

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

Geraldo José Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO E DO MANEJO DA DESFOLHA
SOBRE O BALANÇO HÍDRICO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE
TIFTON 85**

Santa Maria, RS

2017

Geraldo José Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO E DO MANEJO DA DESFOLHA SOBRE O
BALANÇO HÍDRICO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE TIFTON 85**

Tese de doutorado 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 **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigues, Geraldo José
Influência da irrigação e do manejo da desfolha sobre o balanço hídrico e produção de forragem de Tifton 85 / Geraldo José Rodrigues.- 2017.
66 p.; 30 cm

Orientador: Reimar Carlesso
Coorientador: Arno Heldwein
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2017

1. Evapotranspiração 2. Pastagens 3. Modelagem 4. Coeficientes de cultura I. Carlesso, Reimar II. Heldwein, Arno III. Título.

Geraldo José Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO E DO MANEJO DA DESFOLHA SOBRE O
BALANÇO HÍDRICO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE TIFTON 85**

Tese de doutorado 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 **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 24 de julho de 2017

Reimar Carlesso Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador

Mirta Teresinha Petry Dra. (UFSM)

Fernando Luiz Ferreira de Quadros Dr. (UFSM)

Cleudson José Michelon Dr. (IFF)

Dolores Wolschick Dra. (IFSC)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
João Cândido e Rosângela Rodrigues,
os exemplos de dignidade, dedicação e humildade,
valores os quais, levo sempre junto comigo.

AGRADECIMENTOS

Imensurável é a felicidade e gratidão por chegar a este momento. Ao olhar para o passado percebo o quão árduo foi o caminho percorrido, no entanto, nunca faltaram oportunidades as quais abracei para que a caminhada fosse exitosa. Só foi possível chegar até aqui, pois ao longo de todos estes anos, contei com a orientação e companheirismo baseado em princípios e valores.

O doutorado faz com que aumente minha responsabilidade frente à sociedade, e exige que minha conduta seja cada vez mais humilde e ética. Anos de estudo permitiu eu entender que o que sabemos é apenas uma minúscula parte neste vasto campo que é o conhecimento.

Agradeço a minha fé que jamais deixou fracassar frente a tamanhos obstáculos, tampouco me abandonou na busca das realizações ao longo destes 34 anos de vida.

Aos meus pais, João Cândido Oliveira Rodrigues e Rosângela Maria Rodrigues. Só nós sabemos como esta caminhada foi difícil, mas vencemos. A estes que foram os esteios da minha educação e da minha personalidade, são a base, a estrutura, os motivos e a força para que o caminho seja percorrido, o meu muito obrigado com eterno carinho e de todo coração.

Ao meu irmão e minha sobrinha que sempre estiveram presentes vibrando e torcendo pelo sucesso desta caminhada.

Aos familiares e amigos, por apoiarem e celebrarem as conquistas, pelas palavras de incentivo e afeto trocadas em muitos momentos de angústia e aflição.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade e ensino de qualidade, esta que representa a sociedade brasileira e é referência no processo de formação de cidadãos críticos e esclarecidos. Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e à Capes, pelo fomento da pesquisa desenvolvida.

Em especial um agradecimento aos professores Reimar Carlesso, Mirta Teresinha Petry e Luis Santos Pereira, mestres de enorme conhecimento compartilhado para minha formação. Aos integrantes do grupo de pesquisa Manejo da Água em Sistemas Agrícolas (Sistema Irriga) que contribuíram na condução e execução do experimento.

Ao grupo de pesquisa Pastos e Suplementos, em especial as professoras Marta Gomes da Rocha e Luciana Pötter, pelo auxílio no planejamento, execução e discussão do experimento. Enfim, a todos (as) que de uma maneira ou de outra ajudaram nesta caminhada.

Gratidão eterna aos pioneiros motivadores forrageiros, mestres Moojen e Nabinger.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei, não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. Facilidades nos impedem de caminhar.” Chico Xavier.

“Sábio é aquele que conhece
os limites da própria ignorância.”

(Sócrates)

RESUMO

INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO E DO MANEJO DA DESFOLHA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE TIFTON 85

AUTOR: Geraldo José Rodrigues

ORIENTADOR: Reimar Carlesso

Os estudos com o uso de sistemas de irrigação em pastagens concentram-se em avaliar respostas produtivas das plantas forrageiras. Contudo, é importante avaliar o uso de tecnologias e favorecer a aplicação do conhecimento gerado neste ambiente produtivo, considerando as relações existentes entre solo-água-planta-atmosfera e o manejo adotado para o ambiente pastoril. Durante o verão, para a região subtropical do Sul do Brasil há elevada demanda evaporativa da atmosfera e, embora a distribuição das precipitações pluviais sejam relativamente uniforme é comum observar escassez hídrica aos cultivos agrícolas devido a eventuais períodos de precipitações insuficientes para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Para que esta problemática seja contornada é fundamental a condução de estudos com enfoque no uso da irrigação e do balanço hídrico do solo sobre os ambientes pastoris. Neste trabalho avaliou-se o uso da irrigação e o manejo da desfolha da forrageira Tifton 85 e suas influências no balanço hídrico do solo e na produção total de massa seca e; determinar os coeficientes de cultura basais para o Tifton 85 através da calibração e validação do modelo SIMDualKc. No ano agrícola 2015/16 conduziu-se um experimento em pastagem de Tifton 85 estabelecida há quatro anos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com os tratamentos distribuídos em arranjo fatorial, com dois níveis qualitativos do manejo da água (irrigado e não irrigado) e quatro níveis quantitativos de frequência de desfolha (124, 248, 372 e 744 graus dia (GD, °C) de acúmulo térmico). Irrigações de 12 mm foram aplicadas por aspersão convencional sempre que a umidade do solo era inferior a 85% do valor da capacidade de campo. O manejo da desfolha (cortes) foi executado mecanicamente, a uma altura de 0,15 m. Este manejo foi realizado para os períodos de primavera, verão e outono. A umidade do solo foi monitorada continuamente para a camada 0,00 - 0,50 m utilizando sensores FDR e as leituras foram armazenadas em um datalogger. A evapotranspiração de referência diária foi determinada pelo método de Penman-Monteith a partir dos dados meteorológicos observados de uma estação automática instalada a 300 m da área experimental. As seguintes variáveis produtivas foram avaliadas: altura de dossel, relação folha:colmo, variação na altura do dossel, massa seca de folha, massa seca de material morto, taxa de acúmulo diário de massa seca e produção de massa seca apresentaram interação entre frequência de desfolha e período de avaliação. Diferenças foram observadas entre a massa de forragem e a massa seca de colmo para frequência de desfolha e os resultados apresentaram um comportamento quadrático. A calibração e validação do modelo SIMDualKc foi eficiente e possibilitou particionar a evapotranspiração diária da cultura e estimar os coeficientes de cultura basais para a forrageira Tifton 85.

