste do RS.

A utilização de irrigação com lâminas inferiores a ETo em área cultivada com sorgo em Santa Maria-RS proporcionou redução linear de 7% da altura das plantas, de 5% no índice de área foliar e de 17% no rendimento de grãos a cada decréscimo de 25% na reposição da

evapotranspiração da cultura (ZWIRTES et al., 2015). Enquanto, com a utilização da irrigação deficitária, cada redução de 25% na reposição da evapotranspiração da cultura aumentou em 14% a produtividade da água irrigada e em 20% o retorno econômico sobre o custo com a aplicação de água (ZWIRTES et al., 2015).

O Tifton 85 é responsivo à irrigação, com ganhos expressivos de produtividade que podem compensar o aumento do custo de produção e viabilizam economicamente o uso da tecnologia. Contudo, embora alguns estudos tenham avaliado o efeito da irrigação sobre a produtividade do Tifton 85 (GOMES et al., 2015; SANCHES et al., 2015, 2017; VOGELER et al., 2016b; AMARAL, 2019), essas informações foram obtidas em outras regiões com condições climáticas e edáficas distintas da que ocorrem na região centro-oeste do RS e não contemplam as informações sobre a viabilidade econômica da irrigação do Tifton 85 sob pastejo rotacionado.

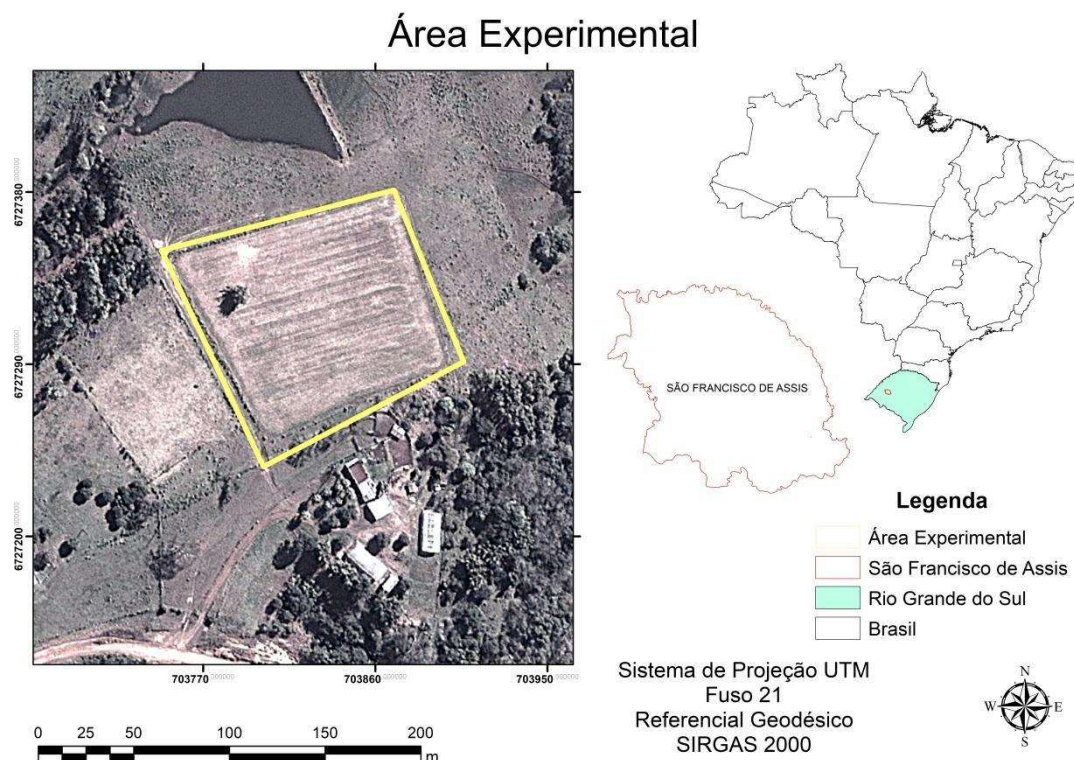
4 METODOLOGIA

Neste item serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a execução do trabalho, além das características locais e experimentais.

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na área da chácara do Pinheiro, no 2º distrito do município de São Francisco de Assis, região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A área está situada entre as coordenadas geográficas de 29º 34' 5,46" de latitude sul e 54º 53' 45,94" de longitude oeste, com 115 m de elevação média.

Figura 1 – Localização da área experimental situada na chácara do Pinheiro, no 2º distrito do município de São Francisco de Assis, região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul



O clima da região é do tipo Cfa, com clima predominantemente subtropical, temperado quente, com estações bem definidas, de acordo com a classificação climática de Köppen (ÁLVARES et al., 2013).

O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (SANTOS et al., 2018). A área de estudo é de propriedade particular, onde a produção pecuária bovinocultura voltada a recria de novilhas é a principal atividade da propriedade, com mão de obra exclusivamente familiar.

A propriedade rural possui área total de 60 hectares, dos quais 30 hectares são cultivados com soja (*Glicine max* L.) durante o verão e com azevém (*Lolium multiflorum* L.) para pastejo no inverno. O restante da área é dividido em campo nativo, mata nativa e pastagem cultivada com Tifton 85.

A pastagem cultivada corresponde a uma área de sete hectares, com Tifton 85, já implantado e estabelecido a cinco anos, dividida em 20 piquetes onde os animais realizam pastejo rotacionado. Essa área possui um sistema de irrigação por aspersão convencional, onde foi instalado o experimento.

O pastejo rotacionado é realizado com base no sistema Voisin, não na sua plenitude, mas seguindo-se alguns princípios básicos, pois os animais permanecem em torno de 36 horas em cada piquete, de modo que retornem ao piquete de entrada ao 31º dia, com livre acesso a água, sombra e suplementação mineral, a taxa de lotação animal é definida pela massa de forragem existente na entrada dos animais no sistema considerando o peso vivo e o consumo estimado por unidade animal (UA).

4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu na aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação (6 tratamentos), distribuídas em 4 blocos ao acaso, sendo considerado cada bloco como uma repetição, o que totalizou 24 unidades experimentais.

As diferentes lâminas de irrigação foram aplicadas pelo tempo de acionamento do sistema de irrigação para cada tratamento. Os tratamentos foram: sem irrigação (0%); 25%; 50%; 75%; 100% e 125% da lâmina calculada.

A lâmina de irrigação, que é a lâmina (mm) de água total que deve ser aplicada foi obtida por meio do cálculo da evapotranspiração de referência somada à eficiência do sistema de irrigação, adicionada ao solo para suprir a demanda das plantas em um turno de rega fixo.

4.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E MANEJO

A irrigação foi realizada por aspersão, com sistema convencional fixo, com uma altura manométrica total é de 54 m e a vazão do sistema de 15,10 m³ h⁻¹.

A motobomba elétrica utilizada no sistema possui potência de 7,5 cv. A adutora com tubos de 75 mm e comprimento total de 100 m; a linha principal com tubos de 75 mm e comprimento de 204 m e as linhas laterais tubos de 50 mm e comprimento de 72 m. Além disso, o sistema possui tubulação de sucção com válvula de pé, recalque com manômetro, registro de gaveta e válvula de retenção, ventosas e demais acessórios.

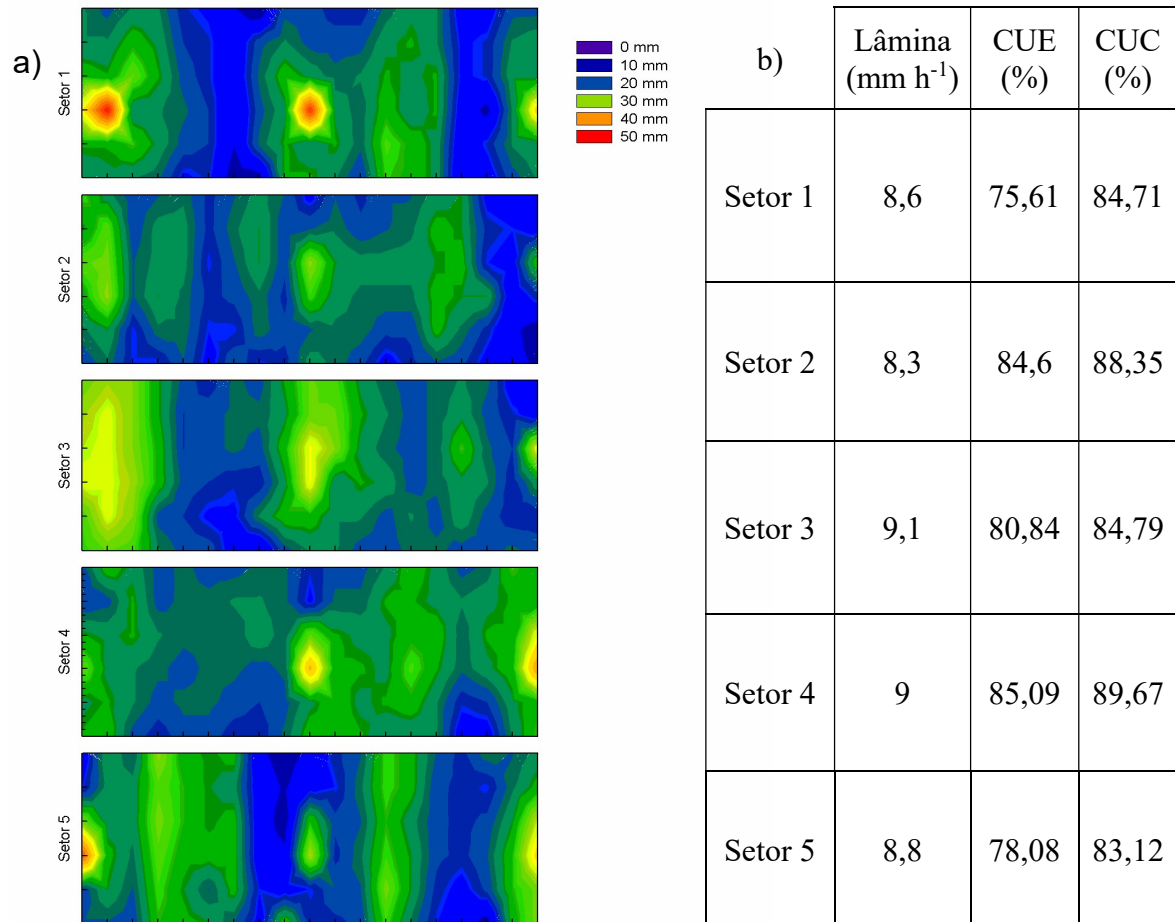
Os aspersores utilizados são do modelo NY-30 da marca Agropolo, com bocais com 6,2 x 4,6 mm de diâmetro, pressão de serviço entre 20 e 25 mca, 31,5 m de diâmetro de alcance. O espaçamento entre aspersores foi de 18 x 18 m, instalados a 1,2 m de altura em relação ao solo. Cada aspersor possui vazão de 3 m³ h⁻¹, com uma lâmina de precipitação de 8,9 mm h⁻¹.

A uniformidade de aplicação de água dos aspersores e do sistema foi avaliada por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

A avaliação da irrigação é necessária para obter as informações referentes à eficiência do sistema de irrigação, perdas durante a aplicação e uniformidade de distribuição de água, funcionamento real do sistema (vazão, pressão, lâmina e entupimento) e necessidade de manutenção (MANTOVANI et al., 2009).

O sistema de irrigação utilizado para o experimento, pela avaliação do (CUC e CUE), demonstrou um desempenho aceitável (Figura 2), com uniformidade de aplicação e distribuição de água (CUC > 80% e CUE > 75%) superior ao recomendado por Bernardo, Soares e Mantovani (2009) para culturas de baixo valor comercial em sistema de aspersão convencional.

Figura 2 – Distribuição espacial da lâmina precipitada pelo sistema nos setores onde foi instalado o experimento (a) e valores de taxa de aplicação, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) (b)



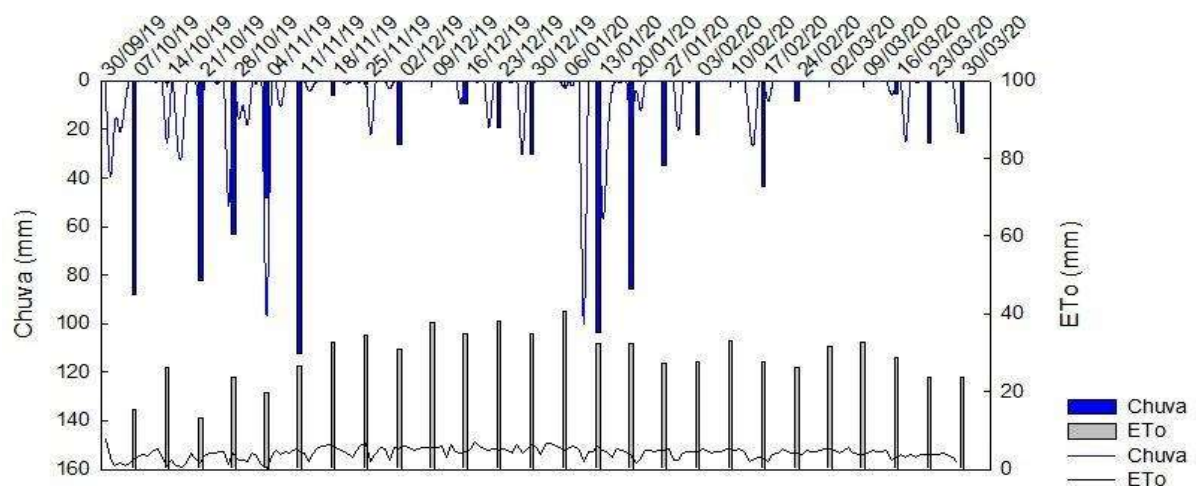
O manejo da irrigação, ou seja, as lâminas de irrigação foram determinadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o), considerando um turno de rega fixo de sete dias, quando a precipitação pluvial não suprir a demanda. A ET_o diária (mm d⁻¹) (Figura 3) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), método indicado como padrão mundial pela FAO.

Os parâmetros meteorológicos necessários para o cálculo foram coletados diariamente de duas estações sendo: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) de estação automática portátil instalada a 50 m do experimento, velocidade do vento (m s⁻¹), radiação solar (w m²) e fotoperíodo (horas) foram coletadas de estação do INMet a 17 km do local do experimento.

A precipitação efetiva (figura 3), que consiste na parcela da precipitação total que realmente é infiltrada no solo, descontando a fração que é perdida por escoamento superficial,

foi considerada como sendo 85% do total precipitado, em solo arenoso declividade do terreno entre 5-10% e cultivado com pastagem, conforme metodologia proposta por Millar (1978).

Figura 3 – Evapotranspiração de referência (ET_o), precipitação efetiva durante os ciclos de pastejo



4.4 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO

A avaliação físico-hídrica do solo foi realizada em amostras de solo com estrutura preservada e com estrutura não preservada, coletadas nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m.

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas, no centro de cada camada, em cilindros metálicos com 5,7 cm de diâmetro e 4 cm de altura, para determinar a densidade do solo (Ds), a porosidade total (Pt), a macroporosidade (Mac), a microporosidade (Mic), a capacidade de campo (CC), a condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) e para a obtenção da retenção de água no solo (até a tensão de 100 kPa). Nas mesmas camadas, amostras de solo com estrutura não preservada foram coletadas para determinar a distribuição granulométrica e para a estimativa da retenção de água nas tensões de 500, 1000 e 1500 kPa, em psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter). Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e transportadas até o laboratório de Física dos solos da Universidade Federal de Santa Maria.

As amostras de solo com estrutura preservada foram preparadas em laboratório, retirando-se cuidadosamente o excesso de solo das faces superior e inferior dos cilindros metálicos. Posteriormente, as amostras foram saturadas por capilaridade e pesadas, sendo em

seguida, submetidas às tensões de 1,6 e 10 kPa em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006). Posteriormente, as amostras foram submetidas às tensões de 33 e 100 kPa em câmara de Richards (KLUTE, 1986). Ao final, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante, para determinação da densidade do solo (D_s) (BLAKE; HARTGE, 1986).

A umidade gravimétrica para as tensões de 500, 1000 e 1500 kPa foi analisada com psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter), utilizando-se amostras com estrutura não preservada (KLEIN; REICHERT; REINERT2006; KLEIN et al., 2010; GUBIANI et al., 2012). A umidade gravimétrica determinada foi multiplicada pela densidade do solo correspondente à camada ou horizonte amostrado, para obtenção da umidade volumétrica. Por meio de equações de regressão obtidas pela relação entre a umidade volumétrica e a tensão de água no solo, foi feita a estimativa da retenção de água nas tensões de 500, 1000 e 1500 kPa.

A quantidade de microporos foi determinada com base na água retida na tensão de 6 kPa, a quantidade de macroporos foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na saturação e o volume de água retido na microporosidade e a quantidade de criptoporos foi determinada pela diferença entre o volume de água retido a 1500 kPa e o solo seco (DANIELSON ;SUTHERLAND, 1986).

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) foram calculados como o volume de água retido na tensão de 10 kPa e de 1500 kPa, respectivamente. A água disponível (AD) foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. A água drenável (ADr) foi determinada pela diferença entre o volume de água no solo na saturação e na capacidade de campo.

As amostras de solo com estrutura deformada foram secas ao ar livre, peneiradas em peneira com abertura de malha de 2 mm e, posteriormente, utilizadas para a determinação da distribuição do tamanho de partículas do solo pelo método da pipeta (KLEIN et al., 2013; SUZUKI et al., 2015). Para a determinação da distribuição do tamanho de partículas, a dispersão das amostras de solo foi realizada por agitador horizontal com 120 rpm durante 4 horas, utilizando vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm⁻³ (SUZUKI et al., 2004a; SUZUKI et al., 2004b).

Para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (k_{sat}), as amostras de solo com estrutura preservada foram preparadas e saturadas por capilaridade durante 24 h. A k_{sat} foi determinada em laboratório, com saturação por capilaridade por 48 h e posterior análise de acordo com o método descrito em Embrapa (2011) e modificado. Para tanto, foi utilizado

um permeâmetro de carga constante, onde o volume de água percolado das amostras foi medido em três momentos com intervalos de cinco minutos após o início da percolação.

A fração granulométrica predominante nos solos foi a areia. A distribuição granulométrica teve comportamento similar entre as posições na paisagem no topo e na meia-encosta até 0,40 m de profundidade. No topo, o percentual de areia diminuiu e o percentual de argila aumentou gradativamente desde a superfície até 0,60 m de profundidade.

A distribuição granulométrica na meia-encosta teve comportamento similar ao observado no topo até os 0,40 m de profundidade. Contudo, a camada de 0,40-0,60 m teve redução abrupta no teor de areia e aumento abrupto no teor de argila no solo. Na base, o teor de areia foi menor em relação às outras posições na paisagem, mas não teve tendência de aumento ou diminuição com o aumento na profundidade. O teor de argila na base teve comportamento similar às demais posições na paisagem, de maneira geral, com aumento no teor de argila com o aumento na profundidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do solo nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo

Posição na paisagem	Camada	Granulometria					Classe textural
	m	Areia total (%)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	
T1-topo	0,00-0,10	75,59	51,28	24,31	17,46	6,95	Franco arenosa
	0,10-0,20	73,24	46,23	27,01	16,71	10,05	Franco arenosa
	0,20-0,40	67,30	45,38	21,93	21,20	11,50	Franco arenosa
	0,40-0,60	65,49	55,53	9,96	23,46	11,05	Franco arenosa
T2-meia encosta	0,00-0,10	74,85	49,63	25,22	16,55	8,60	Franco arenosa
	0,10-0,20	71,34	49,65	21,69	20,76	7,90	Franco arenosa
	0,20-0,40	69,68	48,60	21,08	20,27	10,05	Franco arenosa
	0,40-0,60	29,61	18,73	10,89	23,84	46,55	Argila
T3-base	0,00-0,10	66,90	40,03	26,87	31,95	1,15	Franco arenosa
	0,10-0,20	63,17	40,10	23,07	26,08	10,75	Franco arenosa
	0,20-0,40	63,68	38,85	24,83	24,72	11,60	Franco arenosa
	0,40-0,60	65,51	40,08	25,43	23,39	11,10	Franco arenosa

A densidade do solo, de maneira geral, foi menor na camada de 0,00-0,10 m e mais alta na camada de 0,10-0,20 m, o que pode indicar compactação subsuperficial. As maiores densidades do solo ocorreram no topo e as menores, na base, densidades maiores $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ são restritivas ao crescimento radicular, conforme Reinert et al. (2008). A porosidade total e macroporosidade tiveram, de maneira geral, comportamento inverso em relação à densidade do

solo. A macroporosidade foi menor do que o valor adequado para o desenvolvimento das plantas ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na camada de 0,10-0,20 m no topo e na meia-encosta, mesmas camadas que tiveram as maiores densidades, e nas camadas de 0,00-0,20 m na base. A água drenável foi baixa ou nula na maioria das camadas, o que implica em baixa infiltração de água no solo e alto potencial de escoamento superficial (Tabela 2).