Palavras chave: SIMDualKc. Irrigação de forrageiras. Evapotranspiração. Coeficiente de cultura. Produtividade da água.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF IRRIGATION AND MANAGEMENT DEFOLIATION ON THE WATER BALANCE AND TIFTON 85 FORAGE PRODUCTION

AUTHOR: Geraldo José Rodrigues

ADIVISOR: Reimar Carlesso

The studies with the use of irrigation systems in pastures focus on assessing productive responses of forage plants. However, it is important to evaluate the use of technologies and favor the application of the knowledge generated in this productive environment considering the relationships between soil-water-plant-atmosphere and the management adopted for the pastoral environment. During the summer, there is high atmospheric evaporative demand for the subtropical region of southern Brazil and although the distribution of rainfall are relatively uniform it is common to see water scarcity for agricultural crops due to possible periods of insufficient precipitation to meet the evaporative demand atmosphere. In order for this problem to be circumvented, it is fundamental to conduct studies with a focus on the use of irrigation and soil water balance over pastoral environments. This study evaluated the use of irrigation and management of peeling forage Tifton 85 and their influence on soil water balance and the dry weight and total output; to determine the baseline culture coefficients for Tifton 85 through the calibration and validation of the SIMDualKc model. In the agricultural year 2015/16 an experiment was carried out on Tifton 85 pasture established four years ago. The experimental design was completely randomized with treatments distributed in factorial arrangement, with two qualitative levels of water management (irrigated and non irrigated) and four quantitative levels of defoliation frequency (124, 248, 372 and 744 degrees day (GD, ° C) of thermal accumulation). 12 mm irrigations were applied by conventional spray when soil moisture was less than 85% of the field capacity. The management of defoliation (cuts) was performed mechanically at a height of 0.15 m. This management was carried out for the spring, summer and autumn periods. Soil moisture was monitored continuously for the 0.00 - 0.50 m layer using FDR sensors and the readings were stored in a datalogger. Daily reference evapotranspiration was determined by the method of Penman Monteith from the meteorological data observed in an automatic station installed 300 m from the experimental area. The following productive variables were evaluated: canopy height, leaf: stem ratio, canopy height variation, dry leaf mass, dry mass of dead material, daily dry mass accumulation rate and dry mass production showed interaction between defoliation and evaluation period. Differences were observed between the forage mass and the dry mass of stalk for frequency of defoliation and the results presented a quadratic behavior. The calibration and validation of the SIMDualKc model was efficient and allowed to partition the daily evapotranspiration of the crop and to estimate the basal crop coefficients for the Tifton 85 forage.

Key words: SIMDualKc. Irrigation of forages. Evapotranspiration. Crop coefficient. Water productivity.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 - Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, precipitação (mm), umidade relativa do ar (%), evapotranspiração de referência (ET_o, mm) e velocidade do vento (m s⁻¹) observados durante o período experimental em Santa Maria - RS 20
- Figura 2 - Disponibilidade hídrica do solo (ASW) durante a primavera, verão e outono para os distintos acúmulos térmicos (124, 248, 372 e 744 GD) irrigados (I) e não irrigados (NI), da pastagem de Tifton 85 no ano 2015/16 em Santa Maria - RS 25
- Figura 3 - Produção Total de Massa Seca de Forragem (PTMS, kg MS ha⁻¹) da pastagem de Tifton 85 para as diferentes frequências de desfolha.....30

ARTIGO II

- Figura 1 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (°) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados e não irrigados com acúmulo térmico de 124 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente 47
- Figura 2 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (°) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados e não irrigados com acúmulo térmico de 248 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente 47
- Figura 3 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (°) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados e não irrigados com acúmulo térmico de 372 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente 48
- Figura 4 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (°) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados e não irrigados com acúmulo térmico de 744 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referente à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente 48
- Figura 5 - Curvas diárias dos Coeficientes (K_{cb} , $K_{cb\ act}$, $K_{c\ act}$ e K_e) estimados pelo modelo SIMDualKc para os tratamentos irrigados (intervalos de desfolha de 124, 248, 372 e 744 GD respectivamente para “a”, “b”, “c” e “d”) para a pastagem de Tifton 85, Santa Maria - RS 50
- Figura 6 - Curvas diárias dos Coeficientes (K_{cb} , $K_{cb\ act}$, $K_{c\ act}$ e K_e) estimados pelo modelo SIMDualKc para os tratamentos não irrigados (intervalos de desfolha de 124, 248, 372 e 744 GD respectivamente para “a”, “b”, “c” e “d”) para a pastagem de Tifton 85, Santa Maria - RS..... 51
- Figura 7 - Relação Transpiração/Evapotranspiração (T_c/ET_c) e Evaporação /Evapotranspiração (E_s/ET_c) para os diferentes tratamentos para as distintas estações do ano em uma pastagem de Tifton 85 para o ano de 2015/16 em Santa Maria - RS..... 53

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1 - Características físicas do solo nas diferentes profundidades, no município de Santa Maria - RS..... 22
- Tabela 2 - Altura média do dossel (ALT, cm), relação folha:colmo (RFC) e variação na altura da pastagem (VARalt, cm) de Tifton 85 para os períodos de primavera, verão e outono em Santa Maria - RS.... 27
- Tabela 3 - Massa seca de folha (MSfol, %), massa seca de material morto (MSmm, %), taxa de acúmulo diário (TAC, kg MS ha¹ dia¹) e produção de massa seca (PMS, kg MS ha¹) da pastagem de Tifton 85 para os períodos de primavera, verão e outono em Santa Maria - RS 28
- Tabela 4 - Produtividade da água (WP, kg MS m⁻³), evapotranspiração acumulada da cultura (ETc, mm) e relação ETc/produção total de matéria seca (ETc/PTMS, mm kg MS⁻¹) para os tratamentos irrigados (I) e não irrigados (NI) em pastagem de Tifton 85 durante o período de crescimento da pastagem (2015/16) em Santa Maria - RS 30