Tabela 2 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), água drenável (Adren), água disponível (Adisp), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo

Posição na paisagem	Camada	Ds	Pt	Mac	Mic	Adren	Adisp	CC	PMP
	m	Mg m^{-3}				$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$			
T1-topo	0,00-0,10	1,550	0,419	0,167	0,253	0,205	0,159	0,215	0,056
	0,10-0,20	1,730	0,329	0,083	0,246	0,000	0,172	0,219	0,047
	0,20-0,40	1,703	0,355	0,103	0,252	0,000	0,173	0,226	0,053
	0,40-0,60	1,629	0,365	0,124	0,242	0,110	0,166	0,218	0,052
T2-meia encosta	0,00-0,10	1,556	0,430	0,155	0,275	0,000	0,174	0,240	0,066
	0,10-0,20	1,687	0,337	0,098	0,239	0,000	0,149	0,201	0,052
	0,20-0,40	1,610	0,396	0,163	0,233	0,129	0,158	0,214	0,056
	0,40-0,60	1,432	0,466	0,085	0,382	0,000	0,138	0,373	0,235
T3-base	0,00-0,10	1,622	0,377	0,076	0,301	0,000	0,203	0,270	0,067
	0,10-0,20	1,660	0,368	0,090	0,278	0,147	0,201	0,251	0,050
	0,20-0,40	1,488	0,402	0,124	0,278	0,000	0,169	0,244	0,075
	0,40-0,60	1,488	0,393	0,135	0,258	0,000	0,167	0,228	0,061

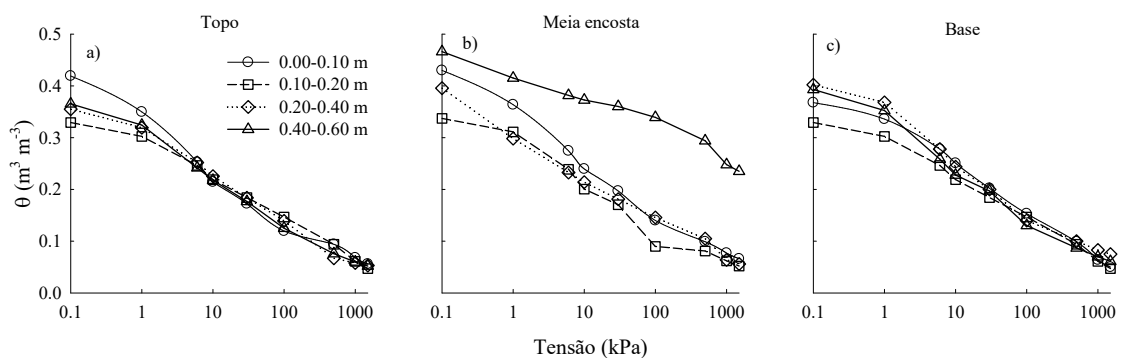
A condutividade hidráulica do solo saturado foi maior na camada superficial do solo (0,00-0,10 m), com diminuição nas camadas mais profundas do solo no topo. Na meia-encosta, a condutividade hidráulica do solo saturado foi alta nas camadas de 0,00-0,10 m e de 0,20-0,40 m e menor nas camadas de 0,10-0,20 m e de 0,40-0,60 m. A condutividade hidráulica do solo saturado, na base, teve comportamento diferente do que nas demais posições na paisagem, sendo homogênea ao longo do perfil do solo (Tabela 3). Tais valores ocorrem provavelmente devido ao sistema de uso do solo, com alta taxa de lotação animal por hectare, ocorrendo compactação na área que permanece úmida por maior tempo.

Tabela 3 – Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo

Posição na paisagem	Camada	Ksat	Desvio padrão	Coefficiente de variação
	m	mm h^{-1}	mm h^{-1}	%
T1-topo	0,00-0,10	78,16	51,70	66,15
	0,10-0,20	6,85	5,03	73,36
	0,20-0,40	7,39	4,35	58,84
	0,40-0,60	9,17	4,66	50,80
T2-meia Encosta	0,00-0,10	77,38	46,31	59,85
	0,10-0,20	8,52	3,53	41,38
	0,20-0,40	52,07	63,58	122,12
	0,40-0,60	7,72	5,80	75,11
T3-base	0,00-0,10	32,56	34,23	105,12
	0,10-0,20	30,16	39,43	130,76
	0,20-0,40	36,31	35,70	98,32
	0,40-0,60	55,47	47,30	85,27

A curva de retenção de água no solo foi variável entre as posições na paisagem e entre as camadas. A maior umidade volumétrica ocorreu na camada superficial, no topo. Nessa posição na paisagem, a umidade volumétrica foi maior até a tensão de água de 1 kPa. Na base, a maior umidade volumétrica ocorreu na camada de 0,20-0,40 m, embora tenha sido alta até a tensão de água de 1 kPa em todas as camadas. A meia-encosta teve retenção de água diferente nas diferentes camadas, sendo maior na camada de 0,40-0,60, que foi a camada com maior teor de argila (Figura 4).

Figura 4 – Curva de retenção de água no solo nas diferentes posições na paisagem da área de estudo, nas diferentes camadas de solo



4.5 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

As propriedades químicas do solo foram avaliadas em amostras de solo com estrutura não preservada coletadas na camada de 0,00 a 0,20 m, na área experimental (tabela 4). A amostragem foi realizada conforme critérios e recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2016) para amostragem de solo em forrageiras, bem como a recomendação de adubação e calagem. As análises foram realizadas no Laboratório de Química do Solo do Instituto Federal Farroupilha campus São Vicente do Sul.

Tabela 4 – Propriedades químicas do solo

pH água	Ca	Mg	Al	CTCe	Saturação (%)			MO	P-Mehlich	K
1:1	cmol dm ⁻³			Al	Bases	Índice SMP	%	mg dm ⁻³		
5,2	1,7	0,6	0,8	3,6	25,68	50,83	6,58	1,5	33,8	48,0

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; MO: Matéria orgânica; P-Mehlich: fósforo; K: Potássio.

A calagem, para a correção da acidez do solo, não foi realizada, devido à baixa necessidade. A adubação do solo foi feita com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 4). A análise indicou a necessidade de aplicação de 230 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 120 kg ha⁻¹ de potássio (K). Para suprir essa necessidade, a adubação foi realizada por meio da aplicação do P total na implantação do experimento e do N e do K fracionada em três aplicações.

A primeira aplicação, na implantação do experimento, foi de 100 kg de fosfato diamônico (DAP; 14:46:00), 100 kg de ureia cloretada (30:00:20) e 200 kg de adubo (NPK; 05:20:20). A segunda aplicação foi realizada por meio da aplicação de 100 kg de ureia (45:00:00) e 150 kg de ureia cloretada (30:00:20) no início de dezembro e, a terceira aplicação no início de fevereiro com a aplicação de 100 kg de ureia (45:00:00) e 150 kg de ureia cloretada (30:00:20).

4.6 AVALIAÇÕES DA CULTURA

4.6.1 Coleta e estimativa da produção

A produção de massa de forragem foi quantificada a partir do corte da forragem rente ao solo em moldura quadrada de 0,25 m² (0,5 X 0,5 m), lançada aleatoriamente 3 vezes em cada unidade experimental, a cada trinta dias simulando os ciclos do sistema de pastejo rotacionado, representados pelos respectivos meses da avaliação. As amostras obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos e pesadas para determinação do peso de massa verde (MV). O teor de matéria seca (MS) foi obtido a partir de secagem de uma subamostra da MV em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas (GARDNER, 1986). A massa de forragem foi determinada (Equação 1).

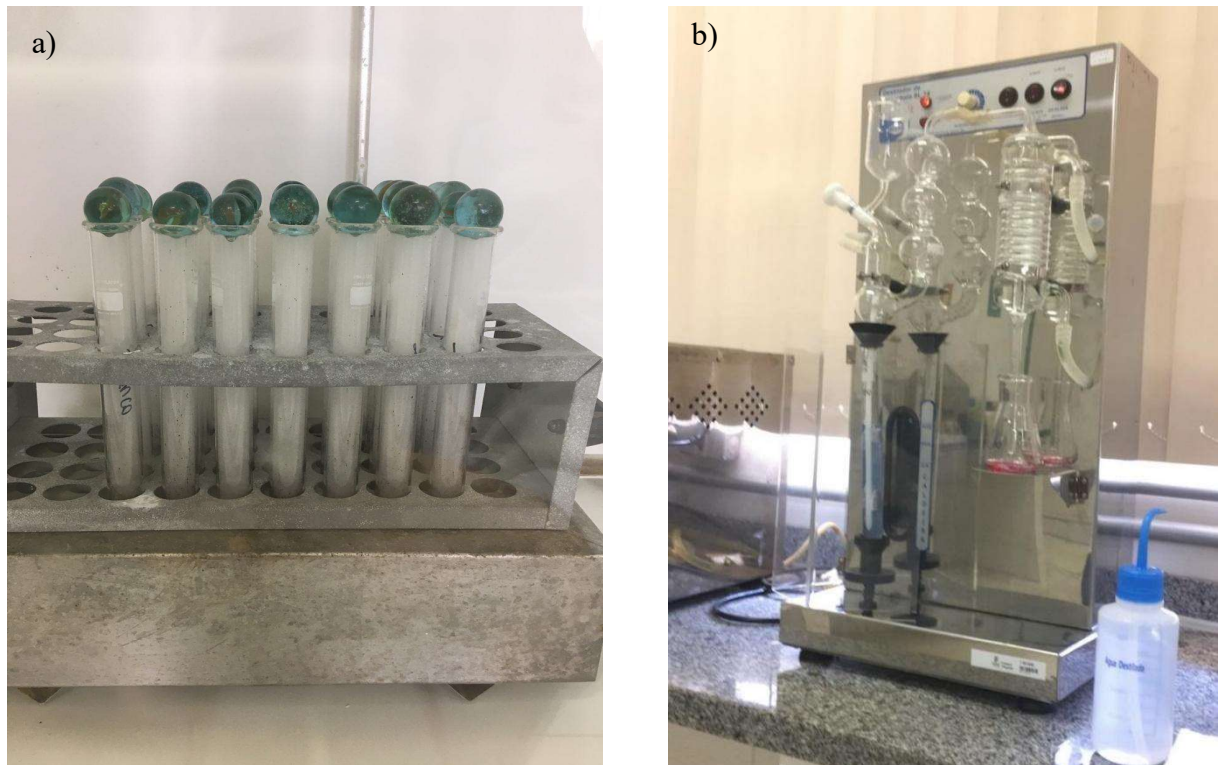
$$MF = \frac{MV \times MS}{100} \quad (1)$$

em que: MF é a massa de forragem (kg ha⁻¹); MV é a massa verde (kg ha⁻¹); MS é a matéria seca (%).

4.6.2 Análise de proteína bruta

A qualidade da forragem foi avaliada por meio de avaliação da proteína bruta. As amostras foram coletadas, submetidas aos procedimentos de pesagem e pré-secagem. As análises foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete, pelo método de Kjeldahl (Figura 5), seguindo recomendações propostas por Silva e Queiroz (2002).

Figura 5 – Amostras em processo de digestão (a) e amostra em processo de destilação de nitrogênio (b)



Fonte: arquivo pessoal.

4.6.3 Altura de plantas

A altura média de plantas foi medida com régua graduada em milímetros. Em cada unidade experimental foram feitas três medições com uma folha quadrada de polietileno leve colocada sobre a superfície das plantas (Figura 6), obtendo-se, assim, um valor médio por parcela, a partir de três repetições.

Figura 6 – Determinação da altura de plantas



Fonte: arquivo pessoal.

4.6.4 Índice de área foliar e relação folha/colmo

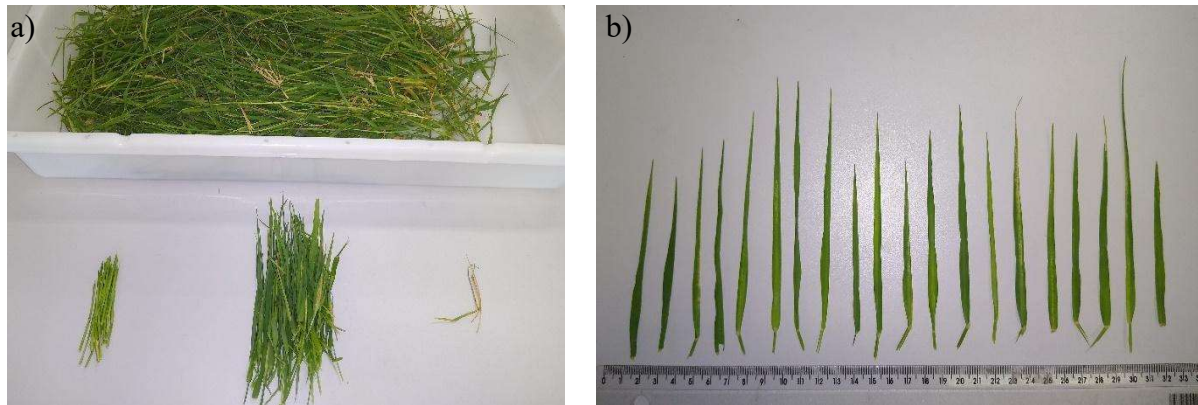
O corte foi realizado em cada repetição colhendo-se a biomassa presente em 0,25 m² com corte rente ao solo. O material colhido foi pesado para determinação da produção de massa verde por área. Em seguida, uma subamostra foi retirada, composta de 20 (hastes), que tiveram suas lâminas verdes (folhas) destacadas e fotografadas no Laboratório de Fitotecnia do Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete, o valor referente à área de cada folha foi obtido com o auxílio do programa de computador ImageJ[®] (RUEDEN et al., 2017).

As frações, folha, colmo e material morto foram separadas (figura 7). Em seguida foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada a 65 °C, por 72 horas ou até peso constante. Com base na relação folha/colmo foi estimado o peso da matéria seca de lâminas foliares (PSL) presente em 1 m² de área útil. A estimativa da área foliar total (lâminas verdes) das plantas (AFT) presentes na área útil foi obtida multiplicando o PSL pela área foliar de 20 hastes, e dividindo o produto pelo peso da matéria seca de lâminas foliares de 20 hastes. O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela Equação 2.

$$IAF = \frac{AFT}{AS} \quad (2)$$

em que: IAF é a índice de área foliar; AFT é a área foliar total (m²); AS é a área do solo (m²).

Figura 7 – Separação das frações colmo, folhas e material morto (a); das lâminas foliares e régua graduada para determinação da área foliar com o programa ImageJ[®] (b)



Fonte: arquivo pessoal.

4.6.6 Análise Estatística

Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software SISVAR[®] (FERREIRA, 2011). Após a realização da ANOVA, a análise de regressão foi realizada com o auxílio do software SigmaPlot[®] 11.0.

4.7 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

A eficiência de uso da água (EUA; kg mm⁻¹) para os diferentes tratamentos de irrigação foi calculada por meio da razão entre a produção de massa de forragem e o total de água (precipitação efetiva + lâmina de água irrigada) ao longo de cada ciclo (Equação 3).

$$EUA = \frac{PMF}{TA} \quad (3)$$

em que: PMF é a produção de massa de forragem (kg ha⁻¹); TA é a total de água ao longo de cada ciclo (mm ha⁻¹).

4.8 RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO DA IRRIGAÇÃO

A função de produção foi obtida por meio da análise de regressão do tipo polinomial de segundo grau (Equação 4) entre as variáveis dependentes (produtividade) e a variável independente (lâmina de irrigação) (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). A máxima eficiência técnica, a máxima eficiência financeira e a eficiência econômica foram determinadas considerando a lâmina de irrigação que corresponda e máxima produção.

$$MF = a + b \%ETO + c \%ETO^2 \quad (4)$$

em que: MF é a produção de forragem (kg ha^{-1}); %ETO é a lâmina de irrigação (mm); “a”, “b” e “c” são parâmetros de ajuste da equação.

A máxima eficiência técnica (MET; Equação 5) foi calculada por meio da relação entre os coeficientes de ajuste dessa função de produção (Equação 4).

$$MET = -\frac{a}{2b} \quad (5)$$

em que: MET é a máxima eficiência técnica (%ETO; mm); “a” e “b” são parâmetros de ajuste da função de produção (Equação 4).

Para a obtenção da lâmina de água para o máximo retorno ou eficiência técnica, o modelo para ser minimizado é o de receita líquida ou lucro líquido (Equação 6).

$$L = (a + b ETO + c ETO^2) Py - w Pw \quad (6)$$

em que: L é o lucro líquido (R\$); Py é o preço do produto ($\text{R\$ kg}^{-1}$); w é a lâmina de irrigação (mm) e Pw é o custo da aplicação da lâmina de água ($\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

Os preços da lâmina de água aplicada (Pw) foram obtidos com o levantamento de todos os custos para a aplicação da água.

Para a realização da análise de retorno financeiro da irrigação foram realizados os cálculos de custos fixos não relacionados a irrigação (CFNRI), custos variáveis não relacionados a irrigação (CVNRI), os custos fixos relacionados a irrigação (CFRI), os custos variáveis relacionados a irrigação (CVRI), ajuste da carga animal, cálculo do ganho de peso vivo, receita bruta e líquida, como seguem abaixo.

Os custos de produção da forrageira consistiram em custos não relacionados e relacionados à irrigação, fixos e variáveis, conforme descritos em Frizzone e Andrade Junior (2005) e Santos Júnior, Frizzone e Paz (2014). O CFNRI foi calculado considerando todas as operações e insumos necessários para implantação e manutenção da pastagem (número de horas homem, número de horas-máquina, depreciação, preparo do solo, aquisição de mudas adubação, herbicidas, inseticidas, roçadas) CONAB (2010).

Os custos variáveis não relacionados à irrigação foram estimados para a manutenção de um rebanho bovino para a carga animal calculada.

Os custos relacionados à irrigação, fixos (Equação 7) e variáveis (Equação 11), foram quantificados considerando o sistema de irrigação por aspersão convencional instalado na área, descrito no item 4.2, este com valor total de 8.329,80 R\$ por hectare.

$$CFRI = CD + CJ + CSe \quad (7)$$

em que CFRI é o custo fixo relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹), CD é o custo de depreciação dos componentes do sistema (R\$ ha⁻¹), CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹), CSe é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹).

O CD foi calculado por meio da Equação 8.

$$CD = \frac{(VN \times VR)}{Vuh} \times HsTr \quad (8)$$

em que CD é o custo de depreciação dos componentes do sistema (R\$ ha⁻¹), 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) e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h).

O CJ foi calculado considerando uma taxa de remuneração de 6,0 % ao ano, aplicável sobre o valor médio dos equipamentos, seguindo a mesma metodologia utilizada para as demais variáveis (Equação 9).

$$CJ = \frac{VN \times QM}{2 \times CAT} \times HsTr \times J \quad (9)$$

em que CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹), o QM é a quantidade do bem, a CAT é a capacidade de trabalho do bem (h) e J é a taxa de remuneração.

O VR ou valor de sucata foi calculado como 20% do valor de compra, sendo considerada a vida útil de 20 anos. Os valores de CSe foram determinados como sendo 0,35% do valor médio do bem novo (CONAB, 2010) (Equação 10).

$$CSe = \frac{VN}{2} \times 0,35 \times \frac{HsTr}{Vuh} \quad (10)$$

em que CSe é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$ ha⁻¹), HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h) e Vuh é a vida útil do componente (h).

Os Custos variáveis relacionados à irrigação foram calculados conforme a equação 11

$$CVRI = CvE + CvMo + CvMan \quad (11)$$

em que CVRI é o Custo variável relacionado a 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 (Equação 12).

$$CvE = Pw \times Ee \times T \times L \quad (12)$$

em que CvE é o custo variável com energia elétrica (R\$), Pw é a potência do conjunto motobomba (kw h⁻¹), Ee: é o preço da energia elétrica (R\$ kW h⁻¹), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água (h mm⁻¹) e L é a lâmina de irrigação (mm ha⁻¹).

O valor da energia elétrica foi calculado considerando a taxa verde da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo de 0,32 R\$ kW h⁻¹.

O tempo de mão-de-obra empregada é de 0,5 horas por hectare, em cada setor do sistema, para cada uma das irrigações realizadas (MAROUELLI; SILVA, 2011). O valor da hora trabalhada foi determinado com base na metodologia da CONAB (2010), com o valor horário equivalente ao salário mínimo rural (Equação 13).

$$CvMo = Ni \times Ns \times 0,5 \times \frac{VSMIn}{220} \quad (13)$$

em que $CvMo$ é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$), Ni é o número de irrigações, Ns é o número de setores do sistema de irrigação e $VSMin$ é o valor do salário mínimo rural (R\$).

O projeto do sistema de irrigação possui seis setores por hectare e o valor do salário mínimo rural considerado foi de R\$ 1.328,51.

Os custos de manutenção foram calculados considerando os valores relativos sobre 1% do valor do sistema de irrigação, somados a 10% do valor gasto com energia, seguindo a metodologia da CONAB (2010) (Equação 14).

$$CvMan = VN \times 0,01 \times \frac{CvE}{10} \quad (14)$$

em que $CvMan$ é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$ ha^{-1}), CvE é o custo variável da energia elétrica.

O ajuste da carga animal foi calculado com base na produtividade de massa de forragem do Tifton 85 em cada período de pastejo (Equação 15).

$$CA = \frac{ProdF}{Pd} \times OF \quad (15)$$

em que CA é a carga animal (kg de PV ha^{-1}), $ProdF$ é a produção de forragem (kg de MS ha^{-1}), Pd é o Período de pastejo (dias) e OF é a oferta de forragem (kg de MS dia^{-1} kg^{-1} de PV).

O Pd utilizado foi de 90 dias, é o intervalo compreendido entre o início do período e o último corte realizado, sendo a OF utilizada de 4% (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV) (HERINGER; CARVALHO, 2002).

Três cenários de ganhos de peso médio diário (GMD) foram estabelecidos com base na carga animal (CA) determinada, sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg de PV $animal^{-1}$ dia^{-1} , amplitude da variação de ganho de peso diário normal em função das diferentes conversões alimentares. O peso vivo inicial dos animais (PV) utilizado para a simulação foi de 300 kg $animal^{-1}$, considerado como o peso médio adequado para o início do período de engorda (KIRCHNER et al., 2019). O ganho de peso vivo (GPV) foi calculado por meio da Equação 20.

$$GPV = \frac{CA}{PV} \times GMD \times Pd \quad (16)$$

em que GPV é o ganho de peso vivo (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).

As receitas brutas estimadas para as diferentes lâminas de irrigação foram obtidas pelas funções de produção forrageira, transformando-as para ganho de peso vivo animal e multiplicando-as pelo preço médio (Equação 17).

$$RB = GPV \times Pp \quad (17)$$

em que RB é a receita bruta (R\$ ha⁻¹) e Pp é o preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹ de PV).

O valor médio de R\$ 7,50 kg⁻¹ de PV foi considerado para a estimativa das receitas, conforme valores médios observados na região durante o ano de 2020.

O retorno líquido das diferentes lâminas de irrigação para os distintos ganhos de peso de 0,5, 1,0 e 1,5 kg dia⁻¹ foi calculado por meio da Equação 18.

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (18)$$

em que 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 a irrigação (R\$ ha⁻¹), CFRI é o custo fixo relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹), CVRI é o custo variável relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹).

A avaliação econômica da irrigação do Tifton 85 foi realizada por meio da comparação das relações benefício-custo (B/C) da produção de dois períodos de pastejo de 90 dias (outubro, novembro e dezembro de 2019 e janeiro, fevereiro e março de 2020).