ARTIGO II

- Tabela 1 - Características físicas do solo nas diferentes profundidades, para pastagem de Tifton 85 no município de Santa Maria - RS 40
- Tabela 2 - Datas de cortes da pastagem de Tifton 85 durante o período experimental 2015/16 em Santa Maria - RS 41
- Tabela 3 - Altura do dossel forrageiro (h, m) e fração de cobertura do solo pelo dossel (fc) durante o ciclo de desenvolvimento da pastagem de Tifton 85 em Santa Maria - RS 42
- Tabela 4 - Valores dos parâmetros iniciais/padrão e calibrados, utilizados no modelo SIMDualKc 44
- Tabela 5 - Indicadores estatísticos relativos ao conteúdo de água no solo (SWC) para calibração e validação do modelo SIMDualKc para pastagem de Tifton 85 em Santa Maria - RS 49
- Tabela 6 - Componentes do balanço hídrico expressos em lâmina (mm) para os diferentes manejos da desfolha e manejos da irrigação para a pastagem de Tifton 85 (2015/16) em Santa Maria - RS 53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Erro absoluto médio
ALT	Altura do dossel forrageiro (cm)
ARE	Erro relativo médio (%)
ASW	Água disponível no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
b_0	Coefficiente de regressão
CC	Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
CN	Curva número
d_{IA}	Índice de concordância
D_p	Densidade de partícula (g cm^{-3})
DP	Percolação profunda (mm)
D_s	Densidade aparente do solo (g cm^{-3})
EF	Eficiência de modelagem
E_{max}	Erro máximo
E_s	Evaporação de água do solo (mm)
ET_c	Evapotranspiração da cultura (mm)
$ET_c \text{ act}$	Evapotranspiração real (mm)
ET_o	Evapotranspiração de referência (mm)
UE	Unidade experimental
f_c	Fração de cobertura (%)
f_w	Fração de molhamento do solo (%)
GD	Graus dia ($^{\circ}\text{C}$)
h	Altura do dossel (m)
K_c	Coefficiente de cultura
K_{cb}	Coefficiente de cultura basal
$K_{cb \text{ act}}$	Coefficiente de cultura ajustado ($K_{cb} K_s + K_e$)
K_e	Coefficiente de evaporação
K_s	Coefficiente de estresse
MF	Massa de forragem (kg MS)
MSC	Massa seca de colmo (kg MS)
MSF	Massa seca de folha (kg MS)
MSmm	Massa seca de material morto (kg MS)
p	Fração de depleção
PBIAS	Percentagem de viés
PMP	Ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
PMS	Produção de massa seca (kg MS)
P_t	Porosidade total (%)
PTMS	Produção total de massa seca (kg MS)
R^2	Coefficiente de determinação
RAW	Água prontamente disponível (mm)
REW	Água facilmente evaporável (mm)
RFC	Relação folha:colmo
RMSE	Erro quadrado médio
RO	Escoamento superficial (mm)
SWC	Conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
TAC	Taxa de acúmulo diário (kg MS dia^{-1})
TAW	Total de água disponível no solo (mm)
T_c	Transpiração da cultura (mm)
TEW	Água evaporável total (mm)
TWU	Uso total de água (mm)
VARalt	Variação na altura do dossel (cm)
WP	Produtividade da água (kg MS m^{-3})
Y_a	Produtividade real da cultura (kg MS)
Z_e	Camada evaporável do solo (m)
Z_r	Profundidade efetiva das raízes (m)

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	11
2 ARTIGO I – PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE TIFTON 85 (<i>Cynodon spp.</i>) IRRIGADA E SOB DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE DESFOLHA	15
3 ARTIGO II – BALANÇO HÍDRICO E PARTIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA FORRAGEIRA TIFTON 85 (<i>Cynodon spp.</i>) IRRIGADA NO SUL DO BRASIL UTILIZANDO O MODELO SIMDUALKC	35
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 APRESENTAÇÃO

Nos ambientes pastoris encontra-se a principal matriz alimentar para os rebanhos de herbívoros utilizados pelo homem, sendo que a maior parte da produção pecuária, tanto no Brasil quanto no mundo, é baseada em pastagens. Esses ambientes são responsáveis pela cobertura de aproximadamente 3,5 bilhões de hectares e representam 26% da superfície terrestre, equivalente a 70% da área agrícola (FAOSTAT, 2009).

O rebanho bovino brasileiro era de 155 milhões de cabeças no ano de 1993, aumentando em 26,5% em duas décadas, tornando-se o maior rebanho bovino comercial no mundo (FAOSTAT, 2015), e segundo o IBGE, no ano de 2014 chegou a 212,3 milhões de cabeças.

No Brasil, a produção pecuária em pastagens é diversificada devido às diferenças regionais de clima ocorrentes no país. Em regiões de clima tropical há dois períodos bem definidos de regime hídrico, a chamada época das águas, que coincide com as estações do ano primavera e verão, e a chamada época das secas, coincidente com os períodos de outono e inverno. Nessa região, a temperatura do ar não é o fator que mais limita o crescimento e produção de biomassa aérea de espécies forrageiras. A limitação na produção de forragem é, principalmente, devido à baixa disponibilidade hídrica e à redução no comprimento do dia durante a época das secas.

Na região Centro-Oeste do Brasil são utilizadas pastagens cultivadas sobre o bioma original. Pastagens cultivadas, segundo Allen et al. (2011), são aquelas constituídas por espécies de plantas forrageiras domesticadas, sejam elas exóticas ou nativas, sujeitas a receberem tratamentos culturais periódicos. Dentre as pastagens cultivadas nessa região, destacam-se as espécies dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. Por serem plantas com rota metabólica C₄, apresentam alta produção de biomassa aérea durante o período chuvoso, podendo chegar a 85% de sua produção anual de forragem durante esta época do ano (SOARES FILHO et al., 2002).

Na região subtropical do país, a sazonalidade da produção de biomassa aérea das forrageiras cultivadas não é ocasionada somente pela escassez hídrica mas, principalmente, pela temperatura do ar, a qual limita o crescimento e desenvolvimento das pastagens tropicais perenes. É importante salientar que essa região não apresenta estação seca definida durante o ano mas, durante o inverno, a temperatura do ar é usualmente inferior a temperatura basal para as espécies com rota metabólica C₄. Embora as chuvas na região Sul do Brasil sejam usualmente bem distribuídas ao longo do ano, em alguns momentos podem ocorrer períodos

prolongados de escassez de precipitação pluvial ocasionando déficit hídrico às culturas, o que normalmente é associado a uma elevada demanda evaporativa durante o período estival. Periodicamente são registradas estiagens no Estado do Rio Grande do Sul (RS), segundo a série histórica do National Weather Service (2015), o qual considera que, nos últimos 65 anos, o evento La Niña foi observado em 29% dos anos; tal evento caracteriza anos com secas severas na região subtropical do Brasil. A situação de normalidade climática foi observada em 37% dos anos, o que caracteriza condições meteorológicas, em determinados períodos, com alta demanda evaporativa da atmosfera associado a eventos de precipitação pluviais pontuais. Tal condição climática pode comprometer a máxima produtividade dos cultivos agrícolas no Estado.

Devido ao avanço de cultivos agrícolas anuais, florestamentos e invasão de espécies exóticas como *Eragrostis plana*, está ocorrendo uma redução significativa nas áreas de pastagens naturais no Estado do RS, que são a base da produção pecuária da região, promovendo uma intensificação e modificação na matriz forrageira utilizada no processo produtivo.

A utilização de espécies forrageiras perenes estivais surge como uma alternativa de pastagens a serem implantadas sobre áreas onde a vegetação nativa foi suprimida. Esta mudança na matriz forrageira, juntamente com o uso de sistemas de irrigação, favorece o aumento no nível de intensificação e tecnologia aplicada na atividade pecuária em sistemas pastoris no Sul do Brasil, contribuindo para uma maior estabilidade no processo produtivo, bem como, maior produtividade do sistema forrageiro no ecossistema modificado.

É possível a utilização de espécies perenes com rota metabólica C₄, como por exemplo, a Tifton 85 (*Cynodon spp.*), contudo, cuidados acerca das exigências referentes ao manejo da desfolha e ao aporte hídrico desta espécie devem ser melhor estudadas, pois em se tratando de uma forrageira exótica em um ambiente de monocultivo, mais informações são necessárias, para que estas pastagens não sejam submetidas a redução no seu potencial produtivo decorrente de restrição hídrica e/ou erros no manejo da pastagem.