5 ARTIGO 1 - EFEITO DA IRRIGAÇÃO NOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS, PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PARA O CAPIM TIFTON 85

EFEITO DA IRRIGAÇÃO NOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS, PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PARA O CAPIM TIFTON 85

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho, foi mensurar o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre os parâmetros biométricos, produtividade, qualidade, e eficiência do uso da água para o capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.). O experimento foi conduzido em São Francisco de Assis - RS, durante seis ciclos de pastejo. Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, sendo quatro blocos, com seis tratamentos de irrigação baseados na evapotranspiração de referência (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo), totalizando vinte e quatro unidades experimentais. Os componentes avaliados foram massa de forragem, altura de plantas, índice de área foliar, relação folha colmo, proteína bruta e eficiência do uso da água a cada ciclo de pastejo (30 dias). A irrigação promoveu aumento de produtividade de massa de forragem de capim Tifton 85 e alta eficiência no uso da água, influenciando na variação do índice de área foliar, altura de plantas e teor de proteína bruta positivamente, não tendo influência somente na relação folha/colmo.

Palavras-chave: Lâminas de irrigação, produção de forragem, *Cynodon* spp.

EFFECT OF IRRIGATION ON BIOMETRIC PARAMETERS, PRODUCTIVITY, QUALITY AND EFFICIENCY OF WATER USE FOR TIFTON CAPIM 85

2 ABSTRACT

The objective of this work was to measure the effect of different irrigation depths on biometric parameters, productivity, quality, and water use efficiency for Tifton 85 grass (*Cynodon* spp.). The experiment was carried out in São Francisco de Assis - RS, during six grazing cycles. The experimental design was randomized blocks with six irrigation treatments based on reference evapotranspiration (ETo), they are 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of ETo and four repetitions per treatment, totaling twenty-four units experimental. The yield components

were forage mass, plant height, leaf area index, stem leaf ratio, crude protein and water use efficiency at each grazing cycle (30 days). The irrigation promoted greater productivity of forage mass of Tifton 85 grass, the use of irrigation influenced the variation of the leaf area index, plant height, and crude protein content, positively as the irrigation depth increased, having no influence on the leaf/stem ratio.

Keywords: Irrigation depths, forage production, *Cynodon* spp

3 INTRODUÇÃO

A irrigação de pastagens, comumente utilizada como técnica complementar para o fornecimento de água às plantas, vem se tornando fundamental para garantir a produtividade desses sistemas de produção no Sul do Brasil devido às estiagens recorrentes. No período de 1961-2010, anomalias climáticas ocorreram em 50,8% dos meses, sendo 26,8% dos meses com a ocorrência de El Niño (ocorrência de precipitação pluvial acima da média climatológica) e 24% com La Niña (ocorrência de precipitação pluvial abaixo da média climatológica). Os eventos El Niño e La Niña têm maior ocorrência nos meses de outubro a janeiro, chegando a representar 66% dos casos no mês de dezembro, ou seja, de um a cada três meses de dezembro um terá influência de La Niña e, por consequência, estiagem (MATZENAUER et al., 2018).

A irrigação é uma alternativa para minimizar as perdas de produtividade em anos de precipitação normal, pois a evapotranspiração, geralmente, excede a precipitação pluvial em pastagens na primavera e no verão. Em anos de ocorrência de eventos La Niña, a irrigação pode contribuir para minimizar as perdas de produtividade e, também, para aumentar a produtividade média das pastagens (ANTONIEL et al., 2016).

As pastagens compostas de capins do gênero *Cynodon* se destacam na pecuária por ter alto potencial de produção de forragem, que pode ultrapassar $25.000 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca (GOMES et al., 2015), com alto valor nutricional e teor de proteína bruta superior a 11% da matéria seca (DE MATOS et al., 2013; MARCHESAN et al., 2013; SANCHES et al., 2015). Embora as pastagens desse gênero, especialmente o Tifton 85 (*Cynodon* spp.), tenham alto potencial, é necessário realizar o adequado manejo, principalmente, para suprir a demanda hídrica da cultura.

O Tifton 85 é responsivo à irrigação, com aumento na produtividade, no acúmulo de proteína bruta e na digestibilidade da matéria seca (SANCHES et al., 2015) com o aumento na lâmina de irrigação (SANCHES et al., 2017a). Contudo, embora alguns estudos tenham

avaliado o efeito da irrigação sobre a produtividade do Tifton 85 (GOMES et al., 2015; SANCHES et al., 2015, 2017a; VOGELER et al., 2016; AMARAL, 2019), essas informações foram obtidas em outras regiões, em condições climáticas e edáficas distintas da que ocorre na região centro-oeste do RS e não contemplam as informações sobre a influência de diferentes lâminas de irrigação complementar ao Tifton 85 sob pastejo rotacionado de bovinos.

O manejo da irrigação em pastagens tem sido realizado com base na evapotranspiração de referência (ETo), devido à falta de informações de evapotranspiração de pastagens perenes em sistema de pastejo rotacionado (não há coeficiente de cultura- Kc específico) (ANTONIEL et al., 2016). Contudo, é necessário definir a lâmina de água a ser aplicada, que pode ser maior ou menor do que a evapotranspiração de referência para a obtenção de máxima produtividade com maior eficiência de uso da água. Uma alternativa para aumentar a produção e a eficiência do uso da água nesses sistemas de produção é a irrigação deficitária, que consiste na aplicação de lâminas de água menores do que 100% da lâmina requerida pela cultura (DA SILVA et al., 2017).

A eficiência de uso da água (EUA), tanto para preservação do ambiente, quanto para o retorno econômico da irrigação, tem relação com as lâminas de irrigação aplicadas, em função das condições climáticas e do regime de distribuição das precipitações pluviais (KIRCHNER et al., 2019). A EUA consiste no menor consumo de água para atingir uma meta de produção específica ou para aumentar a produção com um determinado suprimento de água (VELASCO-MUÑOZ et al., 2018), gerando aumento nos ganhos financeiros a um custo social e ambiental mais baixo por unidade de água utilizada (XUE et al., 2017).

O objetivo deste trabalho, foi mensurar o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre os parâmetros biométricos, produtividade, qualidade, e eficiência do uso da água para o capim Tifton 85.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no município de São Francisco de Assis, região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29° 34' 5,46" de latitude sul e 54° 53' 45,94" de longitude oeste, com 115 m de elevação média. O clima da região é do tipo Cfa, com clima predominantemente subtropical, temperado quente, com estações bem definidas, de acordo com a classificação climática de Köppen (ÁLVARES et al., 2013).

Em uma área de pastagem cultivada com Tifton 85, já implantado e estabelecido a cinco anos, é submetida ao pastejo rotacionado de bovinos. Essa área possui um sistema de irrigação por aspersão convencional.

O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018), com valores médios de 95 g kg⁻¹ de argila, 185 g kg⁻¹ de silte e 720 g kg⁻¹ de areia, e textura franco arenosa até 0,40 m de profundidade.

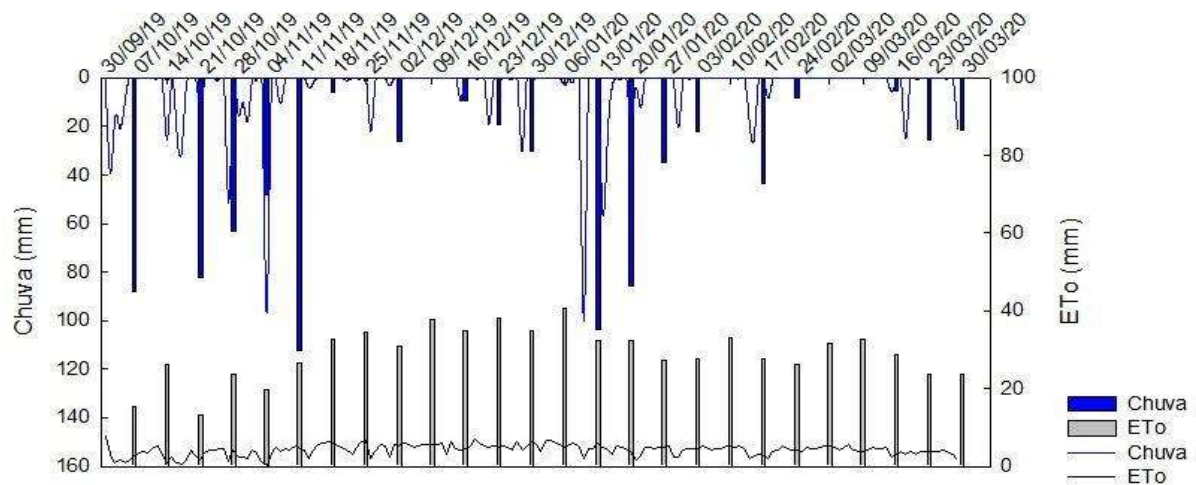
As propriedades químicas do solo foram avaliadas conforme critérios e recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2016) para amostragem de solo em forrageiras, bem como a recomendação de adubação e calagem.

O experimento foi conduzido durante seis meses, período correspondente a seis ciclos de pastejos rotacionados de bovinos em cada piquete, durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2019 e os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020. Os tratamentos consistem na aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação, distribuídas em 4 blocos ao acaso, o que totalizou 24 unidades experimentais.

As diferentes lâminas de irrigação foram aplicadas pelo tempo de acionamento do sistema de irrigação para cada tratamento. Os tratamentos foram: sem irrigação (0%); 25%; 50%; 75%; 100% e 125% da Evapotranspiração de Referência (ET_o). As lâminas de irrigação foram determinadas com base na evapotranspiração de referência somada à eficiência do sistema de irrigação, considerando um turno de rega fixo de 7 dias, quando a precipitação pluvial efetiva não foi suficiente para suprir a demanda hídrica. A ET_o diária (mm d⁻¹) (Figura 1) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), sendo os parâmetros meteorológicos necessários para o cálculo coletados com a utilização de estação meteorológica automática localizada a 50 m da área experimental e complementados por dados de estação do automática do INMET localizada a 17 km da área experimental.

A precipitação efetiva, que consiste na parcela da precipitação total que infiltra no solo descontada a parcela perdida por escoamento superficial, foi considerada a precipitação efetiva como sendo 85% do total precipitado, em solo arenoso declividade do terreno entre 5-10% e cultivado com pastagem, conforme metodologia proposta por Millar (1978).

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_o), precipitação efetiva durante os ciclos de pastejo.



A irrigação foi realizada pelo método de aspersão, com sistema de aspersão convencional fixo, com uma altura manométrica total de 54 m e a vazão do sistema é 12,10 m³ h⁻¹ por setor. A motobomba elétrica utilizada no sistema possui potência de 7,5 cv. A adutora com tubos de 75 mm e comprimento total de 204 m; a linha principal com tubos de 75 mm e comprimento de 100 m e as linhas laterais tubos de 50 mm e comprimento de 72 m de Policloreto de Vinila (PVC). Os aspersores, modelo NY-30 da marca Agropolo®, com bocais 6,2 x 4,6 mm de diâmetro, pressão de serviço entre 20 e 25 mca, 31,5 m de diâmetro de alcance. O espaçamento entre aspersores foi de 18 x 18 m, instalados a 1,2 m de altura em relação ao solo, com uma taxa de aplicação de 9 mm h⁻¹.

A uniformidade de aplicação de água dos aspersores e de distribuição de água no sistema de irrigação, caracterizou-se como desempenho aceitável, com coeficiente de uniformidade Christiansen (CUC = 86,12%) e coeficiente estatístico de uniformidade (CUE = 80,84%) superior ao recomendado para culturas de baixo valor comercial em sistema de aspersão convencional (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

A produção de massa de forragem foi avaliada a cada trinta dias, simulando os ciclos do sistema de pastejo rotacionado, representados pelos meses da avaliação.

A produção de massa de forragem foi estimada com amostras de forragem submetidas ao corte a 0,07 m do solo. Para tanto, uma moldura de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) foi lançada aleatoriamente, 3 vezes, em cada unidade experimental.

As amostras obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos e pesadas para determinação do peso de massa verde (MV). O teor de matéria seca (MS) foi obtido a partir de

secagem de uma subamostra da MV em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas (GARDNER, 1986). A massa de forragem (MF) foi determinada por meio do produto entre a MV e a MS (Equação 1).

$$MF = \frac{(MV \times MS)}{100} \quad (1)$$

em que MF é a massa de forragem (kg ha⁻¹), MV é a massa verde (kg ha⁻¹) e MS é a matéria seca (%).

Um corte foi realizado em cada repetição colhendo-se a biomassa presente em 0,25 m² com corte rente ao solo. O material colhido foi pesado para determinação da produção de massa verde por área. Em seguida, uma subamostra foi retirada, composta de 20 (hastes), que tiveram suas lâminas verdes (folhas) destacadas e fotografadas no Laboratório de Fitotecnia do Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete, o valor referente a área de cada folha foi obtido com o auxílio do programa de computador ImageJ® (RUEDEN et al., 2017).

As frações, folha, colmo e material morto foram separadas. Em seguida foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada a 65°C, por 72 horas ou até peso constante. Com base na relação folha/colmo foi estimado o peso da matéria seca de lâminas foliares (PSL) presente em 1 m² de área útil. A estimativa da área foliar total (lâminas verdes) das plantas (AFT) presentes na área útil foi obtida multiplicando o PSL pela área foliar de 20 hastes, e dividindo o produto pelo peso da matéria seca de lâminas foliares de 20 hastes. O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela Equação 2.

$$IAF = \frac{AFT}{AS} \quad (2)$$

em que: IAF é o índice de área foliar (m² m⁻²); AFT é a área foliar total (m²); AS é a área do solo (m²).

A altura média de planta foi medida com régua graduada em milímetros. Em cada unidade experimental foram feitas três medições com uma folha quadrada de polietileno leve colocada sobre a superfície das plantas, obtendo-se, assim, um valor médio por parcela, a partir de três repetições.

A qualidade da forragem foi avaliada por meio de avaliação da proteína bruta. As amostras foram coletadas, submetidas aos procedimentos de pesagem e pré-secagem. As análises foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do Instituto Federal Farroupilha

Campus Alegrete, pelo método de Kjeldahl, seguindo recomendações propostas por Silva e Queiroz (2002).

A eficiência de uso da água (EUA; $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) para os diferentes tratamentos de irrigação foi calculada por meio da razão entre a produção de massa seca e o total de água (precipitação efetiva + lâmina de água irrigada) ao longo de cada ciclo de pastejo (Equação 4).

$$EUA = \frac{PMS}{TA} \quad (4)$$

em que: PMS é a produção de massa seca (kg ha^{-1}); TA é a total de água ao longo de cada ciclo (mm ha^{-1}).

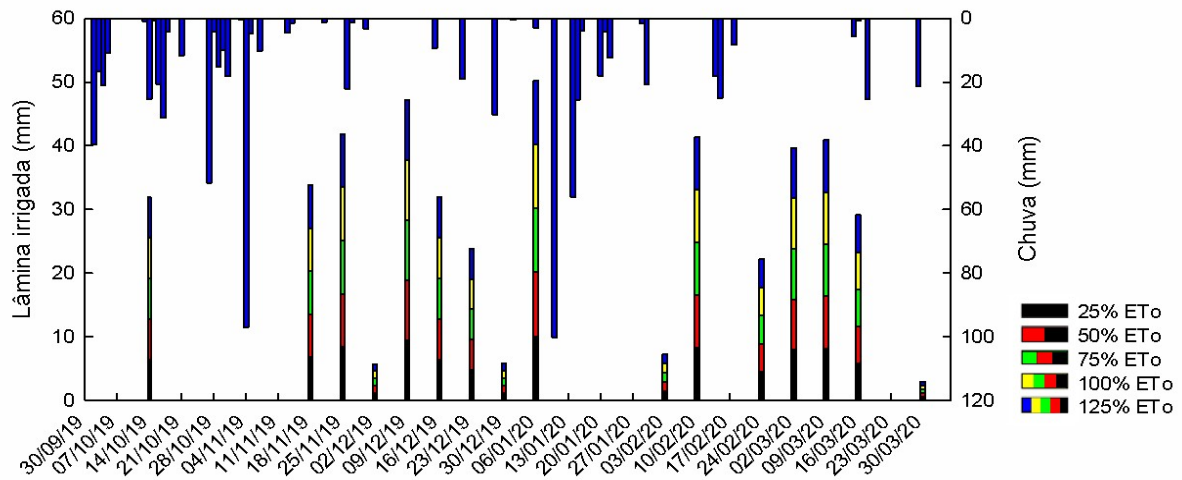
Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software SISVAR[®] (FERREIRA, 2011). Após a realização da ANOVA, a análise de regressão foi realizada com o auxílio do software SigmaPlot[®] 11.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição das chuvas foi irregular ao longo do trabalho (Figura 2), o que causou deficiência hídrica. Além disso, o sistema de pastejo rotacionado demanda necessidade de rebrota em períodos curtos (30 dias), implicando na necessidade de uso da irrigação para a cultura atingir seu potencial genético.

Desta maneira, ao longo dos seis ciclos de pastejo foram necessárias 16 irrigações, sendo uma realizada no mês de outubro, duas no mês de novembro, quatro no mês de dezembro (2019), duas no mês de janeiro, três no mês de fevereiro e quatro no mês de março (2020). Entretanto, ao longo desses ciclos produtivos ocorreram períodos de excesso hídrico.

Figura 2. Precipitação efetiva e lâminas de irrigação aplicadas durante os ciclos de pastejo.

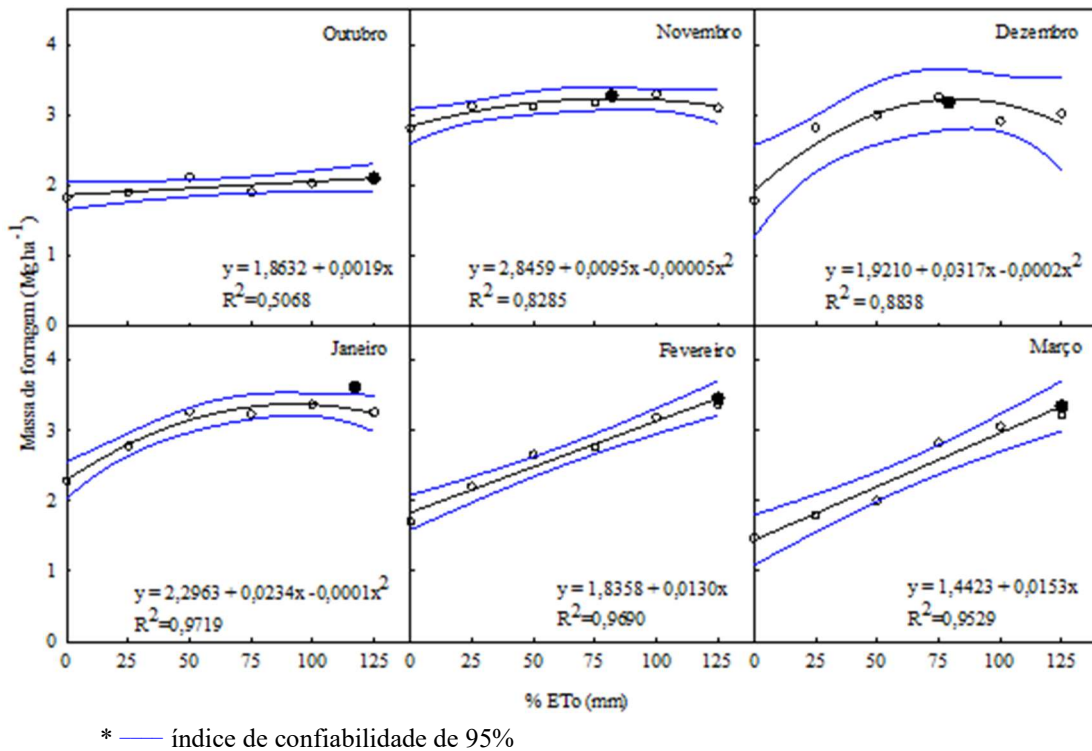


A precipitação efetiva durante o período da condução do experimento foi de 836,7 mm em um intervalo de tempo de seis meses, valor maior que a média histórica (1991-2010) de precipitação que é 621,9 mm para esse período no Rio Grande do Sul (REBOITA; KRUCHE, 2018). Essa precipitação efetiva total é suficiente para o suprimento da demanda hídrica da cultura do Tifton 85 de, aproximadamente, 140 mm por mês (SANCHES et al., 2017b).

Ocorreu excesso hídrico no mês de outubro (Figura 2), o que proporcionou menor produção de massa de forragem (MF) para esse ciclo de pastejo. Isso pode ser justificado, uma vez que espécies do gênero *Cynodon* são sensíveis ao excesso de água do solo principalmente na fase vegetativa inicial de rebrota (NASCIMENTO FILHO et al., 2020).

A Figura 3 apresenta os dados obtidos para a máxima eficiência técnica para a produção de forragem em cada mês avaliado no estudo.

Figura 3. Função de produção de forragem em função da lâmina de irrigação e máxima eficiência técnica (MET).



A equação de produção de forragem de Tifton 85 em função das lâminas de irrigação, no mês de outubro não apresentou aumento significativo, já nos meses de novembro, dezembro e janeiro as equações apresentaram ajustamento com comportamento quadrático e comportamento linear nos meses de fevereiro e março.

A máxima eficiência técnica (MET) foi obtida para a lâmina irrigada de 80% da ETo nos meses de novembro e dezembro. No mês de janeiro a MET foi observada para uma lâmina 117% da ETo e nos meses de fevereiro e março a MET observada para uma lâmina de 125% da ETo.

Respostas produtivas ajustadas por funções quadráticas, às lâminas de irrigação para a produção de pastagens, foram obtidas para as culturas da *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça (ANTONIEL et al., 2016), sorgo forrageiro (KIRCHNER et al., 2019) e capim sudão (MEZZOMO et al., 2020), submetidas a diferentes lâminas de irrigação com valores percentuais da evapotranspiração de referência (ETo) na região sul do Brasil.

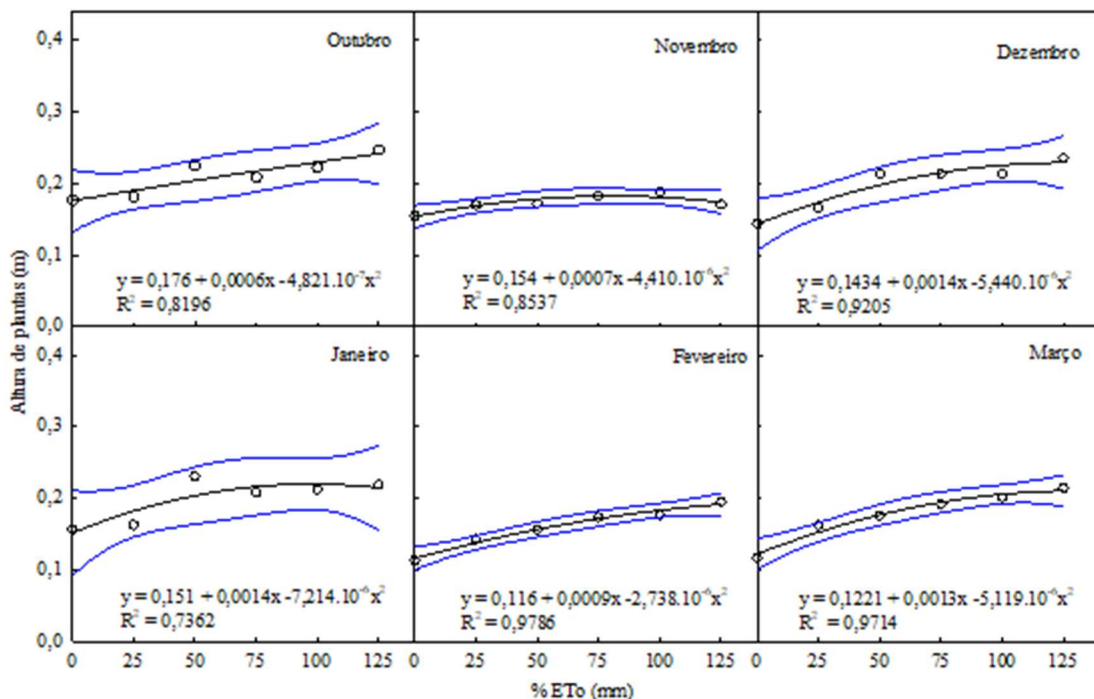
Em estudo conduzido na cidade de Mariluz - PR, Sanches et al. (2017a) utilizando a irrigação baseada na ETo obtiveram um incremento na produção de massa de forragem em Tifton 85, ao longo dos ciclos de pastejo, com produtividade média de 3.625,5 e 2.074,1 kg ha⁻¹

¹ ciclo⁻¹ de massa seca de forragem irrigada e não irrigada, respectivamente, aumentando em 74,79% a produção e contribuindo para mais ciclos de pastejo.

Resultados semelhantes foram encontrados em avaliação realizada no município de Xambê, região noroeste do Paraná, para a produtividade de matéria seca do capim Tifton 85, onde foi alcançado um total de 39.279 e 27.826 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ com e sem a utilização da irrigação, respectivamente, no somatório dos ciclos de produção o aumento foi de 41,15% com o uso da irrigação (GOMES et al., 2015). Estes resultados somados aos obtidos neste estudo, afirmam a resposta positiva do Tifton 85 a utilização da irrigação na região Sul do Brasil.

A altura de plantas é um componente importante para o manejo da cultura pois determina o momento adequado de entrada e saída dos animais nas áreas de pastejo, no presente estudo para os ciclos referentes aos meses de outubro, novembro e janeiro este componente não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem irrigação. Já para os meses de dezembro, fevereiro e março houve diferença significativa entre os tratamentos. A Figura 4 apresenta o comportamento da altura das plantas nos diferentes ciclos avaliados.

Figura 4. Altura média de plantas da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.



* — índice de confiabilidade de 95%

As alturas de plantas encontradas neste trabalho foram de modo geral inferiores a 0,25 m para todos os tratamentos, as médias que mais se aproximaram deste valor foram as dos

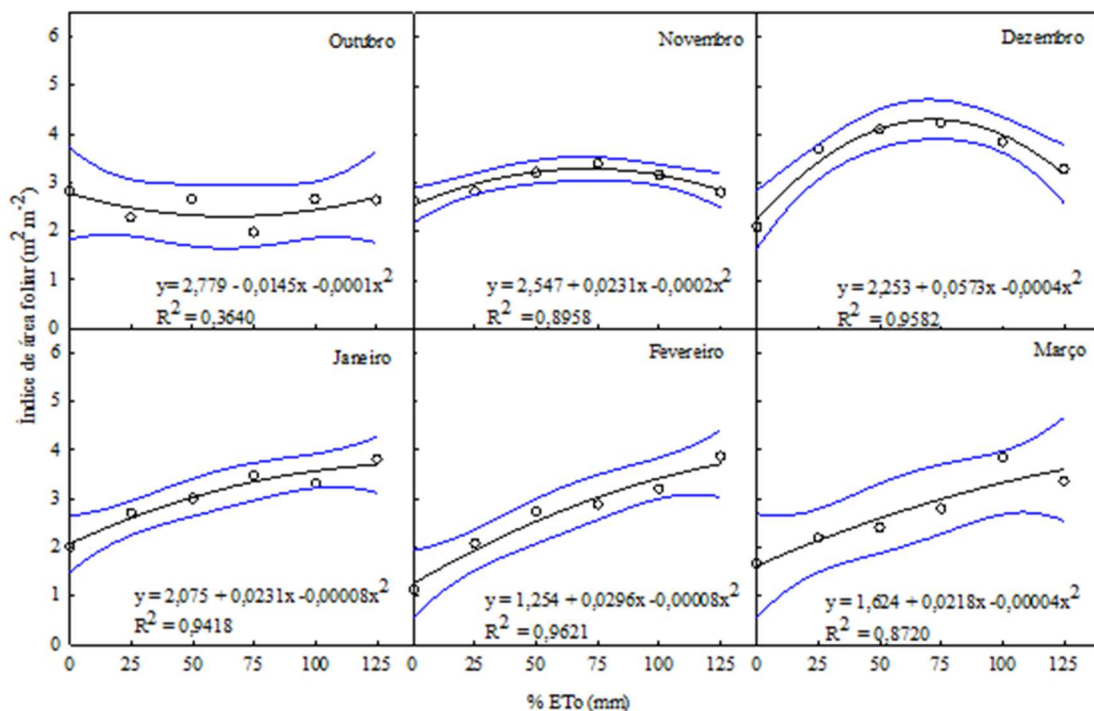
tratamentos com lâmina de 125% da ETo, seguido pelo tratamento com lâmina de 100% da ETo. A altura ideal para o pastejo ou corte do Tifton 85 é de 0,25 m, pois é nessa altura que ocorre o maior percentual de interceptação da luz solar (PEDREIRA et al., 2018).

No entanto, em outro estudo conduzido na região sudeste do Brasil avaliando a cultura do Tifton 85 irrigado, a altura de planta obtida foi de 0,19 m na estação quente e de 0,12 m na estação fria, com 28 dias de intervalo entre cortes (SILVA et al., 2019). Esses valores corroboram, com os encontrados neste trabalho, em que a altura média das plantas para todos os ciclos foi de 0,14 m sem irrigação e 0,20 m na lâmina de 100% da ETo.

Os tratamentos sem irrigação (0%) e 25% da ETo proporcionaram as menores alturas de plantas nos ciclos de pastejo de dezembro e janeiro. Para os ciclos de fevereiro e março, a altura de plantas aumentou conforme o aumento na lâmina de irrigação. Silva et al., (2017) afirmam que alturas de plantas superiores a 0,25 m aumentam a taxa de senescência e crescimento do caule, fatores que não são interessantes na produção de uma pastagem de qualidade.

A análise da influência das diferentes lâminas de irrigação no IAF do Tifton 85 evidenciou comportamentos distintos nos diferentes ciclos em função das lâminas de irrigação (Figura 5).

Figura 5. Índice de área foliar da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.



* — índice de confiabilidade de 95%

No ciclo de pastejo do mês de outubro ocorreu uma baixa correlação entre os dados, além de não apresentarem um comportamento padrão, isso pode ser justificado pelas elevadas precipitações que ocorreram neste período, os resultados encontrados neste ciclo são muito próximos e podem ter sido causados por fatores externos aos tratamentos.

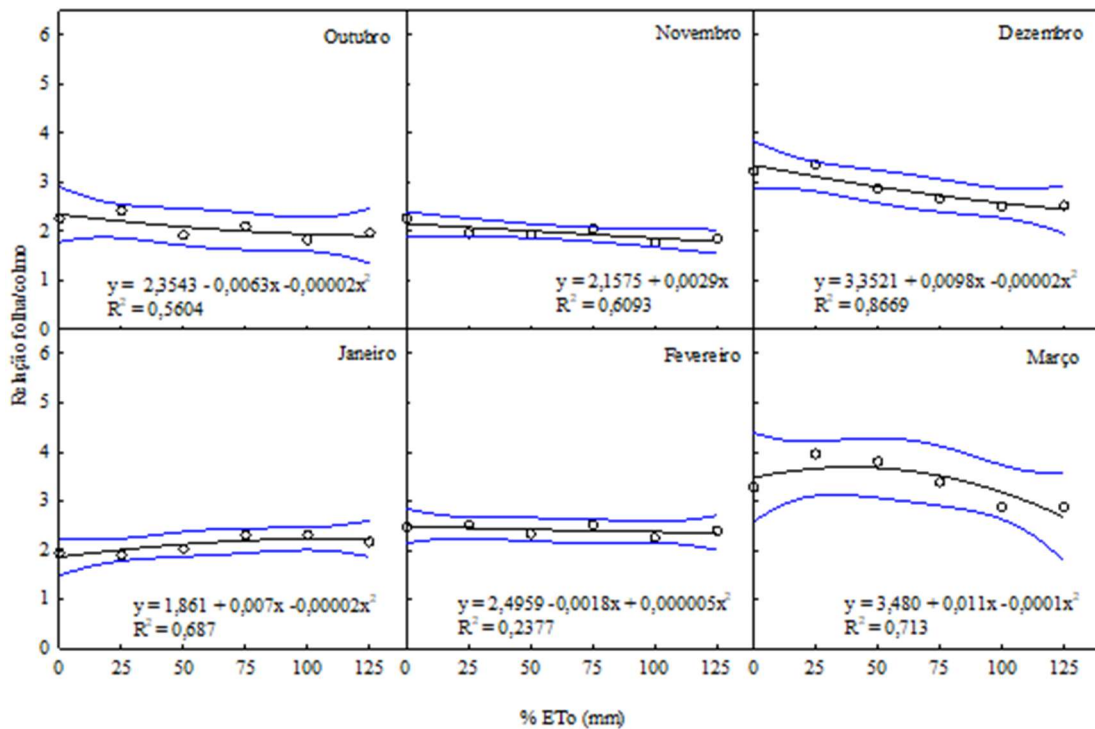
Para os demais ciclos o comportamento foi quadrático correspondendo ao esperado para este tipo de avaliações, nos meses de novembro e dezembro o ponto de inflexão ficou próximo a 75% de ETo, já para os meses de janeiro fevereiro e março este ponto foi mais próximo da lâmina de 125% da Eto.

Os valores de IAF para esse estudo foram, acima de três na maioria dos ciclos de pastejo para o tratamento com lâmina de 100% da ETo, exceto para o ciclo de pastejo referente ao mês de outubro. O valor de IAF ótimo para pastagens varia de três a cinco, sendo esse intervalo na qual proporciona, aproximadamente, 95% de interceptação de luz, entretanto, espécies que têm folhas mais direcionadas horizontalmente, como é o caso do *Cynodon*, podem apresentar valores mais baixos de IAF (REIS et al., 2013).

Em estudo conduzido no município de Bom Despacho, MG com a cultura do Tifton 85 irrigado em condição de déficit hídrico Da Silva et al., (2017), encontraram um IAF médio de 2,19 na lâmina de 28% da ETc e de 2,76 para 86% da ETc, este estudo corrobora com os resultados encontrados neste estudo onde os valores para as lâminas equivalentes foram próximos.

Outro parâmetro biométrico da cultura do Tifton 85 avaliado neste trabalho, para os seis ciclos de pastejo, em função às diferentes lâminas de irrigação foi à relação folha/colmo (Figura 6).

Figura 6. Relação folha/colmo da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.



A relação folha/colmo diferiu entre tratamentos no ciclo de pastejo do mês de outubro, a falta de correlação tendência no comportamento dessa variável em função do tratamento ocorreu, possivelmente, devido ao efeito de fatores ambientais externos, sendo menos influenciada pela irrigação.

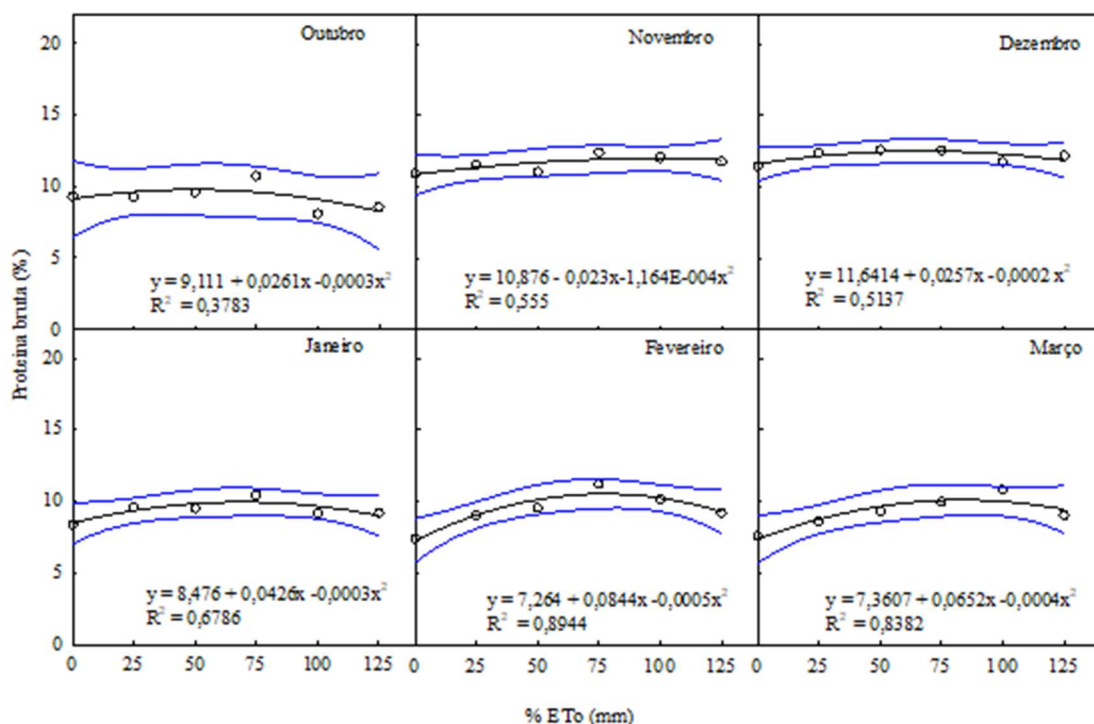
A relação folha/colmo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nos ciclos de pastejo dos meses de novembro, janeiro e fevereiro. Avaliando a relação folha/colmo para Tifton 85, para tratamentos de reposição de 0% e 100% da ETo, Gomes et al. (2015) também observou que a irrigação não afetou a relação folha/colmo, em estudo realizado no município de Xambrê, região noroeste do Paraná. Além disso, em outro estudo não foi observada diferença na relação folha/colmo para Tifton 85 sobressemeado com aveia preta (*Avena strigosa*), para os tratamentos com e sem uso de irrigação (FARIAS FILHO et al., 2018).

Nos ciclos de pastejo dos meses de dezembro e março, a maior relação folha/colmo foi resultante do tratamento de 25% da ETo. E a menor relação folha/colmo nestes ciclos foi proporcionada pelo tratamento 100% da ETo. A relação folha/colmo teve o segundo maior valor para o tratamento sem irrigação para dezembro. Sendo inversamente proporcional aos demais parâmetros biométricos.

Mezzomo et al. (2021) ao trabalharem durante duas safras com Capim Sudão na região de Santa Maria - RS, observaram que a relação folha/colmo não apresentou diferença estatística significativa para as lâminas de irrigação testadas, exceto no primeiro corte da segunda safra com o maior valor para a lâmina de 25% da ETo, corroborando com o presente estudo pois demonstra que a cultura sob estresse hídrico tende a aumentar o valor dessa relação devido a um menor volume de colmo.

Além da avaliação de parâmetros biométricos de produção, avaliar a qualidade das pastagens é primordial para a definição de estratégias de manejo de sistemas pastoris irrigados a partir desse conhecimento pode ser vistas as inter-relações existentes no sistema produtivo como um todo, sendo, além da oferta de forragem, o ganho de animal o principal componente para obtenção de lucro nessa atividade, é influenciado diretamente pela qualidade do pasto. Como indicador da qualidade da pastagem, a proteína bruta foi avaliada nas diferentes lâminas de irrigação para os seis ciclos de cultivo (Figura 7).

Figura 7. Proteína bruta da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), ao longo dos ciclos de pastejo.



* — índice de confiabilidade de 95%

A proteína bruta não apresentou diferença entre tratamentos no ciclo de pastejo para os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e março. No ciclo de pastejo de fevereiro, esta variável apresentou diferença entre as lâminas de irrigação, onde a maior proteína bruta foi

proporcionada pelo tratamento de 75% da ETo, e sendo o menor percentual de proteína bruta resultante do tratamento sem irrigação.

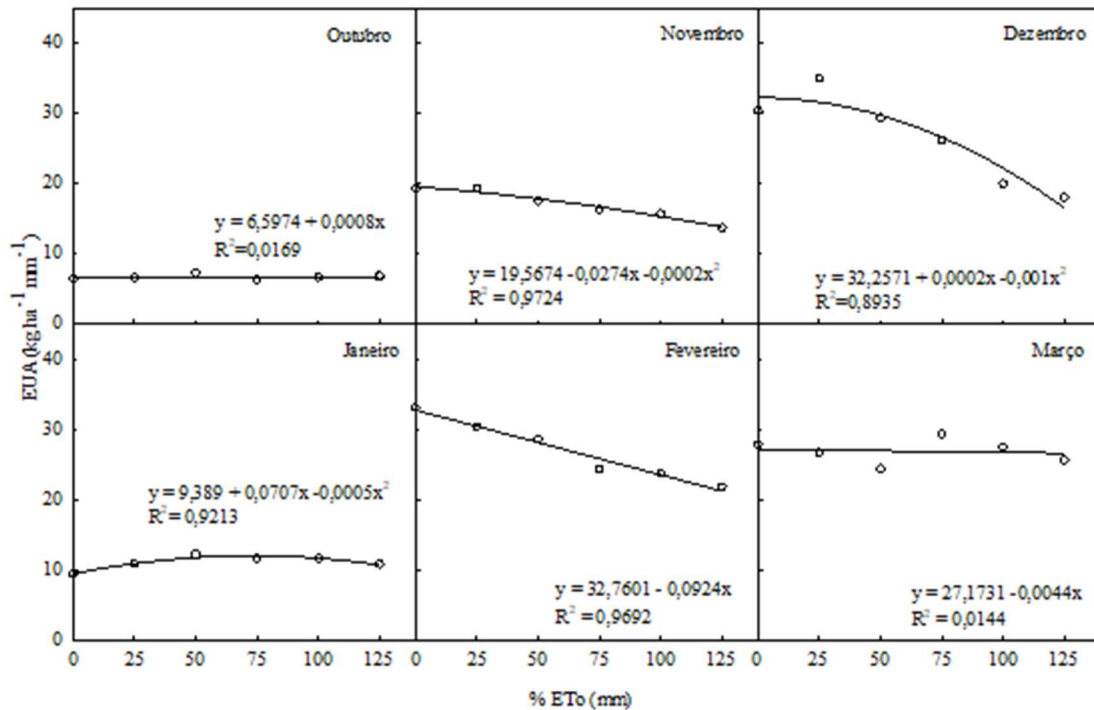
De maneira geral os maiores valores de proteína bruta foram observados no tratamento referente à lâmina de 75% da ETo para todos os meses analisados, chegando a valores médios superiores a 11% para esta lâmina. Estes valores observados no trabalho demonstram a qualidade nutricional desta pastagem, pois, segundo Taffarel et al. (2016). relatam que o capim Tifton 85 com proteína bruta acima de 7% possui boa qualidade nutricional, porém, valores de proteína bruta abaixo de 7% limitam o consumo para bovinos.

Os valores de proteína bruta obtidos neste estudo foram menores do que os observados no estudo realizado por Souza et al. (2020) para espécies do gênero do *Cynodon* spp. da coleção mantida pelo Sistema Nacional de Germoplasma de Plantas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NPGS) onde os menos encontraram valores de 11,6 % a 15,7 %.

Um principal fator responsável pelo aumento de proteína é a adubação nitrogenada, que pode aumentar a concentração de proteína foliar do Tifton 85 podendo chegar até 164% (SANCHES et al., 2017). Entretanto, neste estudo isto não demonstrou variação, uma vez que a dose de nitrogênio foi a mesma para todos os tratamentos. Teores de proteína bruta semelhantes às médias deste estudo, foram encontrados em trabalhos de Oliveira et al. (2016), Quaresma et al. (2011) e Sanches et al. (2017), variando de acordo com a dose de nitrogênio aplicado, e não variando pelas diferentes disponibilidades hídricas.

Já a eficiência de uso da água (EUA) teve comportamentos distintos entre os diferentes ciclos de pastejo analisados, sendo estes lineares e quadráticos e lineares (Figura 8). A EUA em função das diferentes lâminas de irrigação teve relação significativa apenas para os ciclos de pastejo dos meses de janeiro e de fevereiro. O ciclo de pastejo de janeiro teve a máxima eficiência técnica da EUA com 71% da ETo. No ciclo de pastejo de fevereiro, a eficiência de uso da água teve relação inversa com o aumento da lâmina de irrigação.

Figura 8. Eficiência de uso da água em função da lâmina de irrigação.



A perda de produtividade da cultura ocorre sob déficit hídrico, no entanto, a maior eficiência do uso da água pela cultura (EUA) é, frequentemente, alcançada em condições de estresse hídrico (FAROOQ et al., 2019), embora com produtividade reduzida, como foi observado neste estudo. Portanto, é importante identificar estratégias de manejo de culturas que otimizem a EUA sem sacrificar a produtividade alcançável sob disponibilidade limitada de água.