Para um uso mais adequado das forrageiras que compõe o ambiente pastoril, é fundamental o conhecimento acerca do manejo no processo de colheita da forragem, para tanto, avaliação de parâmetros como a frequência de desfolha é indispensável. Pois, para o manejo de sistemas pastoris irrigados é fundamental o entendimento das respostas das plantas forrageiras ao aporte hídrico.

Os gestores dos recursos naturais no processo produtivo de alimentos devem atentar para a necessidade de aperfeiçoar o uso da água nas atividades humanas, primando pela

poupança e conservação como estratégias fundamentais para que seja possível conviver com a escassez deste recurso (PEREIRA et al., 2002; PEREIRA, 2002). O entendimento das relações ocorrentes entre solo-água-planta-atmosfera auxilia no manejo dos ambientes de produção, direcionando a pesquisa científica em busca de alternativas que visem a conservação da água na agricultura, seja na produção de grãos, frutas, legumes, celulose ou forrageiras. Tal enfoque contempla o conceito de água verde, que compreende a fração de água contida no solo, utilizada pelas plantas e retornada à atmosfera sob a forma de vapor (FALKENMARK et al., 2001). A produção agrícola é altamente dependente da água verde, e esta é determinada também pelo uso da terra.

A quantidade de água aplicada para atender totalmente a evapotranspiração da cultura (ET_c) pode não garantir o máximo retorno econômico da atividade, assim como a máxima produtividade da cultura nem sempre garante a máxima lucratividade do cultivo. Segundo Blanco et al. (2011), deve-se manejar as irrigações não somente visando a máxima produtividade das culturas, e sim, os resultados econômicos, principalmente onde a água é um fator de produção limitante, devendo-se buscar a eficiência do uso da água visando garantir a viabilidade econômica da irrigação.

O conceito de produtividade da água, proposto por Pereira et al. (2002) relaciona o rendimento (biomassa e/ou grãos) das culturas com o volume de água consumido para a referida produção. O total de água utilizado pela cultura (precipitação + irrigação) relaciona esta com a produção agrícola daquele sistema. Existem inúmeros fatores que interferem na resposta final das culturas. Na maioria das vezes é muito oneroso, demorado e difícil prever como se comportaria os complexos sistemas produtivos. Para tanto podem ser utilizados modelos que auxiliam no entendimento dos processos produtivos das culturas agrícolas.

Modelos que predizem a demanda hídrica são amplamente utilizados para culturas de grãos (PEREIRA et al., 2015a), no entanto, a sua aplicação em sistemas pastoris ainda é limitada, sendo necessários calibrá-los e validá-los. O uso de modelos serve como uma ferramenta de gestão para os ambientes agrícolas, pois permite que sejam utilizados diversos fatores que interferem na resposta das culturas ao meio. O modelo SIMDualKc (ROSA et al., 2012a; b) desenvolvido para o cálculo da evapotranspiração da cultura, alia informações das culturas agrícolas, do solo, do clima e do uso de irrigação, permitindo através da metodologia dos coeficientes de cultivo duais, propostos por Allen et al. (1998, 2005), realizar o balanço hídrico do solo de forma ágil e eficaz.

O modelo SIMDualKc permite discriminar com precisão a estimativa da evaporação da água do solo e a transpiração das culturas (MARTINS et al., 2013; FANDIÑO et al., 2012;

PAÇO et al., 2012; ROSA et al., 2012b; ZHAO et al., 2012). Isto é possível, pois o modelo estima o balanço hídrico na zona radicular das plantas, determinando separadamente, o coeficiente de cultivo basal (K_{cb}), o coeficiente de evaporação de água no solo (K_e) e, eventualmente, o coeficiente de estresse (K_s), sendo o coeficiente dual (K_c dual) definido por $(K_{cb} + K_e) \times K_s$. O K_s é utilizado quando a cultura é cultivada em condições de deficiência hídrica, ou seja, quando o conteúdo de água na zona radicular é insuficiente para atender a transpiração plena das plantas.

A gestão adequada dos recursos hídricos disponíveis para a produção agrícola é fundamental para que sejam atendidos os princípios da sustentabilidade. Logo, para que o uso da irrigação possa ser recomendação em sistemas pastoris, deve-se melhor avaliar as respostas do manejo e produção da pastagem submetida à irrigação, visando o entendimento da interação entre manejo da desfolha e aporte hídrico, assim como elucidar a dinâmica da água no solo através do balanço hídrico em ambiente pastoril. Para tanto, esse trabalho está baseado nas seguintes hipóteses: (i) a frequência de desfolha do pasto interfere no balanço hídrico do solo; (ii) o uso de sistemas pastoris irrigados permite aumento na produção e melhor distribuição da forragem produzida ao longo do período de crescimento da pastagem e; (iii) o uso do modelo SIMDualKc possibilita particionar a evapotranspiração da cultura e determinar os coeficientes de cultivo basais do Tifton 85. O presente estudo tem como objetivo: (i) avaliar o uso da irrigação e o manejo da desfolha do Tifton 85 na produção primária da pastagem; (ii) calibrar e validar o modelo SIMDualKc e; (iii) particionar a evapotranspiração da cultura e determinar os coeficientes de cultura duais e a produtividade da água.

2 ARTIGO I – PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE TIFTON 85 (*Cynodon spp.*) IRRIGADO EM DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE DESFOLHA

Resumo: Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a resposta produtiva da pastagem de Tifton 85 submetida a quatro frequências de desfolha (acúmulos térmicos de 124, 248, 372 e 744 graus dia (GD)) em duas condições hídricas (irrigado e não irrigado) e avaliar as relações existentes entre a produção de forragem e o conteúdo de água no solo, em três períodos durante a estação de crescimento (primavera, verão e outono). O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria/RS, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em um esquema bifatorial (uso de irrigação e frequência de desfolha) e com medidas repetidas no tempo. As irrigações foram realizadas sempre que o conteúdo de água no solo era inferior a 85% da capacidade de campo. O experimento foi conduzido entre 23 de outubro de 2015 e 11 de maio de 2016. O fator irrigação não apresentou nenhuma variável com diferença. Houve interação entre período e frequência de desfolha para as variáveis altura de dossel (ALT, cm), relação folha:colmo (RFC), variação na altura do dossel (VARalt, cm), massa seca de folha (MSfol, kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹), massa seca de material morto (MSmm, kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹), taxa de acúmulo diário de massa seca (TAC, kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹) e produção de massa seca (PMS, kg de MS ha⁻¹). As variáveis massa de forragem (MF, kg MS ha⁻¹) e massa seca de colmo (MScol, kg MS ha⁻¹) apresentaram diferença entre frequências de desfolha e se ajustaram ao modelo quadrático. A menor RFC foi observada para o intervalo entre cortes com acúmulo térmico de 124 GD durante o outono. O maior percentual de MSfol (25,7%) foi observado durante o Verão para o intervalo entre cortes de 744 GD. No Outono, independente do intervalo entre cortes, foram observados valores elevados (46,0%) de MSmm na MF. A maior TAC foi observada durante o Verão, para o intervalo de cortes de 744 GD, com PMS de 6.118 kg MS ha⁻¹. O intervalo de cortes que proporcionou a menor relação MScol:MF (0,4) foi entre 407 e 430 GD. A ET_c diferiu entre os períodos de Primavera, Verão e Outono. A produtividade da água variou de 0,87 a 1,37 kg MS m⁻³. O balanço hídrico do perfil do solo não foi influenciado pelo manejo de desfolha aplicado à pastagem de Tifton 85.