Resultados obtidos na região de Santa Maria-RS, observaram eficiência de utilização da água de 23,2 kg mm⁻¹ e 14,3 kg mm⁻¹ sem irrigação e de 25,7 kg de MS mm⁻¹ e 20,8 kg de MS mm⁻¹ com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, em dois anos de cultivo de capim Sudão (MEZZOMO et al., 2020), e EUA de 19,81 kg de MS mm⁻¹ com uma lâmina de 100% da ETo e 15,01 MS mm⁻¹ no tratamento sem irrigação para a cultura do sorgo forrageiro irrigado (KIRCHNER et al., 2019).

Embora seja bem aceito que os tipos de cultura diferem na eficiência do uso de água (EUA), por exemplo, o sorgo é uma das culturas mais eficientes, com produção de 5,99 kg m⁻³, não há consenso sobre os principais fatores que afetam a EUA das principais culturas, os efeitos do padrão de precipitação, tipo de solo e regime climático são os principais (MBAVA et al., 2020).

A fim de melhorar a eficiência do uso da água na agricultura, estudos com diversas culturas têm mostrado resultados positivos a irrigações deficitárias, por exemplo, com o sorgo forrageiro *Sorghum bicolor* L. (Moench) (ZWIRTES et al. 2015) e Tifton 85 *Cynodon* spp (DA SILVA et al., 2017) no Brasil; trigo *Triticum* spp (WEI et al., 2018) e milho *Zea mays* (HU et al., 2019) na China; azevém *Lolium multiflorum* (ROGERS et al., 2020) na Austrália; sorgo granífero *Sorghum bicolor* (BELL et al., 2018), e milho (COMAS et al., 2019), nos Estados Unidos; tanto para aplicações de lâminas menores que as requeridas pelas culturas, quanto para estratégias de irrigação, onde não são realizadas algumas irrigações pontuais.

6 CONCLUSÕES

A irrigação promove aumento de produtividade de massa de forragem de capim Tifton 85, apresentando-se como uma alternativa para produtores da região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul;

A eficiência no uso da água, apresentou relação inversa ao aumento da lâmina de irrigação. Com a maior eficiência de uso da água média na lâmina de 25% da ETo.

O uso da irrigação influenciou na variação do índice de área foliar, altura de plantas e teor de proteína bruta positivamente, conforme o aumento da lâmina de irrigação até atingir a máxima eficiência técnica nos ciclos onde a irrigação foi a principal fonte de água para a cultura, não tendo influência na relação folha/colmo.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Roma: FAO**, v. 298, n. 0, 2006.
- ÁLVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013. Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMARAL, M. A. C. M. Desempenho produtivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação. **Revista GEAMA**, v. 5, n. 2, p. 30-37, 2019.
- ANTONIEL, L. S. et al. Pasture production under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p539-544>
- BELL, J. M. et al. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 289-296, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.002>

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 8. ed., 2009. 625 p.
- COMAS, L. H. et al. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 433-440, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.015>
- DA SILVA, A. C. C. et al. Tifton 85 production under deficit irrigation. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 49, n. 2, p. 117-126, 2017.
- DE MATOS, A. T. et al. Produtividade e Composição química do capim-Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduo sólido urbano. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.188-200, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000100019>
- FARIAS FILHO, J. A. et al. Production and quality of Tifton 85 pastures overseeded with black oat: effects of irrigation and nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 5, p. 2071-2080, 2018. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2071>
- FAROOQ, M. et al. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 95-108, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciênc. agrotec.** v. 35, n. 6, p. 1039-1042. 2011 [Doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001).
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.
- GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA/EMBRAPA-CNPGL, 1986. 197 p.
- GOMES, E. P. et al. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 317–323, 2015. [Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p317-323](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p317-323)
- HU, Yajin et al. Effects of the combined application of biomaterial amendments and polyacrylamide on soil water and maize growth under deficit irrigation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 99, n. 2, p. 182-194, 2019. <https://doi.org/10.1139/cjss-2018-0091>
- KIRCHNER, J. H. et al. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, 2019. [Doi:10.5039/agraria.v14i2a5646](https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5646)
- MARCHESAN, R. et al. Produção e composição química-bromatológica de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers) sob pastejo contínuo no período hibernal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1935-1944, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1935

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2018. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>

MBAVA, N. et al. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105878, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105878>

MEZZOMO, W. et al. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 143-159, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p143-159>

MEZZOMO, W. et al. Características biométricas do capim sudão (brs estribo) sob diferentes lâminas suplementares de irrigação. **Irriga**, v. 26, n. 1, p. 165-185, 2021. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p165-185>

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1978.

NASCIMENTO FILHO, A. A. do et al. Effect of excess soil water on the development of Bermuda grass (*Cynodon* spp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 298-303, 2020. [Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p298-303](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p298-303)

OLIVEIRA, V. D. S. et al. 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.

OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land use policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. [Doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010)

PEDREIRA, C. G. S. et al. Fixed versus variable rest period effects on herbage accumulation and canopy structure of grazed 'Tifton 85' and 'Jiggs' Bermuda grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 113-120, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000100013>

REBOITA, M. S.; KRUCHE, N. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 165-179, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786331010>

ROGERS, M. E. et al. Management options for improved survival of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) under restricted irrigation during summer. **Crop and Pasture Science**, 2020. <https://doi.org/10.1071/CP20279>

RUEDEN, C. T. et al. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. **BMC bioinformatics**, v. 18, n. 1, p. 529, 2017. DOI 10.1186/s12859-017-1934-z

SANCHES, A. C. et al. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 126-133, 2015. [Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p126-133](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p126-133)

SANCHES, A. C. et al. Productivity and nutritive value of Tifton 85 in summer, with and without irrigation under different nitrogen doses. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017a. Doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p246-256/2017

SANCHES, A. C. et al. Consumo de água por gramíneas forrageiras tropicais no período de formação da pastagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, pág. 1291-1301, 2017b. DOI: 10.7127/rbai.v11n200606.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, V. J. et al. Growth Analysis of Brachiariagrasses and ‘Tifton 85’ Bermudagrass as Affected by Harvest Interval. **Crop Science**, v. 59, n. 4, p. 1808-1814, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.01.0030>

SILVA, W. L. et al. Effect of residual leaf area index on spatial components of Tifton 85 pastures and ingestive behaviour of sheep. **Animal Production Science**, v. 57, n. 5, p. 903-911, 2017. <https://doi.org/10.1071/AN15087>

SOUZA, C. de et al. Natural Genetic Diversity of Nutritive Value Traits in the Genus *Cynodon*. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1729, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111729>

TAFFAREL, L. E. et al. Produção de matéria seca e valor nutritivo do feno do tifton 85 adubado com nitrogênio e colhido com 35 dias. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 3, 2014. Doi.org/10.1590/S1519-99402014000300003

VELASCO-MUÑOZ, J. F. et al. Advances in Water Use Efficiency in Agriculture: A Bibliometric Analysis. **Water**, v. 10, n. 4, p. 377-394, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10040377>

VOGELER, I. et al. Effect of inter-annual variability in pasture growth and irrigation response on farm productivity and profitability based on biophysical and farm systems modelling. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 564-575, 2016b. Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.006

WEI, Z. et al. Study on deficient irrigation mode of winter wheat in Jinghuiqu irrigation district. **Water Saving Irrigation**, n. 6, p. 46-51, 2018.

XUE, J. et al. Water saving practices enhance regional efficiency of water consumption and water productivity in an arid agricultural area with shallow groundwater. **Agricultural Water Management**, v. 194, p. 78–89, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.003>

ZWIRTES, A. L. et al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 976-688, 2015. Doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p676-688/2015

6 ARTIGO 2 – DESEMPENHO PRODUTIVO E ESTIMATIVA DO RETORNO ECONÔMICO DO TIFTON 85 IRRIGADO DESTINADO AO PASTEJO BOVINO

DESEMPENHO PRODUTIVO E ESTIMATIVA DO RETORNO ECONÔMICO DO TIFTON 85 IRRIGADO DESTINADO AO PASTEJO BOVINO

1 RESUMO

A irrigação em forrageiras, para bovinocultura, garante estabilidade e aumento de produção. Entretanto, essa técnica aumenta o custo de produção, o qual deve ser inferior ao rendimento financeiro gerado para que o investimento seja técnica e economicamente viável. Objetivou-se, neste estudo, avaliar a produtividade do capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*), destinado à pastagem de bovinos de corte, submetido a diferentes lâminas de irrigação e estimar a viabilidade econômica da utilização de irrigação por aspersão convencional. A produtividade do capim Tifton 85 submetido às lâminas de irrigação de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo foi avaliada em estudo conduzido em São Francisco de Assis - RS, durante dois ciclos de pastejo (2019 e 2020). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As funções de produção ajustadas foram usadas para calcular a carga animal e os custos de produção para cada condição hídrica, considerando três cenários de ganho de peso diário por animal (0,5, 1,0 e 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹), e o retorno financeiro para cada cenário. A irrigação é viável economicamente, a maior receita líquida na lâmina de 125% da ETo, entretanto, a conversão alimentar dos animais é o fator determinante na relação benefício-custo.

Palavras-chave: lâminas de irrigação, produção de forragem, custo da irrigação, relação custo-benefício

PRODUCTIVE PERFORMANCE AND ESTIMATION OF THE ECONOMIC RETURN OF THE IRRIGATED TIFTON 85 FOR BOVINE GRAZING

2 ABSTRACT

Irrigation in forage for cattle, ensures production stability and increased yields. However, this technique raises the cost of production, which must be lower than the yields to guarantee the option for the investment, its technical and economic viability. In order to evaluate the

productivity of Tifton 85 grass (*Cynodon* spp.), Intended for pasture of beef cattle, submitted to different irrigation depths, in addition to the costs for using the conventional sprinkler system and other costs, for the estimation of viability economical. This work was carried out in two grazing cycles (2019 and 2020) in São Francisco de Assis - RS, productivity was evaluated in the depths of 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of ETo, in four replications, block design by chance. With adjusted production functions, the animal load was calculated and simulated three scenarios of daily weight gain per animal (0.5, 1 and 1.5 kg animal⁻¹ day⁻¹), the production costs for each water condition, and financial return for each scenario. It was found that irrigation is economically viable, the highest net revenue in the depth of 125% of ETo, however, the feed conversion of the animals is the determining factor in the benefit-cost ratio.

Keywords: irrigation depths, forage production, irrigation cost, cost-benefit ratio

3 INTRODUÇÃO

As pastagens cultivadas compõem a principal fonte de alimentação para rebanhos bovinos na América do Sul (SBRISSIA et al., 2017). No Brasil, as áreas de pastagens cultivadas têm aumentado (OLIVEIRA et al., 2017), devido ao baixo custo de produção (OLIVEIRA et al., 2016). Contudo, a área total cultivada não atende à demanda total da dieta, em função da tendência de aumento do rebanho. O aumento na produtividade, para atender essa demanda, pode ser obtido com o uso de tecnologias para potencializar as condições climáticas e o potencial produtivo dos solos dessas áreas (OJEDA et al., 2018).

O cultivo de pastagens com grande capacidade de produção de biomassa, como a de Tifton 85 (*Cynodon* spp.), é uma alternativa para suprir essa demanda, e reduzir o aumento de áreas, pois áreas cultivadas com essa forrageira podem comportar alta taxa de lotação animal. Além disso, o Tifton 85 pode ser utilizado para produção de feno para a alimentação animal nas entressafras. No entanto, o máximo potencial produtivo depende do adequado manejo da pastagem (TAFFAREL et al., 2014).

O manejo das pastagens de Tifton 85 com irrigação, diminui os riscos de perda de produção gerado pelo déficit hídrico (TAFFAREL et al., 2014; SANCHES et al., 2015). Contudo, a irrigação deve ser economicamente viável. O investimento de capital em infraestrutura de irrigação e custos operacionais associados aumenta os riscos financeiros. Assim, para que a irrigação seja economicamente viável, o aumento na produção deve gerar renda adicional suficiente para cobrir os custos da instalação do sistema de irrigação, bem como

quaisquer outros custos, incluindo pagamentos de financiamentos e juros, custos variáveis associados ao uso da irrigação, incluindo eletricidade e mão de obra (VOGELER et al., 2016a).

A quantidade de água aplicada exerce influência no rendimento das culturas por área, contudo maiores lâminas de irrigação podem aumentar os custos de produção com aumento de produtividade que não seja proporcional ao aumento nos custos, o que pode não compensar o uso da técnica de irrigação (CASTRO JÚNIOR et al., 2015), de forma economicamente viável. Estudos relacionados à resposta produtiva de pastagens a diferentes lâminas de irrigação são escassas na literatura. Faltam estudos relacionando regimes hídricos de pastagens que subsidiam a escolha do sistema de irrigação e sua gestão (ANTONIEL et al., 2016).

A viabilidade econômica da irrigação vem sendo avaliada para distintos cultivos (SANTANA et al., 2009; ZWIRTES et al., 2015; GOMES et al., 2018; TORRES et al., 2019; KIRCHNER et al., 2019b; MEZZOMO et al. 2020), contudo as informações para sistemas cultivados com Tifton 85 ainda são incipientes, principalmente em sistemas de produção pecuária na região centro-oeste do RS.

O Tifton 85 é responsivo à irrigação, com aumento na produtividade, no acúmulo de proteína bruta e na digestibilidade da matéria seca (SANCHES et al., 2015) com o aumento na lâmina de irrigação (SANCHES et al., 2017a). Contudo, embora alguns estudos tenham avaliado o efeito da irrigação sobre a produtividade do Tifton 85 (GOMES et al., 2015; SANCHES et al., 2015, 2017b; VOGELER et al., 2016b; AMARAL, 2019), essas informações foram obtidas em outras regiões com condições climáticas e edáficas distintas da que ocorrem na região centro-oeste do RS e não contemplam as informações sobre a viabilidade econômica da irrigação do Tifton 85 sob pastejo rotacionado.

Com isso o presente trabalho teve o objetivo de mensurar o efeito da irrigação sobre a produtividade do capim Tifton 85, calcular a lâmina de irrigação com máxima eficiência técnica para as condições locais ou semelhantes e estimar o retorno econômico para a engorda de bovinos em diferentes cenários de ganho de peso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de São Francisco de Assis, região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29° 34' 5,46" de latitude sul e 54° 53' 45,94" de longitude oeste, com 115 m de elevação média. O clima da região é do tipo

Cfa, com clima predominantemente subtropical, temperado quente, com estações bem definidas, de acordo com a classificação climática de Köppen (ÁLVARES et al., 2013).

O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (SANTOS et al., 2018), com valores médios de 95 g kg⁻¹ de argila, 185 g kg⁻¹ de silte e 720 g kg⁻¹ de areia, e textura franco arenosa até 0,40 m de profundidade.

A pastagem cultivada com Tifton 85, já implantada e estabelecida a cinco anos, é submetida ao pastejo rotacionado de bovinos. Essa área possui um sistema de irrigação por aspersão convencional.

4.2 Tratamentos, delineamento experimental e sistema de irrigação

O experimento foi conduzido em dois ciclos de engorda de bovinos, sendo o primeiro durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2019 e o segundo durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020, o mesmo foi constituído na aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação (6 tratamentos), distribuídas em 4 blocos ao acaso, o que totalizou 24 unidades experimentais.

As diferentes lâminas de irrigação foram aplicadas pelo tempo de acionamento do sistema de irrigação para cada tratamento. Os tratamentos foram: sem irrigação (0%); 25%; 50%; 75%; 100% e 125% da Evapotranspiração de Referência (ET_o). As lâminas de irrigação foram determinadas com base na evapotranspiração de referência somada à eficiência do sistema de irrigação, considerando um turno de rega fixo de 7 dias, quando a precipitação pluvial efetiva não foi suficiente para suprir a demanda da cultura. A ET_o diária (mm d⁻¹) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), sendo os parâmetros meteorológicos necessários para o cálculo coletados com a utilização de estação meteorológica automática localizada a 50 m da área experimental.

A precipitação efetiva foi calculada conforme metodologia proposta por Millar (1978), onde a parcela da precipitação total que é perdida por escoamento superficial, em solo com textura arenosa, declividade do terreno entre 5-10% e cultivado com pastagem, é de 15% do total precipitado.

A irrigação foi realizada pelo método de aspersão, com sistema convencional fixo, com uma altura manométrica total de 54 m e a vazão do sistema é 12,10 m³ h⁻¹ por setor. A motobomba elétrica utilizada no sistema possui potência de 7,5 cv. A adutora com tubos de 75 mm e comprimento total de 204 m; a linha principal com tubos de 75 mm e comprimento de 100 m e as linhas laterais tubos de 50 mm e comprimento de 72 m de Policloreto de Vinila

(PVC). Os aspersores, modelo NY-30 da marca Agropolo, possuem bocais com 6,2 x 4,6 mm de diâmetro, pressão de serviço entre 20 e 25 mca, 31,5 m de diâmetro de alcance. O espaçamento entre aspersores é de 18 x 18 m, instalados a 1,2 m de altura em relação ao solo, com uma taxa de aplicação de 9 mm h⁻¹.

A uniformidade de aplicação de água dos aspersores e de distribuição de água no sistema de irrigação, teve desempenho aceitável, com coeficiente de uniformidade Christiansen (CUC = 86,12%) e coeficiente estatístico de uniformidade (CUE = 80,84%) superior ao recomendado para culturas de baixo valor comercial em sistema de aspersão convencional (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

4.3 Avaliação da produção do tifton 85

A produção de massa de forragem foi avaliada a cada trinta dias, simulando os ciclos do sistema de pastejo rotacionado, representados pelos meses da avaliação.

A produção de massa de forragem foi estimada com amostras de forragem submetidas ao corte a 0,07 m do solo. Para tanto, uma moldura de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) foi lançada aleatoriamente, 3 vezes, em cada unidade experimental.

As amostras obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos e pesadas para determinação do peso de massa verde (MV). O teor de matéria seca (MS) foi obtido a partir de secagem de uma subamostra da MV em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas (GARDNER, 1986). A massa de forragem (MF) foi determinada por meio do produto entre a MV e a MS (Equação 1).

$$MF = \frac{(MV \times MS)}{100} \quad (1)$$

em que MF é a massa de forragem (kg ha⁻¹), MV é a massa verde (kg ha⁻¹) e MS é a matéria seca (%).

4.4 Análise estatística

Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a nível de 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software SISVAR[®] (FERREIRA, 2011). Após a realização da ANOVA foi realizada análise de regressão e máxima eficiência técnica com o auxílio do software SigmaPlot 11.0.

4.5 Retorno econômico da irrigação

Para a realização da análise de retorno econômico da irrigação foram realizados os cálculos de custos fixos não relacionados a irrigação (CFNRI), custos variáveis não relacionados a irrigação (CVNRI), os custos fixos relacionados a irrigação (CFRI), os custos variáveis relacionados a irrigação (CVRI), ajuste da carga animal, cálculo do ganho de peso vivo, receita bruta e líquida, como seguem abaixo.

4.5.1 Custos de produção

Os custos de produção da forrageira consistiram em custos não relacionados e relacionados à irrigação, fixos e variáveis, conforme descritos em Frizzone e Andrade Junior (2005) e Santos Júnior, Frizzone e Paz (2014). O CFNRI foi calculado considerando todas as operações e insumos necessários para implantação e manutenção da pastagem (número de horas homem, número de horas-máquina, depreciação, preparo do solo, aquisição de mudas adubação, herbicidas, inseticidas, roçadas) CONAB (2010).

Os custos variáveis não relacionados à irrigação foram estimados para a manutenção de um rebanho bovino para a carga animal calculada.

Os custos relacionados à irrigação, fixos (Equação 2) e variáveis (Equação 6), foram quantificados considerando o sistema de irrigação por aspersão convencional instalado na área, descrito no item 4.2, este com valor total de 8.329,80 R\$ por hectare.

a) Custos fixos relacionados à irrigação

$$CFRI = CD + CJ + CSe \quad (2)$$

em que CFRI é o custo fixo relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹), CD é o custo de depreciação dos componentes do sistema (R\$ ha⁻¹), CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹), CSe é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹).

O CD foi calculado por meio da Equação 3.

$$CD = \frac{(VN \times VR)}{Vuh} \times HsTr \quad (3)$$

em que CD é o custo de depreciação dos componentes do sistema (R\$ ha⁻¹), 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) e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h).

O CJ foi calculado considerando uma taxa de remuneração de 6,0 % ao ano, aplicável sobre o valor médio dos equipamentos, seguindo a mesma metodologia utilizada para as demais variáveis (Equação 4).

$$CJ = \frac{VN \times QM}{2 \times CAT} \times HsTr \times J \quad (4)$$

em que CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹), o QM é a quantidade do bem, a CAT é a capacidade de trabalho do bem (h) e J é a taxa de remuneração.

O VR ou valor de sucata foi calculado como 20% do valor de compra, sendo considerada a vida útil de 20 anos. Os valores de CSe foram determinados como sendo 0,35% do valor médio do bem novo (CONAB, 2010) (Equação 5).

$$CSe = \frac{VN}{2} \times 0,35 \times \frac{HsTr}{Vuh} \quad (5)$$

em que CSe é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$ ha⁻¹), HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h) e Vuh é a vida útil do componente (h).

b) Custos variáveis relacionados à irrigação

$$CVRI = CvE + CvMo + CvMan \quad (6)$$

em que CVRI é o Custo variável relacionado a 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 (Equação 7).

$$CvE = Pw \times Ee \times T \times L \quad (7)$$

em que CvE é o custo variável com energia elétrica (R\$), Pw é a potência do conjunto motobomba ($kw\ h^{-1}$), Ee : é o preço da energia elétrica (R\$ $kw\ h^{-1}$), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água ($h\ mm^{-1}$) e L é a lâmina de irrigação ($mm\ ha^{-1}$).

O valor da energia elétrica foi calculado considerando a taxa verde da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo de 0,32 R\$ $kw\ h^{-1}$.

O tempo de mão-de-obra empregada é de 0,5 horas por hectare, em cada setor do sistema, para cada uma das irrigações realizadas (MAROUELLI; SILVA, 2011). O valor da hora trabalhada foi determinado com base na metodologia da CONAB (2010), com o valor horário equivalente ao salário mínimo rural (Equação 8).

$$CvMo = Ni \times Ns \times 0,5 \times \frac{VSMIn}{220} \quad (8)$$

em que $CvMo$ é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$), Ni é o número de irrigações, Ns é o número de setores do sistema de irrigação e $VSMIn$ é o valor do salário mínimo rural (R\$).

O projeto do sistema de irrigação possui seis setores por hectare e o valor do salário mínimo rural considerado foi de R\$ 1.328,51.

Os custos de manutenção foram calculados considerando os valores relativos sobre 1% do valor do sistema de irrigação, somados a 10% do valor gasto com energia, seguindo a metodologia da CONAB (2010) (Equação 9).

$$CvMan = VN \times 0,01 \times \frac{CvE}{10} \quad (9)$$

em que $CvMan$ é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo ($R\$\ ha^{-1}$), CvE é o custo variável da energia elétrica.

4.6 Estimativa de ganho de peso vivo animal

O ajuste da carga animal foi calculado com base na produtividade de massa de forragem do Tifton 85 em cada período de pastejo (Equação 10).

$$CA = \frac{ProdF}{Pd} \times OF \quad (10)$$

em que CA é a carga animal (kg de PV ha⁻¹), ProdF é a produção de forragem (kg de MS ha⁻¹), Pd é o Período de pastejo (dias) e OF é a oferta de forragem (kg de MS dia⁻¹ kg⁻¹ de PV).

O Pd utilizado foi de 90 dias, é o intervalo compreendido entre o início do período e o último corte realizado, sendo a OF utilizada de 4% (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV) (HERINGER; CARVALHO, 2002).

Três cenários de ganhos de peso médio diário (GMD) foram estabelecidos com base na carga animal (CA) determinada, sendo eles, 0,5, 1,0 e 1,5 kg de PV animal⁻¹ dia⁻¹, amplitude da variação de ganho de peso diário normal em função das diferentes conversões alimentares. O peso vivo inicial dos animais (PV) utilizado para a simulação foi de 300 kg animal⁻¹, considerado como o peso médio adequado para o início do período de engorda (KIRCHNER et al., 2019a). O ganho de peso vivo (GPV) foi calculado por meio da Equação 11.

$$GPV = \frac{CA}{PV} \times GMD \times Pd \quad (11)$$

em que GPV é o ganho de peso vivo (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).

4.7 Obtenção da receita bruta

As receitas brutas estimadas para as diferentes lâminas de irrigação foram obtidas pelas funções de produção forrageira, transformando-as para ganho de peso vivo animal e multiplicando-as pelo preço médio (Equação 12).

$$RB = GPV \times Pp \quad (12)$$

em que RB é a receita bruta (R\$ ha⁻¹) e Pp é o preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹ de PV).

O valor médio de R\$ 7,50 kg⁻¹ de PV foi considerado para a estimativa das receitas, conforme valores médios observados na região durante o ano de 2020.

4.8 Retorno econômico

O retorno líquido das diferentes lâminas de irrigação para os distintos ganhos de peso de 0,5, 1,0 e 1,5 kg dia⁻¹ foi calculado por meio da Equação 13.

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (13)$$

em que 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 a irrigação (R\$ ha⁻¹), CFRI é o custo fixo relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹), CVRI é o custo variável relacionado a irrigação (R\$ ha⁻¹).

A avaliação econômica da irrigação do Tifton 85 foi realizada por meio da comparação das relações benefício-custo (B/C) da produção de dois períodos de pastejo de 90 dias (outubro, novembro e dezembro de 2019 e janeiro, fevereiro e março de 2020).

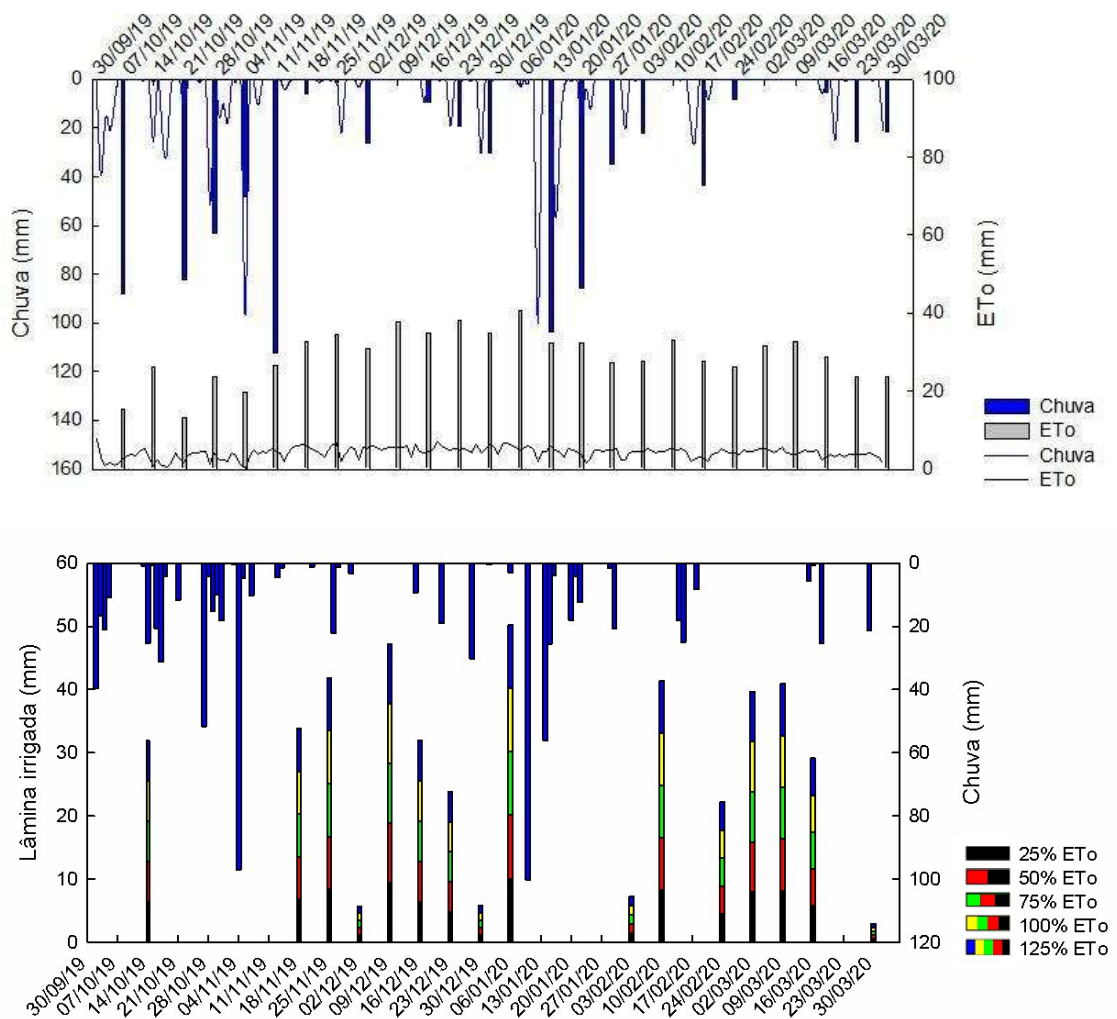
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação efetiva durante o período da condução dos experimentos foi de 836,7 mm em 6 meses, valor suficiente para o suprimento da demanda hídrica da cultura do Tifton 85, de aproximadamente 140 mm por mês (SANCHES et al., 2017b). Entretanto, a distribuição das chuvas foi irregular ao longo da avaliação (Figura 1), o que causou deficiência hídrica em alguns períodos. Além disso, o sistema de pastejo rotacionado demanda necessidade de rebrota em períodos curtos, o que implica na necessidade de uso da irrigação para a cultura atingir seu potencial genético.

Ao longo dos dois ciclos de pastejo foram necessárias 16 irrigações (Figura 1), sendo uma realizada no mês de outubro, duas em novembro, quatro em dezembro (2019), duas em janeiro, três em fevereiro e quatro em março (2020). Entretanto, durante os ciclos produtivos ocorreram períodos de excesso hídrico.

No mês de outubro houve excesso hídrico, conseqüentemente, foram observadas as menores médias de produção (Tabela 1). Espécies do gênero *cynodon* são sensíveis ao excesso de água no solo principalmente fase vegetativa inicial (NASCIMENTO FILHO et al., 2020). Mesmo assim, no ciclo 2019 a irrigação teve influência no rendimento da cultura.

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_o), precipitação efetiva e lâminas de irrigação aplicadas durante os ciclos de 2019 e de 2020.



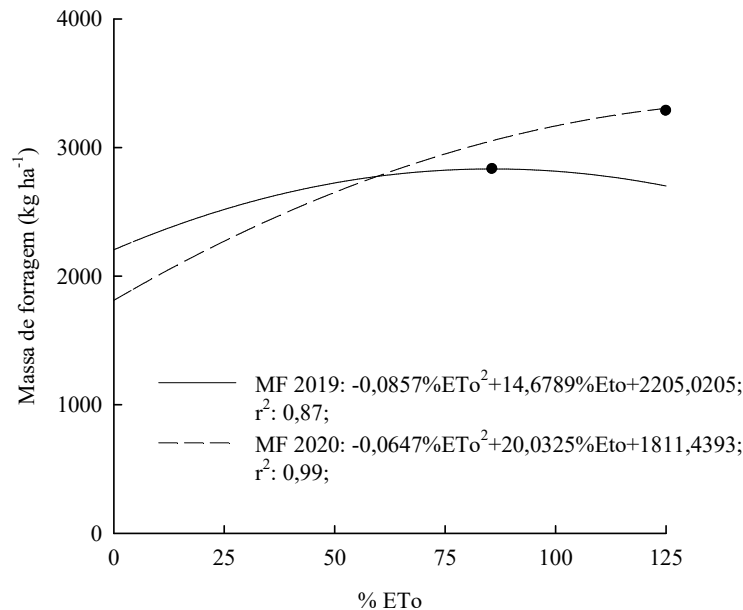
No ciclo de 2020 as menores produções de forragem foram proporcionadas pelo tratamento 25% e sem irrigação. Devido à deficiência hídrica ocorre alterações no funcionamento das plantas, como redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência, abscisão foliar, e conseqüentemente redução na produção (FERRARI et al., 2015).

Tabela 1. Massa de forragem (kg ha^{-1}) da cultura do Tifton 85 em função de diferentes lâminas de irrigação (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo), nos ciclos de 2019 e de 2020.

Ciclo 2019			
Trat.	Outubro	Novembro	Dezembro
	Produção de forragem (kg ha^{-1})		
125%	2.128,20	3.102,70	3.022,50
100%	2.033,20	3.304,40	2.917,10
75%	1.901,30	3.177,20	3.252,20
50%	2.121,00	3.121,10	3.005,80
25%	1.898,60	3.129,20	2.821,50
0%	1.825,20	2.819,04	1.786,40
CV %	6,43	2,46	18,47
Ciclo 2020			
Trat.	Janeiro	Fevereiro	Março
	Produção de forragem (kg ha^{-1})		
125%	3.262,00	3.375,20	3.222,20
100%	3.372,40	3.182,80	3.057,80
75%	3.238,20	2.763,50	2.828,60
50%	3.266,90	2.659,40	2.000,50
25%	2.779,00	2.199,60	1.799,90
0%	2.285,70	1.710,50	1.470,60
CV %	13,89	23,33	30,52

As diferentes lâminas de irrigação testadas (%ETo) no Tifton 85 neste estudo, resultaram em funções de produção de ajuste quadrático em ambos os anos, sendo: $\text{MF} = -0,0857 \text{ ETo}^2 + 14,6789 \text{ ETo} + 2.205,0205$ para o ciclo 2019 e $\text{MF} = -0,0647 \text{ ETo}^2 + 20,0325 \text{ ETo} + 1.811,4393$ para o ciclo 2020, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,87 e 0,99 respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Função de produção de massa de forragem (MF) do Tifton 85 submetido a diferentes lâminas de irrigação e máxima eficiência técnica (MET), nos ciclos de 2019 e de 2020.



* Os pontos sobre as linhas correspondem à máxima eficiência técnica (MET), sendo 85,64% da ETo em 2019 e 125% da ETo em 2020.

Avaliando a produção de duas espécies de pastagens, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça, submetidas a diferentes lâminas de irrigação com valores percentuais da evapotranspiração de referência (ETo) em Cidade Gaúcha-PR Antoniel et al. (2016) observaram respostas produtivas ajustadas por funções quadráticas às lâminas de irrigação.

A máxima eficiência técnica nas lâminas de água foi atingida com 85,64% da ETo, que proporcionou produção de 2833,58 kg ha⁻¹ mês⁻¹ de massa de forragem em 2019. Em 2020, a máxima eficiência técnica foi atingida com 125% da ETo, que proporcionou produção de 3.286,47 kg ha⁻¹ mês⁻¹ de massa de forragem.

No Brasil em diversas regiões, estudos mostram que a irrigação proporcionou maior produtividade de massa seca de Tifton 85, além disso, maior produtividade de colmos e de folhas e, conseqüentemente, maior taxa de lotação, alcançando 39.279,0 e 27.826,0 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ com e sem irrigação, respectivamente (GOMES et al., 2015). Em Mariluz-Pr em um Latossolo, a irrigação proporcionou maior produção do Tifton 85 ao longo dos ciclos (meses), com rendimentos médios de 3.625,5 e 2.074,1 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de massa seca de forragem, irrigados e não irrigados, respectivamente (SANCHES et al., 2017). A maior produtividade média de Tifton 85 submetido a diferentes lâminas de irrigação foi de 6.126,35 kg ha⁻¹ obtida

com a aplicação de 71% E_{Tc} em 73 dias de avaliação, para o ano de 2017 em Minas Gerais (DA SILVA et al., 2017), valores que estão de acordo com o encontrado no presente estudo.

Houve incremento na produção de massa de forragem à medida que as lâminas de irrigação aumentaram até 85,64% da E_{To} em 2019. Em estudo conduzido na região central do estado do Rio Grande do Sul durante dois anos, Mezzomo et al. (2020) verificaram o aumento da massa de forragem com o incremento da lâmina de irrigação até 100% de reposição de água.

Em 2020, a maior produtividade ocorreu na maior lâmina testada, de 125% da E_{To}, devido às condições climáticas mais severas para o crescimento do Tifton 85 ocorridas durante o ciclo de 2020, com altas temperaturas e baixas humidades relativas do ar. A maior lâmina de irrigação (125% da E_{To}) evitou, o estresse hídrico, que impede a absorção e translocação dos nutrientes para os pontos de crescimento, o que limita o desenvolvimento da planta são recomendados para garantir altas taxas de produção e qualidade da forragem (KOETZ et al., 2017).

A carga animal por hectare varia em função das produções da massa de forragem, sendo no tratamento testemunha a menor produção em ambos os anos, com uma amplitude de variação entre os anos de estudo de 328 kg de peso vivo, ou seja, pouco mais de um animal por hectare. Por outro lado, no tratamento com maior produção na soma dos cortes (125% da E_{To}), a variação entre os anos foi de 229,71 kg de peso vivo, menos de um animal por hectare entre os anos. A utilização da irrigação teve uma pequena tendência à estabilidade da carga animal. Contudo, o aumento na quantidade de animais possíveis de serem alimentados por hectare, gerado pela prática da irrigação, foi de 5,09 (2019) e 6,96 (2020) unidade animal para o tratamento 125% da E_{To}, ou seja, dobrando a taxa de lotação. A utilização da irrigação, além da eficiência econômica, gera eficiência ambiental pela otimização do uso do espaço de pastejo.

As estimativas de ganho de peso animal por hectare (Tabela 2) foram baseadas na produção de MF (kg ha⁻¹), para um período de pastejo de 90 dias, com 4% de oferta de forragem sendo simulados expectativas de ganho de peso diário por animal de 0,5; 1,0 e 1,5 kg dia⁻¹, em função da diversidade genética das raças bovinas e das condições ambientais, que repercutem em diferentes conversões alimentares, possibilitando a determinação do ganho de peso médio por hectare para cada cenário, para o respectivo período de pastejo (TORRES et al., 2019; KIRCHNER et al., 2019).

A diferença observada na carga animal influencia o ganho médio de peso simulado, uma vez que sem a irrigação com o cenário de menor ganho de peso (0,5 kg dia⁻¹) o ganho de peso foi de 275,63 kg ha⁻¹ (2019) e 226,43 kg ha⁻¹ (2020). Já os maiores ganhos são para a estimativa de 1,5 kg dia⁻¹ na lâmina de 125% E_{To}, 1.514,95 kg ha⁻¹ (2019) e 1.618,32 kg ha⁻¹ (2020).

Entretanto, ganhos médios diários de peso de 1,5 kg dia⁻¹ ainda são muito difíceis de serem alcançados, assim, considerando a conversão alimentar de um quilo por dia, a variação média nos dois anos foi de 480 kg ha⁻¹ para 1.044 kg ha⁻¹, sem irrigação e com 125% da ETo, respectivamente.

Tabela 2. Produção média de massa de forragem sob diferentes lâminas de irrigação convertida para carga animal por hectare, com as respectivas simulações de ganhos de peso, para ambos os ciclos.

2019										
Trat.	Produção	P. P.	O. F.	U. A.	Carga animal	MS forragem	Animais por hectare	Ganho médio no período (kg ha ⁻¹)		
% ETo	kg ha ⁻¹	dias	%	kg	kg PV ha ⁻¹ dia ⁻¹	kg dia ⁻¹	Unidade	0,5	1	1,5
0	6615,00				1837,50	73,50	6,13	275,63	551,25	826,88
25	7715,93				2143,31	85,73	7,14	321,50	642,99	964,49
50	8816,85	90	4	300	2449,13	97,97	8,16	367,37	734,74	1102,11
75	9917,78				2754,94	110,20	9,18	413,24	826,48	1239,72
100	11018,70				3060,75	122,43	10,20	459,11	918,23	1377,34
125	12119,63				3366,56	134,66	11,22	504,98	1009,97	1514,95
2020										
Trat.	Produção	P. P.	O. F.	U. A.	Carga animal	MS forragem	Animais por hectare	Ganho médio no período (kg ha ⁻¹)		
% ETo	kg ha ⁻¹	dias	%	kg	kg PV ha ⁻¹ dia ⁻¹	kg dia ⁻¹	unidade	0,5	1	1,5
0	5434,20				1509,50	60,38	5,03	226,43	452,85	679,28
25	6936,68				1926,85	77,07	6,42	289,03	578,06	867,08
50	8439,15	90	4	300	2344,21	93,77	7,81	351,63	703,26	1054,89
75	9941,63				2761,56	110,46	9,21	414,23	828,47	1242,70
100	11444,10				3178,92	127,16	10,60	476,84	953,68	1430,51
125	12946,58				3596,27	143,85	11,99	539,44	1078,88	1618,32

*P.P: período de pastejo; O.F: oferta de forragem; U.A: unidade animal; MS: massa seca; PV: peso vivo.

Os CVNRI permaneceram estáveis, pois os insumos e suplementos, principais componentes desses custos foram adquiridos no início do estudo (outubro 2019), sendo assim, os mesmos se mantiveram constantes. Para melhor apresentação o CVNRI está somado aos CFNRI, deste modo, houve a unificação para custos não relacionados a irrigação, sendo

denominado CNRI (Tabela 3). O CNRI foi de 1.770,28 R\$ ha⁻¹ valor referente a absolutamente todos os custos não relacionados a irrigação.

O CFRI observado no valor de 379,30 R\$ ha⁻¹ é composto pelo valor da depreciação do sistema de irrigação, juros sobre o capital investido e o seguro do equipamento de irrigação, sendo considerado o mesmo para ambos os anos, pois os custos das variáveis que o compõe são diluídos igualmente ao longo da vida útil do equipamento, sendo essa considerada de 20 anos.

Esse valor de 379,30 R\$ ha⁻¹ foi 31% menor que o observado por Castro Junior et al. (2015) de 552,76 R\$ ha⁻¹, possivelmente devido ao tempo de vida útil do sistema daquele estudo (15 anos) em relação à este estudo (20 anos), somado a variação dos preços dos componentes do sistema de irrigação.

Tabela 3. Componentes dos custos dos sistemas de produção, nos dois ciclos para as lâminas de irrigação testadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo) nos ciclos de 2019 e de 2020.

Lâminas de Irrigação	CNRI	CFRI	Cve	CvMo	CvMan	CVRI
(% ETo)	R\$ ha ⁻¹					
2019						
0		0,00	0,00	0,00	83,30	83,30
25			13,28	36,23	85,78	135,29
50	1.770,28		26,56	72,46	88,26	187,29
75		379,30	39,84	108,70	90,75	239,29
100			53,13	144,93	93,23	291,28
125			66,41	181,16	95,71	343,28
2020						
0		0,00	0,00	0,00	83,30	83,30
25			13,28	36,23	85,66	135,17
50	1.770,28		26,56	72,46	88,02	187,05
75		379,30	39,84	108,70	90,38	238,92
100			53,13	144,93	92,74	290,80
125			66,41	181,16	95,10	342,67

*CNRI: custo não relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹); CFRI: custo fixo relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹); CvE: custo variável da energia elétrica (R\$ ha⁻¹); CvMo: custo variável da mão-de-obra (R\$ ha⁻¹); CvMan: custo variável da manutenção (R\$ ha⁻¹); CVRI: custo variável relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹).

O CVRI 2019 teve valores de 83,30 R\$ ha⁻¹, no tratamento com a lâmina de irrigação com 25% da ETo, até 343,23 R\$ ha⁻¹, no tratamento com 125% da ETo, muito semelhantes aos de 2020, sob os mesmos tratamentos, quando os valores variaram de 83,30 R\$ ha⁻¹ até 342,67 R\$ ha⁻¹. Esse custo é composto pelo CvE, CvMo e CvMan, onde o CvE varia em função da demanda de energia elétrica para aplicação das diferentes lâminas de irrigação testadas; o CvMo varia de acordo com o número de irrigações realizadas, independentemente da quantidade de

água aplicada em cada irrigação, como nos dois anos de estudo foram realizadas oito irrigações o valor manteve-se constante; e o CvMan varia de acordo com o custo da energia elétrica para cada tratamento.