Palavras-chave: ET_c, água no solo, produção de forragem, acúmulo térmico.

**WATER PRODUCTIVITY AND PRODUCTION TIFTON 85 (*Cynodon spp.*)
IRRIGATION IN DIFFERENT FREQUENCIES DESFOLIATION**

Abstract: This study was conducted with the objective of evaluating the productive response of Tifton 85 pasture submitted to four defoliation frequencies (thermal accumulations of 124, 248, 372 and 744 degrees day) in two water conditions (irrigated and non - irrigated) and to evaluate the relationship between forage yield and soil water content in three periods during the growing season (spring, summer and autumn). The experiment was conducted at the Federal University of Santa Maria / RS, in a completely randomized experimental design, with treatments distributed in a bifactorial scheme (irrigation use and frequency of defoliation) and with repeated measures in time. Irrigations were performed whenever the soil water content was less than 85% of field capacity. The experiment was conducted between October 23, 2015 and May 11, 2016. The irrigation factor did not present any variable with difference. There was interaction between period and frequency of defoliation for the variables canopy height (ALT, cm), leaf: stem ratio (RFC), canopy height variation (VARalt, cm), dry leaf mass Day dry mass (DMM, kg ha⁻¹ day⁻¹), dry mass accumulation rate (TAC, kg ha⁻¹ day⁻¹) and mass production dry (PMS, kg of MS ha⁻¹). In the autumn, regardless of the interval between cuts, high values (46.0%) of DMM were observed in MF. The highest TAC was observed during the summer for the cut interval of 744 GD with PMS of 6.118 kg DM ha⁻¹. The cut interval giving the lowest MScol: MF (0.4) ratio was between 407 and 430 GD. ET_c differed between the spring, summer and autumn periods. The water productivity ranged from 0.87 to 1.37 kg MS m⁻³. The water balance of the soil profile was not influenced by the management of defoliation applied to the Tifton 85 pasture.

Key words: ET_c. Water in soil. Forage production. Thermal accumulation.

1 INTRODUÇÃO

A definição de estratégias de manejo de sistemas pastoris irrigados deve ser realizada a partir do conhecimento das inter-relações existentes entre solo-água-planta-atmosfera. Para tanto, os estudos sobre estes sistemas complexos devem ir além da mensuração da resposta produtiva da forragem, de forma a poder contribuir nas estratégias de uso eficiente da água na produção pastoril. A resposta produtiva das plantas forrageiras está associada às variáveis meteorológicas, às características morfogênicas e ao condicionamento do dossel forrageiro imposto pelo pastejo (LEMAIRE et al., 2009), ou seja, está intimamente ligada ao manejo proposto sobre o ambiente pastoril, em virtude da estrutura formada no dossel.

O processo produtivo das culturas utilizadas para alimentar a população é invariavelmente dependente do uso da água, principalmente àqueles de produção de proteína. Para produzir um quilo de carne bovina são necessários aproximadamente 15 mil litros de água (HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2015). Frente a um cenário de frequente escassez hídrica e má gestão dos recursos hídricos em geral, a produção pecuária deve ser realizada com sustentabilidade, primando pela conservação do solo e uso eficiente da água no processo produtivo dos rebanhos.

Aliado ao uso adequado dos solos e da água, o manejo da desfolha de uma pastagem tem papel fundamental no incremento da eficiência produtiva de sistemas pastoris. Segundo Hodgson (1990), a estrutura do dossel, determinada pelo manejo adotado, influencia na apreensão do pasto pelo herbívoro que, por sua vez, interfere na resposta produtiva do animal. O intervalo de desfolha, associado ao acúmulo térmico, considera as mudanças morfogênicas que ocorrem na planta e auxiliam no conhecimento das respostas do pasto favoráveis às características desejáveis (por exemplo: maior RFC, maior participação de folhas na massa de forragem) que facilitem o consumo dos herbívoros durante o processo de colheita da forragem.

Entre as tecnologias exigidas para aumentar a produção de pasto estão o uso da irrigação e o controle da desfolha. Para o Tifton 85 foi observado que o uso de irrigação promove incremento de até 20% de produção adicional da pastagem (VOGELER et al., 2016), maior relação folha:colmo e aumento de 55% da produtividade total de forragem (SANCHES et al., 2015). Geralmente, estas respostas são atingidas por espécies forrageiras com alto potencial produtivo e elevada exigência de recursos, tais como as espécies do gênero *Cynodon*. Contudo, estratégias de irrigação ainda são pouco aplicadas em ambientes pastoris e constituem uma lacuna a ser ainda melhor explicada.

O presente estudo tem por objetivo avaliar a resposta produtiva de uma pastagem de Tifton 85 submetida a distintas frequências de desfolha em duas condições hídricas (irrigado e não irrigado), determinar a produtividade da água para a forrageira Tifton 85, avaliar as relações existentes entre a produção de forragem e o conteúdo de água no solo durante o ciclo de crescimento da pastagem (Primavera, Verão e Outono).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil (29°43'S, 53°43' O e altitude média de 103 m).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, distribuído em arranjo fatorial, com dois níveis do fator A (irrigado e não irrigado) e quatro níveis do fator D (acúmulo térmico de 124 GD, 248 GD, 372 GD e 744 GD) e medidas repetidas no tempo, com três repetições de área, totalizando 24 unidades experimentais (UE), com área individual de 16 m². O experimento foi analisado como parcela subdividida, em que os dois níveis do fator A corresponderam a parcela principal, os quatro níveis do fator D corresponderam à parcela subdividida e as estações do ano às medidas repetidas.

As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo procedimento Mixed do programa estatístico SAS[®]. As interações entre os níveis de irrigação e frequência de desfolha foram desdobradas quando significativas a 5% de probabilidade e as variáveis modeladas em função do acúmulo térmico. As médias, quando não ajustadas aos modelos de regressão, foram comparadas pelo procedimento lsmeans. O modelo matemático utilizado foi:

$$Y_{ijk} = m + a_i + d_j + p_k + (ad)_{ij} + (ap)_{ik} + (dp)_{jk} + (adp)_{ijk} + e_{ijk} \quad (1)$$

Em que: Y_{ijk} é o valor observado da variável aleatória Y; m é a média geral do experimento, a_i é o efeito aleatório do fator A, d_j é o efeito aleatório do fator D, p_k é o efeito do fator período, $(ad)_{ij}$ é o efeito da interação do nível i do fator A com o nível j do fator D, $(ap)_{ik}$ é o efeito da interação do nível i do fator A com o nível k do fator período, $(dp)_{jk}$ é o efeito da interação do nível j do fator D com o nível k do fator período, $(adp)_{ijk}$ é o efeito da interação do nível i do fator A com o nível j do fator D e o nível k do fator período, e_{ijk} é o efeito aleatório do erro experimental referente a UE.

O experimento foi conduzido em pastagem de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) estabelecida há quatro anos. Nos anos anteriores realizou-se sobressemeadura da área experimental com espécies hibernais (azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*)).

Sempre que o acúmulo térmico era atingido realizava-se um corte de rebaixamento do dossel a altura de 0,15 m. Este procedimento foi realizado com o auxílio de um aparador de grama elétrico com altura de corte ajustada. Os intervalos entre cortes foi aproximadamente equivalentes aos acúmulos térmicos, múltiplo do filocrono (60,5°C) da espécie Tifton 85, contemplando variadas possibilidades entre momentos de utilização da pastagem durante os períodos de avaliação.

O cálculo da soma térmica foi realizado a partir da seguinte equação:

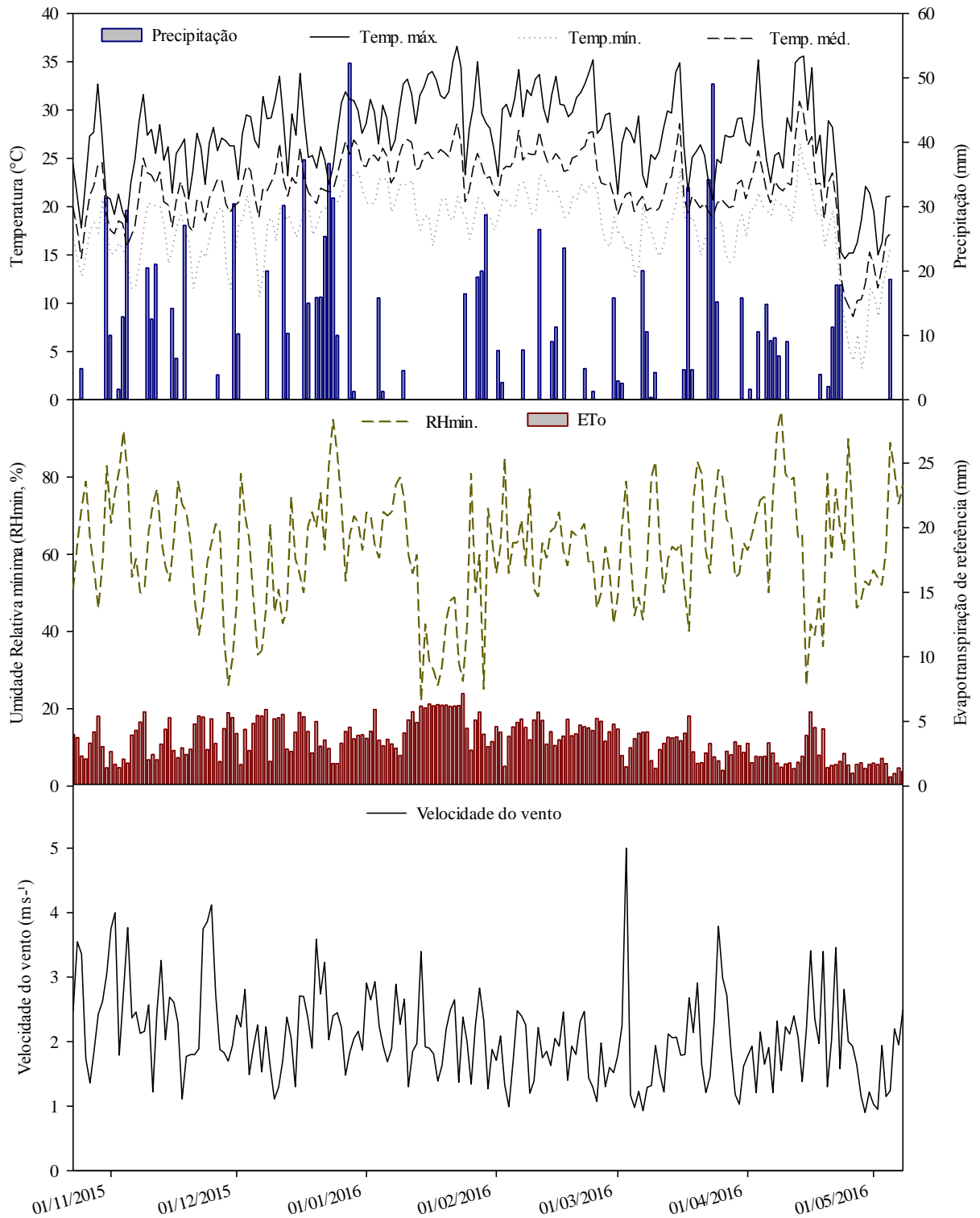
$$ST = \Sigma(Tmd) - 10^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Em que, ST corresponde à soma térmica acumulada, $\Sigma(Tmd)$ e corresponde ao somatório das temperaturas médias diárias do período e dez é a temperatura base de crescimento do Tifton (OLIVEIRA et al., 1998).

O clima da região, segundo Kottke et al. (2006), é do tipo “Cfa”, de acordo com a classificação climática de Köppen. As temperaturas médias mensais do local de estudo variam durante o ano entre 9 e 25°C. A precipitação média anual da região é de 1.712 mm (HELDWEIN et al., 2009).

As condições meteorológicas durante a execução do experimento foram avaliadas usando duas estações automáticas (Figura 1). Uma estação foi instalada junto à área experimental, para a determinação dos valores de temperatura do ar utilizados para calcular o acúmulo térmico. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada através do método de Penman-Monteith proposto pelo boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) a partir dos dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar ($\text{W m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), obtidos da estação meteorológica pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada a aproximadamente 300 m da área experimental.

O corte de uniformização do dossel vegetativo forrageiro foi realizado no dia 27 de agosto de 2015, com altura rente ao solo e o período experimental foi iniciado em 23 de outubro de 2015, quando todas as UE apresentavam altura média do dossel de 0,15 m, estendendo-se até 11 de maio de 2016, subdividido em: período 1; com 66 dias (23/10/2015 até 28/12/2015, denominado de primavera), período 2; 49 dias (09/01/2016 até 27/02/2016,



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 1 - Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, precipitação (mm), umidade relativa do ar (%), evapotranspiração de referência (ET_o , mm) e velocidade do vento ($m s^{-1}$) observados durante o período experimental em Santa Maria - RS

denominado de Verão) e, período 3; com 72 dias (28/02/2016 até 11/05/2016, denominado Verão/Outono), totalizando 187 dias.

O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). A caracterização física do solo (Tabela 1) seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Os valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) para o solo da área experimental até a profundidade de 0,50 m foram respectivamente $0,338 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,088 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, valores estes determinados a partir da média ponderada considerando as diferentes profundidades amostradas.

A análise química do solo, de amostras coletadas na profundidade de 0 a 0,10 m apresentou as seguintes características: pH em água 5,3; índice SMP 5,5; P-Mehlich $20,8 \text{ mg dm}^{-3}$; matéria orgânica 2,9%; CTC efetiva $7,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação por bases 48,2% e CTC pH-7 $14,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A adubação realizada seguiu as recomendações para culturas forrageiras, gramíneas de estação quente, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Foram aplicados 180 kg ha^{-1} de nitrogênio e 60 kg ha^{-1} de fósforo e potássio. A adubação nitrogenada foi fracionada em três doses iguais, aplicadas no início de cada período experimental, isso é, nos dias 29 de setembro de 2015; 08 de janeiro e 05 de março de 2016. O fósforo e potássio foram aplicados em dose única juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio.