A instalação e utilização de um sistema de irrigação por aspersão convencional na cultura do Tifton 85, considerando o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, representou um acréscimo no custo de produção em relação ao tratamento não irrigado médio de 671,00 R\$ ha⁻¹ para ambos os anos, o que representa um aumento nos custos de 38%. Valor semelhante foi obtido para cultura do milho na região de Santa Maria-RS no ano agrícola 2016/2017, onde o aumento no custo de produção com a utilização da irrigação foi de 39,5%, em relação ao tratamento não irrigado (TORRES et al., 2019).

O custo variável relacionado à irrigação na cultura da cana de açúcar foi de 311,44 R\$ ha⁻¹ para o manejo com irrigação 100% ETo (PEREIRA et al., 2015), muito próximo aos 291,04 R\$ ha⁻¹ em média observados neste estudo.

A receita bruta, o custo total, a receita líquida e a relação benefício/custo para os três distintos cenários de ganho de peso diário, como para cada lâmina de irrigação testada nos dois anos de estudo, foi considerado o preço médio do quilo do boi vivo para região de estudo de R\$ 7,50 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Ganho de peso diário (GPD), receita bruta (RB), custo total (CT), receita líquida (RL) e relação benefício/custo (B/C) sob diferentes lâminas de irrigação nos ciclos de 2019 e de 2020.

GPD	Lâminas de Irrigação	CT	RB	RL	B/C
kg dia ⁻¹	(% ETo)	R\$ ha ⁻¹			
2019					
0,5	0	1.853,58	2.067,19	213,61	1,12
	25	2.284,88	2.411,23	126,35	1,06
	50	2.336,87	2.755,27	418,39	1,18
	75	2.388,87	3.099,30	710,43	1,30
	100	2.440,87	3.443,34	1.002,48	1,41
	125	2.492,86	3.787,38	1.294,52	1,52
1	0	1.853,58	4.134,38	2.280,80	2,23
	25	2.284,88	4.822,45	2.537,58	2,11
	50	2.336,87	5.510,53	3.173,66	2,36
	75	2.388,87	6.198,61	3.809,74	2,59
	100	2.440,87	6.886,69	4.445,82	2,82
	125	2.492,86	7.574,77	5.081,90	3,04
1,5	0	1.853,58	6.201,56	4.347,98	3,35
	25	2.284,88	7.233,68	4.948,80	3,17
	50	2.336,87	8.265,80	5.928,92	3,54
	75	2.388,87	9.297,91	6.909,04	3,89
	100	2.440,87	10.330,03	7.889,16	4,23

	125	2.492,86	11.362,15	8.869,29	4,56
2020					
0,5	0	1.853,58	1.698,19	-155,39	0,92
	25	2.284,76	2.167,71	-117,05	0,95
	50	2.336,63	2.637,23	300,60	1,13
	75	2.388,50	3.106,76	718,25	1,30
	100	2.440,38	3.576,28	1.135,90	1,47
	125	2.492,25	4.045,80	1.553,55	1,62
1	0	1.853,58	3.396,38	1.542,80	1,83
	25	2.284,76	4.335,42	2.050,67	1,90
	50	2.336,63	5.274,47	2.937,84	2,26
	75	2.388,50	6.213,52	3.825,01	2,60
	100	2.440,38	7.152,56	4.712,18	2,93
	125	2.492,25	8.091,61	5.599,36	3,25
1,5	0	1.853,58	5.094,56	3.240,98	2,75
	25	2.284,76	6.503,13	4.218,38	2,85
	50	2.336,63	7.911,70	5.575,07	3,39
	75	2.388,50	9.320,27	6.931,77	3,90
	100	2.440,38	10.728,84	8.288,46	4,40
	125	2.492,25	12.137,41	9.645,16	4,87

No ano 2019, na lâmina de 100% da ETo, houve uma diferença de 6.886,68 R\$ ha⁻¹ entre os cenários com ganho de peso de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, representando um aumento de mais de 500% na lucratividade. A conversão alimentar é fator fundamental para a lucratividade pecuária, por proporcionar aumento na receita líquida em função do ganho médio de peso diário. Esses valores evidenciam a importância da utilização de animais com alta qualidade genética e manter a sanidade do rebanho, a fim de obter um incremento substancial na receita líquida, principalmente em áreas irrigadas, que demandam maior investimento.

O tratamento com a lâmina de irrigação com 25% da ETo, no cenário com ganho de peso de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, em 2019, proporcionou uma receita líquida menor do que o tratamento testemunha, em razão dos custos atrelados ao sistema de irrigação, o que implica que o manejo correto da irrigação é fundamental para a intensificação dos lucros.

O cenário com ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ submetido ao tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, no Ano 2019, teve um aumento na receita líquida de 49% em relação ao tratamento testemunha, enquanto no Ano 2020 o aumento foi de 67%. Essa diferença entre os anos pode ser atribuída à irregularidade na distribuição pluvial, uma vez que no Ano 2 o tratamento testemunha sofreu maior estresse hídrico, o que comprometeu o retorno

econômico do respectivo tratamento e proporcionou maior produção e, conseqüente, maior receita líquida aos tratamentos irrigados.

Comparando o tratamento não irrigado entre os anos de estudo, observa-se uma variação na receita líquida de 33% em função da irregularidade das precipitações pluviais, o que torna a produção pecuária instável e insegura financeiramente, uma vez que o planejamento da atividade fica suscetível às variações climáticas. Entretanto, comparando o tratamento com irrigação plena entre os dois anos, houve uma variação na receita líquida de apenas 5%, assegurando o planejamento do produtor em relação a carga animal e aos retornos líquidos, tornando a atividade mais atrativa e rentável, com possibilidade de ganhos estáveis ao longo dos anos.

O tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo foi o mais rentável nos três cenários simulados, nos dois anos de estudo, mostrando que a demanda hídrica da cultura deve ser atendida integralmente a fim de obter o máximo retorno econômico, pois mesmo com o aumento do custo total a receita líquida foi maior, devido ao incremento na produção forrageira que superou os custos de produção.

Em estudo sobre a viabilidade econômica da irrigação por aspersão convencional na cultura do sorgo forrageiro para a pecuária de corte em dois anos, a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi a mais rentável financeiramente em ambos os anos, o incremento na receita líquida em relação ao tratamento testemunha foi de 23% no Ano 1 e de 61% no Ano 2 (KIRCHNER et al., 2019a). No mesmo estudo, a receita líquida para o tratamento com irrigação plena no Ano 1 foi de R\$ 4.478,96 e no Ano 2 de R\$ 4.350,20, considerando um ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e o preço do quilo vivo animal de R\$6,00.

A irrigação para a cultura do milho, considerando uma expectativa de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹, proporcionou incremento na receita líquida no tratamento com irrigação plena de 26% e 44%, em relação ao tratamento não irrigado na região de Santa Maria - RS e de Santiago-RS, respectivamente (TORRES et al., 2019). O incremento na receita líquida deste estudo (36%) foi intermediário aos incrementos observados na região de Santa Maria - RS e de Santiago-RS (TORRES et al., 2019), que são próximas à área deste estudo.

A relação benefício/custo foi positiva ou maior que 1 para a maioria das lâminas de irrigação dos diferentes cenários, sendo o benefício maior do que o custo nos dois anos de estudo, exceto no ano 2020 para o tratamento sem irrigação e com 25% da Eto para a estimativa de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹. Além disso, para ambos os anos as maiores relações foram proporcionadas pela lâmina de 125% ETo, considerando a expectativa com ganho de peso de 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, com lucro de R\$ 4,56 (2019) e R\$ 4,87 (2020) para cada R\$ 1,00 investido.

Esse indicador implica que sistemas de produção com a introdução da irrigação com lâminas de alto percentual de reposição são eficientes economicamente.

A relação benefício/custo foi de 2,82 e 2,93 para 2019 e 2020, respectivamente, para o cenário de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ com a lâmina de 100% da ETo. Valores semelhantes foram encontrados em estudo com pastagem de capim sudão, onde a relação benefício/custo variou entre 3,1 e 3,3 nos anos avaliados (MEZZOMO et al., 2020) na região de Santa Maria - RS. Na mesma região para a cultura do sorgo forrageiro destinado a pecuária de corte, a relação benefício custo foi de 3,16 no ano 2015/2016 e de 2,41 no ano 2016/2017 para a lâmina de irrigação com 100% da ETo e expectativa de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ (KIRCHNER et al., 2019b).

6 CONCLUSÃO

As menores médias de produção do Tifton 85 foram no tratamento sem irrigação em relação às demais avaliações, a produtividade aumentou com o incremento da lâmina irrigada, quanto maior o déficit hídrico maior a resposta produtiva a irrigação, a máxima eficiência técnica variou de 85,64% (2019) a 125% (2020) da ETo.

O retorno econômico e a relação benefício/custo para todos os cenários de ganho médio de peso animal tiveram tendência de aumento conforme o aumento da lâmina aplicada, sendo que a maior lâmina de irrigação tem os melhores resultados.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Roma: FAO**, v. 298, n. 0, 2006.

ÁLVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013. Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

AMARAL, M. A. C. M. Desempenho produtivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação. **Revista GEAMA**, v. 5, n. 2, p. 30-37, 2019.

ANTONIEL, L. S. et al. Pasture production under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p539-544>

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 8. ed., 2009. 625 p.

CASTRO JÚNIOR, W. L. et al. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 406-418, 2015. Doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p406-418/2015

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.

DA SILVA, A. C. C. et al. Tifton 85 production under deficit irrigation. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 49, n. 2, p. 117-126, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciênc. agrotec.** v. 35, n. 6, p. 1039-1042. 2011 Doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA/EMBRAPA-CNPGL, 1986. 197 p.

GOMES, E. P. et al. Economic and energy viability of sunflower irrigated crop. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 180-187, 2018. Doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n2p180-187/2018. Doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n2p180-187/2018

GOMES, E. P. et al. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 317–323, 2015. Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p317-323

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. **Ciência Rural**, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002. Doi.org/10.1590/S0103-84782002000400021

KIRCHNER, J. H. et al. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, 2019a. Doi:10.5039/agraria.v14i2a5646

KIRCHNER, J. H. et al. Indicadores de viabilidade econômica de produção irrigada de sorgo forrageiro para bovinocultura de corte. **Irriga**, v. 24, n. 4, p. 843-860, 2019b. Doi.org/10.15809/irriga.2019v24n4p843-860

KOETZ, M. et al. Produção e eficiência no uso da água do capim paiaguás sob tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1223, 2017. Doi.org/10.7127/rbai.v11n100571

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

MEZZOMO, W et al. Economic Viability of Conventional Sprinkler Irrigation in Sudan Grass Production for Beef Cattle. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 2, p. 622-642, 2020. Doi.org/10.5296/jas.v8i2.16569

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1978.

NASCIMENTO FILHO, A. A. do et al. Effect of excess soil water on the development of Bermuda grass (*Cynodon* spp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 298-303, 2020. Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p298-303

OJEDA, J. J. et al. Forage yield, water-and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. **Field Crops Research**, v. 221, p. 19-31, 2018. Doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.010

OLIVEIRA, V. D. S. et al. 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.

OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land use policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. Doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010

PEREIRA, R. M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 149-157, 2015. Doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p149

SANCHES, A. C. et al. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, 126-133, 2015. Doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p126-133

SANCHES, A. C. et al. Productivity and nutritive value of Tifton 85 in summer, with and without irrigation under different nitrogen doses. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017a. Doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p246-256/2017

SANCHES, AC et al. Consumo de água por gramíneas forrageiras tropicais no período de formação da pastagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, pág. 1291-1301, 2017b. DOI: 10.7127/rbai.v11n200606.

SANTANA, M. J. et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009. Doi.org/10.1590/S1413-70542009000200027

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C.; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. S.. Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 196-206, 2014. Doi.org/10.15809/irriga.2014v19n2p196

SBRISSIA, A. F. et al. 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.

TAFFAREL, L. E. et al. Produção de matéria seca e valor nutritivo do feno do tifton 85 adubado com nitrogênio e colhido com 35 dias. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 3, 2014. Doi.org/10.1590/S1519-99402014000300003

TORRES, R. R. et al. Economic of the irrigated production of forage millet. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 623-638, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n2p623

VOGELER, I. et al. Effect of inter-annual variability in pasture growth and irrigation response on farm productivity and profitability based on biophysical and farm systems modelling. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 564-575, 2016b. Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.006

VOGELER, I. et al. Land use capability classes and APSIM to estimate pasture growth for regional land use planning. **Soil Research**, v. 54, p. 94–110, 2016a. Doi.org/10.1071/SR15018

ZWIRTES, A. L. et al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 976-688, 2015. Doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p676-688/2015

7 DISCUSSÃO GERAL

7.1 PRODUÇÃO DE FORRAGEM

A produtividade média sem irrigação foi de 1982,9 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ e de 2978,0 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ na lâmina de 100% da ETo, representando um aumento de 50,18% na produção média nos seis ciclos avaliados. Entretanto, as funções de produção de forragem de Tifton 85 (MF; kg ha⁻¹) para os ciclos de pastejo, ajustadas em função das lâminas de irrigação, apresentaram comportamento quadráticas para novembro, dezembro e janeiro, e linear para fevereiro e março, e em outubro não houve aumento significativo de produção.

Respostas produtivas ajustadas por funções com comportamento quadrático às lâminas de irrigação para a produção de pastagens, como *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça (ANTONIEL et al., 2016), sorgo forrageiro (KIRCHNER et al., 2019) e capim sudão (MEZZOMO et al., 2020), submetidas a diferentes lâminas de irrigação com valores percentuais da evapotranspiração de referência (ETo) na região sul do Brasil.

A máxima eficiência técnica (MET) foi próxima a 80% da ETo para novembro e dezembro, a 117% para janeiro e na maior lâmina (125%) para fevereiro e março. A MET média ajustada foi obtida com uma lâmina de 115,4% da ETo, o que resultou na produtividade de 3009,6 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹.

Nos ciclos pastejo de janeiro, fevereiro e março, as maiores produções foram obtidas entre os tratamentos de 75%, 100%, 125%. Nesses ciclos, as menores produções de forragem foram proporcionadas pelo tratamento 25% e sem irrigação. A deficiência hídrica decorrente da ausência de irrigação (0%) ou da pouca oferta de água (25%) proporciona alterações fisiológicas nas plantas, como redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência, abscisão foliar e, por consequência, redução na produção (FERRARI et al., 2015).

A irrigação de Tifton 85 com base na ETo promoveu maior produção de massa seca ao longo dos ciclos de pastejo, o que contribuiu para mais ciclos de colheita, com produtividade média de 3.625,5 e 2.074,1 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de massa seca de forragem, irrigada e não irrigada, respectivamente (SANCHES et al., 2017a). A produtividade de matéria seca do capim Tifton 85 alcançou 39.279 e 27.826 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ com e sem irrigação, respectivamente (GOMES et al., 2015).

7.2 ALTURA DE PLANTAS

A altura de plantas é um componente importante para o manejo da cultura pois determina o momento adequado de entrada e saída dos animais nas áreas de pastejo, no presente estudo para os ciclos referentes aos meses de outubro, novembro e janeiro este componente não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem irrigação. Já para os meses de dezembro, fevereiro e março houve diferença significativa entre os tratamentos

As alturas de plantas encontradas neste trabalho foram de modo geral inferiores a 0,25 m para todos os tratamentos, as médias que mais se aproximaram deste valor foram as dos tratamentos com lâmina de 125% da ETo, seguido pelo tratamento com lâmina de 100% da ETo. A altura ideal para o pastejo ou corte do Tifton 85 é de 0,25 m, pois é nessa altura que ocorre o maior percentual de interceptação da luz solar (PEDREIRA et al., 2018).

Os valores médios para os seis ciclos de pastejo observados neste estudo para a altura de plantas foi de 0,14 m sem irrigação e 0,20 m na lâmina de 100% da ETo. Em estudo realizado na região Sudeste do Brasil, SILVA et al. (2019) com Tifton 85 irrigado com 100% da ETo observaram altura de plantas de 0,19 m na estação quente e de 0,12 m na estação fria, com 28 dias de intervalo entre cortes.

Os resultados do presente estudo vão em contraponto aos encontrados por Alencar et al. (2009) em que a altura das plantas para gramíneas não teve tendência de aumento com o aumento na lâmina de irrigação. Os tratamentos sem irrigação (0%) e 25% da ETo proporcionaram as menores alturas de plantas e foram menores do que nos demais tratamentos em todos os ciclos de pastejo. Nos ciclos de pastejo de fevereiro e março, a altura de plantas aumentou conforme o aumento na lâmina de irrigação. A maior altura de plantas foi proporcionada pelo tratamento 125% da ETo.

7.3 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

No ciclo de pastejo do mês de outubro ocorreu uma baixa correlação entre os dados, além de não apresentarem um comportamento padrão, isso pode ser justificado pelas elevadas precipitações que ocorreram neste período, os resultados encontrados nestes ciclos são muito próximos e podem ter sido causados por fatores externos aos tratamentos.

Para os demais ciclos o comportamento foi quadrático correspondendo ao esperado para este tipo de avaliações, nos meses de novembro e dezembro o ponto de inflexão ficou próximo

a 75% de ETo, já para os meses de janeiro fevereiro e março este ponto foi mais próximo da lâmina de 125% da ETo.

Os valores de IAF para esse estudo foram, acima de três na maioria dos ciclos de pastejo para o tratamento com lâmina de 100% da ETo, exceto para o ciclo de pastejo referente ao mês de outubro. O valor de IAF ótimo para pastagens varia de três a cinco, sendo esse intervalo na qual proporciona, aproximadamente, 95% de interceptação de luz, entretanto, espécies que têm folhas mais direcionadas horizontalmente, como é o caso do *Cynodon*, podem apresentar valores mais baixos de IAF (REIS et al., 2013).

Em estudo conduzido no município de Bom Despacho, MG com a cultura do Tifton 85 irrigado em condição de déficit hídrico Da Silva et al. (2017), encontraram um IAF médio de 2,19 na lâmina de 28% da ETc e de 2,76 para 86% da ETc, este estudo corrobora com os resultados encontrados neste estudo onde os valores para as lâminas equivalentes foram próximos.

7.4 RELAÇÃO FOLHA/COLMO

A relação folha/colmo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos em quatro dos ciclos de pastejos avaliados, referentes aos meses de outubro, novembro, janeiro e fevereiro. Avaliando a relação folha/colmo para Tifton 85, para tratamentos de reposição de 0% e 100% da ETo, em estudo realizado no município de Xambê, região noroeste do Paraná, Gomes et al. (2015) também observou que a irrigação não afetou a relação folha/colmo. Além disso, em outro estudo não foi observada diferença na relação folha/colmo para Tifton 85 sobressemeado com aveia preta (*Avena strigosa*), para os tratamentos com e sem uso de irrigação (FARIAS FILHO et al., 2018).

A relação folha/colmo teve o segundo maior valor para o tratamento sem irrigação para dezembro, sendo inversamente proporcional aos demais parâmetros biométricos. Nos ciclos de pastejo dos meses de dezembro e março, a menor relação folha/colmo nestes ciclos foi proporcionada pelo tratamento 100% da ETo, já a maior relação foi resultante do tratamento de 25% da ETo.

Mezzomo et al. (2021) ao trabalharem durante duas safras com Capim Sudão na região de Santa Maria - RS, observaram que a relação folha/colmo não apresentou diferença estatística significativa para as lâminas de irrigação testadas, exceto no primeiro corte da segunda safra com o maior valor para a lâmina de 25% da ETo, corroborando com o presente estudo pois

demonstra que a cultura sob estresse hídrico tende a aumentar o valor dessa relação devido a um menor volume de colmo.

7.5 QUALIDADE

A proteína bruta não apresentou diferença entre tratamentos no ciclo de pastejo para os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e março. No ciclo de pastejo de fevereiro, esta variável apresentou diferença entre as lâminas de irrigação, onde a maior proteína bruta foi proporcionada pelo tratamento de 75% da ETo, apresentando o menor percentual de proteína bruta no tratamento sem irrigação.

Os maiores valores de proteína bruta foram observados no tratamento referente à lâmina de 75% da ETo para todos os ciclos analisados, com valores médios superiores a 11%. Estes valores observados no trabalho demonstram a qualidade nutricional desta pastagem, pois, segundo Taffarel et al. (2016) o capim Tifton 85 com proteína bruta acima de 7% possui boa qualidade nutricional, porém, valores de proteína bruta abaixo de 7% limitam o consumo para bovinos.

Os valores de proteína bruta obtidos neste estudo foram menores do que os observados no estudo realizado por Souza et al. (2020) onde encontraram valores de 11,6 % a 15,7 % para espécies do gênero do *Cynodon* spp. da coleção mantida pelo Sistema Nacional de Germoplasma de Plantas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NPGS).

Um principal fator responsável pelo aumento de proteína é a adubação nitrogenada, que pode aumentar a concentração de proteína foliar do Tifton 85 podendo chegar até 164% (SANCHES et al., 2017). Entretanto, neste estudo isto não demonstrou variação, uma vez que a dose de nitrogênio foi a mesma para todos os tratamentos. Teores de proteína bruta semelhantes às médias deste estudo, foram encontrados em trabalhos de Oliveira et al. (2016), Quaresma et al. (2011) e Sanches et al. (2017), variando de acordo com a dose de nitrogênio aplicado, e não variando pelas diferentes disponibilidades hídricas.

7.6 EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA)

A eficiência de uso da água (EUA) teve comportamentos distintos, quadráticos e lineares, para os diferentes ciclos de pastejo. A EUA em função das diferentes lâminas de irrigação teve relação significativa apenas para os ciclos de pastejo de janeiro e de fevereiro. O ciclo de pastejo de janeiro teve a máxima eficiência de uso da água com 71% da ETo. No ciclo

de pastejo de fevereiro, a eficiência de uso da água apresentou relação inversa com o aumento da lâmina de irrigação.

A perda de produtividade da cultura ocorre sob déficit hídrico, no entanto, a maior eficiência do uso da água pela cultura (EUA) é, frequentemente, alcançada em condições de estresse hídrico (FAROOQ et al., 2019), embora com produtividade reduzida, assim como foi observado neste estudo. Portanto, é importante identificar estratégias de manejo de culturas que otimizem EUA sem sacrificar a produtividade alcançável sob disponibilidade limitada de água.