O conteúdo de água no solo foi monitorado até a profundidade de 0,50 m, com o auxílio de sensores FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência) instalados nas camadas de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,50 m de profundidade, no centro das UE. A umidade do solo foi determinada em duas UE por tratamento.

Os sensores FDR (modelo CS616) foram conectados a um multiplexador (AM16/32) e a um datalogger (CR1000), todos da Campbell Scientific. O datalogger foi programado para realizar leituras e armazenagem dos dados de conteúdo de água no solo em intervalos de 15 minutos. Para o cálculo do conteúdo de água no solo o valor atribuído foi o equivalente a leitura realizada às 23:45 horas.

O manejo da irrigação foi realizado a partir dos valores de umidade do solo determinado em nível de campo com o valor da CC. As irrigações foram realizadas por aspersão convencional, utilizando-se aspersores do modelo pingo setorial, com taxa de aplicação de 20 mm h^{-1} . A lâmina bruta de 12 mm foi aplicada sempre que a umidade do solo, na camada de 0,00 a 0,50 m, atingia valor inferior a 85% da CC. As irrigações foram realizadas sempre no mesmo horário (6:00 horas).

Tabela 1 - Características físicas do solo da área experimental nas diferentes profundidades. Santa Maria - RS

Prof. (cm)	Ds (g cm ⁻³)	Dp (g cm ⁻³)	Pt (%)	Micro (%)	Macro (%)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PMP (cm ³ cm ⁻³)	Textura % Argila
0 – 5	1,49	2,54	41,32	36,2	5,1	0,364	0,089	18
5 – 10	1,56	2,54	38,65	34,3	4,3	0,337	0,085	18
10 – 15	1,47	2,59	43,16	29,7	13,4	0,298	0,081	20
15 – 30	1,51	2,61	42,05	32,2	9,9	0,375	0,087	20
30 – 50	1,50	2,65	43,05	30,4	12,6	0,308	0,092	24

Prof. = profundidade da camada; Ds = Densidade aparente do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Micro = Microporosidade; Macro = Macroporosidade; CC = Capacidade de campo equivalente ao ponto de -10 kPa da curva de retenção de água no solo; PMP = Ponto de murcha permanente equivalente ao ponto de -1500 kPa da curva de retenção de água no solo.

Determinou-se a produtividade total da água (WP) (PEREIRA et al., 2012), em que a WP consiste no resultado da razão entre a produtividade real da cultura (Ya, kg ha⁻¹ de MS) e o uso total de água (TWU, m³).

O balanço hídrico foi calculado a partir da seguinte equação:

$$ET = I + P - RO - DP + C \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (3)$$

Onde; ET representa a evapotranspiração (mm), I é a irrigação (mm), P a precipitação pluviométrica (mm), RO refere-se ao escoamento superficial (mm), DP a drenagem profunda (mm), C a ascensão capilar (mm), ΔSF referente ao fluxo de água sub-superficial (mm) e ΔSW equivale a variação no conteúdo de água do solo (mm).

Os valores referentes a P e I foram registrados sempre ao final do período de sua ocorrência. Os componentes do balanço hídrico RO, DP, SF e C, para o estudo em questão foram desconsiderados. A ΔSW foi calculada diariamente através da variação da umidade do solo registrada nos sensores FDR.

Foram cortadas amostras de biomassa aérea da forrageira em todas as UE. As amostras cortadas rente ao solo foram coletadas dentro de uma moldura de ferro com dimensões de 0,50 x 0,50 m sempre que o acúmulo térmico referente ao tratamento proposto era atingido. No momento do corte, as amostras de forragem foram colocadas em sacos de papel e encaminhadas para estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, após secagem as amostras foram pesadas e estimou-se a massa de forragem em kg ha⁻¹ de MS.

Concomitante a avaliação de MF foram coletadas amostras de forragem em todas as UE para a realização da separação botânica e estrutural. As amostras foram coletadas no

interior de uma moldura de ferro com dimensões de 0,0625 m², acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para a separação manual dos componentes: folha (lâmina foliar), colmo (bainha da folha + pseudocolmo), material morto (folhas e colmos) e outras espécies. Após a separação, cada componente foi colocado em sacos de papel e levado para estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas. Após secagem, as amostras foram pesadas. A partir deste peso, calculou-se a participação percentual de cada componente na MF total.

A RFC foi calculada a partir da razão entre a massa seca de folhas (MSfol, kg MS de folhas ha⁻¹) e a massa seca de colmos (MScol, kg MS de colmo ha⁻¹).

Semanalmente foram realizadas, em dez pontos por UE, medidas da altura do dossel forrageiro (cm). Utilizou-se uma régua graduada em milímetros e as leituras foram realizadas desde a superfície do solo até o dobramento médio das lâminas foliares.

Em todas as avaliações foi feita a calibração ALT X MF. Com isso foi possível determinar uma regressão linear entre ALT x MF para cada intervalo de corte. No interior de molduras de 0,25 m² foram tomadas cinco medidas de altura do dossel e depois a forragem foi cortada ao nível do solo, encaminhada para estufa de ar forçado a 65°C por 72 horas. A regressão determinada foi utilizada para o cálculo de acúmulo de forragem

A TAC foi calculada a partir da diferença entre a MF no início de um período de avaliação (MF_i) e MF no final de um período de avaliação (MF_f) dividida pelo número de dias (n) do período considerado.

A PMS foi calculada, para todas as UE, por meio da multiplicação entre a TAC e o número de dias do período e adicionando-se a massa de forragem existente na UE no início do período experimental, expressa pela equação:

$$PMS = (TAC \times n) + MF_i \quad (4)$$

Em que PMS corresponde à produção de massa seca (kg ha⁻¹ de MS); TAC, taxa de acúmulo diária da forragem por hectare por dia (kg ha⁻¹ de MS dia⁻¹); n corresponde ao número de dias do período e MF_i é a massa de forragem no início do período.