Alguns estudos mostram o contrário, como uma eficiência de utilização da água de 23,2 kg mm⁻¹ e 14,3 kg mm⁻¹ sem irrigação e de 25,7 kg de MS mm⁻¹ e 20,8 kg de MS mm⁻¹ com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, em dois anos de cultivo de capim Sudão na região de Santa Maria-RS (MEZZOMO et al., 2020). E a cultura do sorgo forrageiro irrigado teve EUA de 19,81 kg de MS mm⁻¹ com uma lâmina de 100% da ETo e a menor EUA (15,01 MS mm⁻¹) no tratamento sem irrigação (KIRCHNER et al., 2019).

Embora seja bem aceito que os tipos de cultura diferem na eficiência do uso de água (EUA), não há consenso sobre os principais fatores que afetam a EUA das principais culturas de campo, podem ser os efeitos do padrão de precipitação, tipo de solo e regime climático na cultura, ou, por exemplo, o sorgo é uma das culturas mais eficientes produção de 5,99 kg m⁻³ (MBAVA et al., 2020), isso pode explicar a divergência.

7.7 ESTIMATIVA DO RETORNO FINANCEIRO E ECONÔMICO

Neste estudo a cultura do tifton 85 é destinada a alimentação de bovinos de corte, assim para a estimativa do retorno financeiro em função da lâminas de irrigação, baseado no aumento de produção, além do levantamento de todos os custos, traçou-se alguns cenários de ganhos de peso animal e comercialização com valores reais para dois períodos (safra) de engorda de 90 dias (2019) e (2020).

A carga animal por hectare variou em função das produções da massa de forragem, sendo no tratamento testemunha a menor produção em ambos os anos, com uma amplitude de variação entre os anos de estudo de 328 kg de peso vivo, ou seja, pouco mais de um animal por hectare. Por outro lado, no tratamento com maior produção na soma dos cortes (125% da ETo), a variação entre os anos foi de 229,71 kg de peso vivo, menos de um animal por hectare entre os anos. A utilização da irrigação teve uma pequena tendência à estabilidade da carga animal. Contudo, o aumento na quantidade de animais possíveis de serem alimentados por hectare, gerado pela prática da irrigação, foi de 5,09 (2019) e 6,96 (2020) unidade animal para o

tratamento 125% da ETo, ou seja, dobrando a taxa de lotação. A utilização da irrigação, além da eficiência econômica, gera eficiência ambiental pela otimização do uso do espaço de pastejo.

As estimativas de ganho de peso animal por hectare foram baseadas na produção de MF (kg ha^{-1}), para um período de pastejo de 90 dias, com 4% de oferta de forragem sendo simulados expectativas de ganho de peso diário por animal de 0,5; 1,0 e 1,5 kg dia^{-1} , em função da diversidade genética das raças bovinas e das condições ambientais, que repercutem em diferentes conversões alimentares, possibilitando a determinação do ganho de peso médio por hectare para cada cenário, para o respectivo período de pastejo (TORRES et al., 2019; KIRCHNER et al., 2019).

A diferença observada na carga animal influencia o ganho médio de peso simulado, uma vez que sem a irrigação com o cenário de menor ganho de peso ($0,5 \text{ kg dia}^{-1}$) o ganho de peso foi de $275,63 \text{ kg ha}^{-1}$ (2019) e $226,43 \text{ kg ha}^{-1}$ (2020). Já os maiores ganhos são para a estimativa de $1,5 \text{ kg dia}^{-1}$ na lâmina de 125% ETo, $1.514,95 \text{ kg ha}^{-1}$ (2019) e $1.618,32 \text{ kg ha}^{-1}$ (2020). Entretanto, ganhos médios diários de peso de $1,5 \text{ kg dia}^{-1}$ ainda são muito difíceis de serem alcançados, assim, considerando a conversão alimentar de um quilo por dia, a variação média nos dois anos foi de 480 kg ha^{-1} para 1.044 kg ha^{-1} , sem irrigação e com 125% da ETo, respectivamente.

Os CVNRI permaneceram estáveis, pois os insumos e suplementos, principais componentes desses custos foram adquiridos no início do estudo (outubro 2019), sendo assim, os mesmos se mantiveram constantes. Para melhor apresentação o CVNRI está somado aos CFNRI, deste modo, houve a unificação para custos não relacionados a irrigação, sendo denominado CNRI. O CNRI foi de $1.770,28 \text{ R\$ ha}^{-1}$ valor referente a absolutamente todos os custos não relacionados à irrigação.

O CFRI observado no valor de $379,30 \text{ R\$ ha}^{-1}$ é composto pelo valor da depreciação do sistema de irrigação, juros sobre o capital investido e o seguro do equipamento de irrigação, sendo considerado o mesmo para ambos os anos, pois os custos das variáveis que o compõe são diluídos igualmente ao longo da vida útil do equipamento, sendo essa considerada de 20 anos.

Esse valor de $379,30 \text{ R\$ ha}^{-1}$ foi 31% menor que o observado por Castro Junior et al. (2015) de $552,76 \text{ R\$ ha}^{-1}$, possivelmente devido ao tempo de vida útil do sistema daquele estudo (15 anos) em relação à este estudo (20 anos), somado a variação dos preços dos componentes do sistema de irrigação.

O CVRI 2019 teve valores de $83,30 \text{ R\$ ha}^{-1}$, no tratamento com a lâmina de irrigação com 25% da ETo, até $343,23 \text{ R\$ ha}^{-1}$, no tratamento com 125% da ETo, muito semelhantes aos de 2020, sob os mesmos tratamentos, quando os valores variaram de $83,30 \text{ R\$ ha}^{-1}$ até $342,67$

R\$ ha⁻¹. Esse custo é composto pelo CvE, CvMo e CvMan, onde o CvE varia em função da demanda de energia elétrica para aplicação das diferentes lâminas de irrigação testadas; o CvMo varia de acordo com o número de irrigações realizadas, independentemente da quantidade de água aplicada em cada irrigação, como nos dois anos de estudo foram realizadas oito irrigações o valor manteve-se constante; e o CvMan varia de acordo com o custo da energia elétrica para cada tratamento.

A instalação e utilização de um sistema de irrigação por aspersão convencional na cultura do Tifton 85, considerando o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, representou um acréscimo no custo de produção em relação ao tratamento não irrigado médio de 671,00 R\$ ha⁻¹ para ambos os anos, o que representa um aumento nos custos de 38%. Valor semelhante foi obtido para cultura do milho na região de Santa Maria-RS no ano agrícola 2016/2017, onde o aumento no custo de produção com a utilização da irrigação foi de 39,5%, em relação ao tratamento não irrigado (TORRES et al., 2019).

O custo variável relacionado à irrigação na cultura da cana de açúcar foi de 311,44 R\$ ha⁻¹ para o manejo com irrigação 100% ETo (PEREIRA et al., 2015), muito próximo aos 291,04 R\$ ha⁻¹ em média observados neste estudo.

A receita bruta, o custo total, a receita líquida e a relação benefício/custo para os três distintos cenários de ganho de peso diário, como para cada lâmina de irrigação testada nos dois anos de estudo, foi considerado o preço médio do quilo do boi vivo para região de estudo à época de R\$ 7,50.

No ano 2019, na lâmina de 100% da ETo, houve uma diferença de 6.886,68 R\$ ha⁻¹ entre os cenários com ganho de peso de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, representando um aumento de mais de 500% na lucratividade. A conversão alimentar é fator fundamental para a lucratividade da pecuária, por proporcionar aumento na receita líquida em função do ganho médio de peso diário. Esses valores evidenciam a importância da utilização de animais com alta qualidade genética e manter a sanidade do rebanho, a fim de obter um incremento substancial na receita líquida, principalmente em áreas irrigadas, que demandam maior investimento.

O tratamento com a lâmina de irrigação com 25% da ETo, no cenário com ganho de peso de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, em 2019, proporcionou uma receita líquida menor do que o tratamento testemunha, em razão dos custos atrelados ao sistema de irrigação, o que implica que o manejo correto da irrigação é fundamental para a intensificação dos lucros.

O cenário com ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ submetido ao tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, no Ano 2019, teve um aumento na receita líquida de

49% em relação ao tratamento testemunha, enquanto no Ano 2020 o aumento foi de 67%. Essa diferença entre os anos pode ser atribuída à irregularidade na distribuição pluvial, uma vez que no Ano 2 o tratamento testemunha sofreu maior estresse hídrico, o que comprometeu o retorno econômico do respectivo tratamento e proporcionou maior produção e, conseqüente, maior receita líquida aos tratamentos irrigados.

Comparando o tratamento não irrigado entre os anos de estudo, observa-se uma variação na receita líquida de 33% em função da irregularidade das precipitações pluviais, o que torna a produção pecuária instável e insegura financeiramente, uma vez que o planejamento da atividade fica suscetível às variações climáticas. Entretanto, comparando o tratamento com irrigação plena entre os dois anos, houve uma variação na receita líquida de apenas 5%, assegurando o planejamento do produtor em relação a carga animal e aos retornos líquidos, tornando a atividade mais atrativa e rentável, com possibilidade de ganhos estáveis ao longo dos anos.

O tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo foi o mais rentável nos três cenários simulados, nos dois anos de estudo, mostrando que a demanda hídrica da cultura deve ser atendida integralmente a fim de obter o máximo retorno econômico, pois mesmo com o aumento do custo total a receita líquida foi maior, devido ao incremento na produção forrageira que superou os custos de produção.

Em estudo sobre a viabilidade econômica da irrigação por aspersão convencional na cultura do sorgo forrageiro para a pecuária de corte em dois anos, a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi a mais rentável financeiramente em ambos os anos, o incremento na receita líquida em relação ao tratamento testemunha foi de 23% no Ano 1 e de 61% no Ano 2 (KIRCHNER et al., 2019a). No mesmo estudo, a receita líquida para o tratamento com irrigação plena no Ano 1 foi de R\$ 4.478,96 e no Ano 2 de R\$ 4.350,20, considerando um ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e o preço do quilo vivo animal de R\$6,00.

A irrigação para a cultura do milho, considerando uma expectativa de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹, proporcionou incremento na receita líquida no tratamento com irrigação plena de 26% e 44%, em relação ao tratamento não irrigado na região de Santa Maria, RS e de Santiago-RS, respectivamente (TORRES et al., 2019). O incremento na receita líquida deste estudo (36%) foi intermediário aos incrementos observados na região de Santa Maria, RS e de Santiago, RS (TORRES et al., 2019) que são próximas à área deste estudo.

A relação benefício/custo foi positiva ou maior que 1 para a maioria das lâminas de irrigação dos diferentes cenários, sendo o benefício maior do que o custo nos dois anos de estudo, exceto no ano 2020 para o tratamento sem irrigação e com 25% da ETo para a estimativa

de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹. Além disso, para ambos os anos as maiores relações foram proporcionadas pela lâmina de 125% ETo, considerando a expectativa com ganho de peso de 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, com lucro de R\$ 4,56 (2019) e R\$ 4,87 (2020) para cada R\$ 1,00 investido. Esse indicador implica que sistemas de produção com a introdução da irrigação com lâminas de alto percentual de reposição são eficientes economicamente.

A relação benefício/custo foi de 2,82 e 2,93 para 2019 e 2020, respectivamente, para o cenário de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ com a lâmina de 100% da ETo. Valores semelhantes foram encontrados em estudo com pastagem de capim sudão, onde a relação benefício/custo variou entre 3,1 e 3,3 nos anos avaliados (MEZZOMO et al., 2020) na região de Santa Maria - RS. Na mesma região para a cultura do sorgo forrageiro destinado a pecuária de corte, a relação benefício custo foi de 3,16 no ano 2015/2016 e de 2,41 no ano 2016/2017 para a lâmina de irrigação com 100% da ETo e expectativa de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹ (KIRCHNER et al., 2019b).

8 CONCLUSÕES GERAIS

A irrigação promoveu um aumento médio de 22,95%, 36,95%, 44,24%, 50,18% e 52,24% na produtividade de massa de forragem do capim Tifton 85 para as lâminas de 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo respectivamente para os seis ciclos avaliados. apresentando-se como uma alternativa para produtores da região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul.

A eficiência no uso da água, apresentou relação inversa ao aumento da lâmina de irrigação. Com a maior eficiência de uso da água média na lâmina de 25% da ETo.

Na lâmina de 75% da ETo foram obtidos os maiores teores de proteína bruta na planta, totalizando um aumento médio de 20,22% em relação ao tratamento sem irrigação.

O uso da irrigação com diferentes lâminas influenciou na variação índice de área foliar e altura de plantas positivamente, conforme o aumento da lâmina de irrigação até a máxima eficiência técnica nos ciclos de pastejo onde a irrigação foi a principal fonte de água para a cultura, não afetando a relação folha/colmo.

O retorno financeiro e a relação benefício/custo para todos os cenários de ganho médio de peso animal tiveram aumento conforme o aumento da lâmina aplicada, sendo que a maior lâmina irrigação (125% ETo) tem os melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. A. B. de. et al. Lâminas de irrigação e estações anuais na cobertura do solo e altura de gramíneas cultivadas sob corte. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 467-472, 2009.
- ÁLVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, M. A. C. M. Desempenho produtivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação. **Revista GEAMA**, v. 5, n. 2, p. 30-37, 2019.
- ANTONIEL, L. S. et al. Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 248-259, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p248-259>.
- ATTWATER, R.; DERRY, C. Achieving resilience through water recycling in peri-urban agriculture. **Water**, v. 9, n. 3, p. 223-228, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9030223>
- BARBOSA, B. D. S. et al. Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) do capim Tanzânia irrigado no Norte de Minas Gerais. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 11-20, 2015.
- BARCELLOS, J. O. J. et al. Technological innovation and entrepreneurship in animal production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. Special Supplement, p.189-200, 2011. Disponível em: <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/66274.pdf>. Acesso em: ago. 2016.
- BASEGGIO, M. et al. Planting rate and depth effects on Tifton 85 bermudagrass establishment using rhizomes. **Crop Science**, v. 55, n. 3, p. 1338-1345, 2015.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 8. ed., 2009. 625p
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis. I. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. American Society of Agronomy Madison, 1986. p. 363-375.
- BOUTRAA, T. Improvement of water use efficiency in irrigated agriculture: A review. **Journal of Agronomy**, v. 9, n. 1, p. 1–8, 2010. Doi: 10.3923/ja.2010.1.8
- BRASIL. Agência Nacional das Águas – ANA. **Atlas de Irrigação: O Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília, 2017.
- CARVALHO, R. C. R. et al. Soil shear strength under non-irrigated and irrigated short duration grazing systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p.631-638, 2010. Doi: 10.1590/S0100-06832010000300004.
- CASTRO JÚNIOR, W. L. et al. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na Região dos Cocais-MA. Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2015.

- DA SILVA, A. C. C. et al. Efecto del riego deficitario sobre la producción de Tiftón 85. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 49, n. 2, p. 117-126, 2017. Disponível em: <http://bdigital.uncu.edu.ar/9638>. Acesso em: 20 mai. 2019.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis. I. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. American Society of Agronomy Madison, 1986. p. 443-461.
- DILL, M. D. et al. Factors affecting adoption of economic management practices in beefcattle production in Rio Grande do Sul state, Brazil. **Journal of Rural Studies**, v. 42, p.21-28, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.09.004>.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p
- FAO and DWFI. **Yield gap analysis of field crops – Methods and case studies**. FAO Water Reports No. 41, Rome, Italy.
- FAOSTAT. **Statistical Database 2007**. Roma, 2017.
- FARIAS FILHO, J. et al. Production and quality of Tifton 85 pastures overseeded with black oat: effects of irrigation and nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 5, p. 2071-2080, 2018. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2071>
- FAROOQ, M. et al. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 95-108, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>
- FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.
- GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA/EMBRAPA-CNPGL, 1986. 197 p.
- GOMES, E. P. et al. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 835–842, 2013.
- GOMES, E. P. et al. Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, Estado do Paraná. **Irriga**, v. 15, p. 373-385, 2010.
- GOMES, E. P. et al. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 317–323, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p317-323>

- GUBIANI, P. I. et al. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, p. 19-24, 2012.
- HILL, G. M. et al. Tifton bermudagrass utilization in beef, dairy, and hay production. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GENERO CYNODON, Juiz de Fora/MG, 1996. **Anais**. Juiz de Fora/MG: EMBRAPA, CNPGL, 1996. p.139-150.
- KIRCHNER, J. H. et al. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, 2019. Doi: 10.5039/agraria.v14i2a5646
- KLEIN, V. A. et al. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. **Ciência Rural**, 43:850-853, 2013.
- KLEIN, V. A. et al. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1550-1556, 2010.
- KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 646-650, 2006.
- KLUTE, A. A water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., Ed. Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, p. 635-662, 1986.
- KLOCKE, N. L. et al. Sorghum yield response to deficit irrigation. **Transaction of the ASABE**, v. 55, n. 3, p. 947-955, 2012.
- KOTZÉ, E. et al. O manejo de áreas de impacto afeta as propriedades de solos argilosos ao longo de gradientes de pastagem no bioma de pastagens semi-áridas da África do Sul. **Journal of Arid Environments**, v. 97: p 220-229. 2013.
- LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 945-951, 2004.
- LIRA, R. M. et al. Utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v. 3, n. 1, p. 62-83, 2015.
- MANTOVANI, E. C. et al. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 458-469, 2009. <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n4p458-469>
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. 2. ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011, 20 p.
- MBAVA, N. et al. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105878, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105878>

MEZZOMO, W. **Influência de diferentes manejos de água sob o crescimento do Capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)**. 2017. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

MOLDEN, D. et al. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 528–535, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.023>

MOREIRA, C. D. et al. Germinação de gramíneas forrageiras em função da inoculação de bactérias diazotróficas germination of grasses due to inoculation diazotrophic bacteria. **Scientific Electronic Archives**, v. 6, p. 90-96, 2014.

NAIR, S. et al. Efficiency of irrigation water use: A review from the perspectives of multiple disciplines. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 2, p. 351–363, 2013.
Doi:10.2134/agronj2012.0421

NASCIMENTO, M. T. C. C., de AZEVEDO, C. A. V., SALES, J. Crescimento e produção do capim tifton 85 irrigado com água residuária e adubação orgânica. **Scientia Agraria**, 19(2), 172-179, 2017.

NWS, National Weather Service, 2015.
<http://www.cpc.noaa.gov/products/analysismonitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>.

OJEDA, J. J. et al. Forage yield, water-and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. **Field Crops Research**, v. 221, p. 19-31, 2018. Doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.010

OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p.394–400, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010>

ORTIGARA, C. et al. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 619-626, 2014. Disponível em:
<http://148.215.2.10/articulo.oa?id=180231134026>

OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101–116, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005>.

PACHECO, P. S. et al. Avaliação econômica da terminação em confinamento de novilhos jovens e superjovens de diferentes grupos genéticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 309-320, 2006.

PEDREIRA, C. G. S. et al. Fixed versus variable rest period effects on herbage accumulation and canopy structure of grazed 'Tifton 85'and'Jiggs' Bermuda grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 113-120, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000100013>

PEREIRA, R. M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 149-157, 2015.

RIGOTTI, C. J. et al. Efeito da irrigação sobre características produtivas e nutricionais de cinco pastagens perenes de verão cultivadas no sul do Brasil. **Caderno de Pesquisa**, v. 31, n. 1, p. 9-16, 2019. Doi:10.17058/cp.v31i1.13013

REICHERT, J. M. et al. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and forest meteorology**, v. 237, p. 282-295, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.014>

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, 36:1931-1935, 2006. Doi: 10.1590/S0103-84782006000600044

RUEDEN, C. T. et al. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. **BMC bioinformatics**, v. 18, n. 1, p. 1-26, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>

RUVIARO, C. F. et al. Economic and environmental feasibility of beef production indifferent feed management systems in the Pampa biome, Southern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 930–939, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.042>.

SANCHES, A. C. et al. Productivity and nutritive value of Tifton 85 in summer, with and without irrigation under different nitrogen doses. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p246-256/2017>

SANCHES, A. C. et al. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, 126-133, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p126-133>

SANDHAGE-HOFMANN, A. Rangeland Management. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, 360-365, 2016. Doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10455-5

SANTANA, M. J. et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000200027>

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C.; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. S. (2014). Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 196-206. Doi.org/10.15809/irriga.2014v19n2p196

SATURNINO, H. M. et al. Agricultura irrigada: Oportunidades e desafios. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 101-109, 2010.

SILVA, R. R. et al. Níveis de suplementação na terminação de novilhos Nelore em pastagens: aspectos econômicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2091-2097, 2010.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235 p.

SILVA, A. C. C. **Crescimento e produção do capim Tifton 85 em condições de irrigação deficitária**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas), Lavras-MG, 2014.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2004, Santa Maria/RS. **Anais...** Santa Maria/RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004a. 4p. CD-ROM.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Areia total de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2004, Santa Maria/RS. **Anais...** Santa Maria/RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004b. 4p. CD-ROM.

TAFFAREL, L. E. et al. Produção de matéria seca e valor nutritivo do feno do tifton 85 adubado com nitrogênio e colhido com 35 dias. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 3, 2014.

TEAGUE, R. et al. Assessing optimal configurations of multi-paddock grazing strategies in tallgrass prairie using a simulation model. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 262-273, 2015. Doi: 10.1016/j.jenvman.2014.09.027

TEAGUE, W. R. et al. Multipaddock grazing on rangelands: why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience? **Journal of Environmental Management**, v. 128, p. 699-717, 2013.

VELASCO-MUÑOZ, J. F. et al. Advances in Water Use Efficiency in Agriculture: A Bibliometric Analysis. **Water**, v. 10, n. 4, p. 377-394, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10040377>

VOGELER, I. et al. Effect of inter-annual variability in pasture growth and irrigation response on farm productivity and profitability based on biophysical and farm systems modelling. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 564-575, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.006>

VOGELER, I. et al. Land use capability classes and APSIM to estimate pasture growth for regional land use planning. **Soil Research**, v. 54, p. 94-110, 2016a. <https://doi.org/10.1071/SR15018>

XUE, J. et al. Water saving practices enhance regional efficiency of water consumption and water productivity in an arid agricultural area with shallow groundwater. **Agricultural Water Management**, v. 194, p. 78-89, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.003>

ZHENGBIN, Z. et al. Advances and prospects: biotechnologically improving crop water use efficiency. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 281–293, 2011. Doi: 10.3109/07388551.2010.531004

ZWIRTES, A. L. et al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 976-688, 2015.