A variação na altura do dossel forrageiro foi calculada a partir da diferença entre duas determinações de altura consecutivas (semanalmente).

$$VARalt = alt_i - alt_{(i-1)} \quad (5)$$

Em que VAR_{alt} corresponde a variação observada na altura do dossel, alt_i é a altura do dossel medida no momento da avaliação i e $alt_{(i-1)}$ corresponde a altura do dossel medida na avaliação $i-1$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

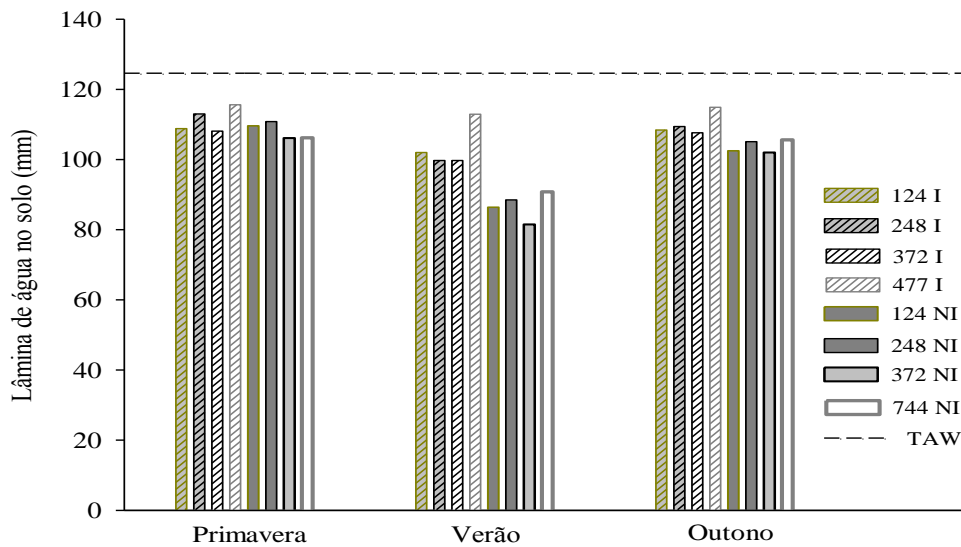
As variáveis ALT, RFC, VAR_{alt} , MSfol, MSmm, TAC, PMS, MScol e MF não apresentaram diferença em nenhum dos períodos avaliados para o uso de irrigação. O valor do total de água disponível no solo (TAW) até a profundidade de 0,50 m foi de 124,6 mm. Os valores médios da água disponível no solo (ASW), em percentual da TAW, para os períodos de Primavera, Verão e Outono foram respectivamente de 90,1; 83,6 e 88,9% para os tratamentos irrigados e 87,1; 70,5 e 82,9% para os não irrigados (Figura 2).

A lâmina líquida total de irrigação aplicada foi de 129,9 mm, distribuída em nove irrigações. A precipitação pluvial total acumulada durante o período experimental foi de 1.084 mm, sendo 19% superior às médias históricas citadas por HELDWEIN et al. (2009) para a região. Os meses de novembro, dezembro e março registraram precipitação pluvial superior à média histórica (24, 155 e 43%, respectivamente). Esse comportamento está relacionado à ocorrência do fenômeno El Niño durante o ano agrícola 2015/16.

Segundo o boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) a depleção de água no solo para causar estresse em pastagens de bermudas deve ser de 55% do valor da TAW. O conteúdo de água observado no solo para o presente estudo (média de 104 mm) correspondeu a 83,4% da TAW, fato que provavelmente seja a causa da não existência de diferença significativa para as variáveis avaliadas.

Houve interação entre estação do ano e frequência de desfolha para as variáveis ALT, RFC, VAR_{alt} (Tabela 2), MSfol, MSmm, TAC e PMS (Tabela 3). A correlação entre ALT e MF apresentou coeficientes altos e positivos para os períodos de Primavera (0,83), Verão (0,80) e Outono (0,75).

Para todos os períodos avaliados, a maior frequência de desfolha promoveu menores alturas no dossel forrageiro, o que pode ser atribuído ao pequeno intervalo no processo de desfolhação da forragem (Tabela 2). Variações na ALT interferem no processo de colheita de forragem pelos animais e esta está entre os principais parâmetros a serem avaliados em pastagens (GONÇALVES et al., 2009). Pinto et al. (2001), medindo a dinâmica de acúmulo de forragem e Taffarel et al. (2016), avaliando as características estruturais de pastagens de



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 2 - Disponibilidade hídrica do solo (ASW) durante a primavera, verão e outono para os distintos períodos correspondentes aos acúmulos térmicos de 124, 248, 372 e 744 GD, irrigados (I) e não irrigados (NI), da pastagem de Tifton 85 no ano agrícola 2015/16 em Santa Maria - RS

Tifton 85, relatam que a altura média ideal para utilização da pastagem de Tifton 85 está entre 20 a 30 cm. Contudo, para um manejo de rebaixamento do dossel a 15 cm, os valores de ALT para o acúmulo térmico 372 GD atingiu aproximadamente 43% de rebaixamento, muito próximo a recomendação proposta por Carvalho (2013) que preconiza a remoção de 40% da altura do dossel como critério de ocupação do pasto para que não prejudique a taxa de ingestão de forragem dos animais em pastejo.

O manejo da desfolha proposto proporcionou distintos percentuais de remoção da forragem, provavelmente, interferindo na RFC ao longo das estações do ano. Os valores de RFC ficaram entre 0,408 a 0,703, para os acúmulos térmicos 124 GD durante o outono e 248 GD durante a primavera, respectivamente. Ao testarem doses de N e uma altura de rebaixamento de 5 cm, Quaresma et al. (2011) observaram valor de RFC igual a 1,09. Gomes et al. (2015a) testando o uso de irrigação e a sobressemeadura de espécies hibernais em pastagem de Tifton 85, obtiveram valores de RFC de 1,08. Estes valores são superiores aos observados no presente estudo. Contudo observa-se que para o verão e outono, as menores frequências de desfolha promovem valores maiores de RFC. Este parâmetro é bastante relevante, pois no processo de pastejo os herbívoros apreendem principalmente lâminas foliares. A menor VARalt foi observada para os acúmulos térmicos de 124 e 248 GD durante o período do verão (4,3 cm) e a maior variação foi durante o outono (8,7 cm) no acúmulo

térmico de 744 GD. Esse parâmetro demonstra a capacidade de reação da pastagem ao estresse morfofisiológico, tendo em vista que a frequência, juntamente com a intensidade de desfolha, afeta a área foliar fotossintética remanescente após um evento de desfolha. Os valores observados (Tabela 2) demonstram que, em desfolhas mais frequentes, a VARalt foi menor, pois a intensidade de desfolha nestas condições é bastante leniente (aproximadamente 21% de remoção da forragem) promovendo a remoção de folhas jovens em um curto espaço de tempo e mantendo um percentual elevado do dossel remanescente, interferindo no processo de rebrota do pasto em todas os períodos avaliados.

O percentual de MSfol (Tabela 3) variou ao longo das estações avaliadas. Durante a primavera, o maior valor observado foi para o acúmulo térmico de 124 GD, enquanto que, nos demais períodos, os maiores valores foram observados para o acúmulo térmico 744 GD. A variável MSfol teve seu valor máximo durante o verão e a partir de então, na estação outono, houve uma redução de 7% em sua participação na massa de forragem quando comparado à estação anterior. Em estudo testando doses de N em pastagem de Tifton 85, com ovinos sob lotação contínua e altura do pasto mantida a 10 cm, Fagundes et al. (2011) observaram redução no percentual de MSfol de janeiro a março. Os autores atribuíram este comportamento às mudanças morfológicas no pasto ao longo de seu ciclo de desenvolvimento, tais como o acréscimo na proporção de colmos em relação a folhas e acúmulo de material morto. Houve aumento na participação do percentual de MSmm para a estação outono quando comparado à primavera e verão (Tabela 3). O manejo da desfolha com diferentes somas térmicas não interferiram no percentual de MSmm durante as estações de primavera e verão, contudo, para o outono, os intervalos de desfolha com menores acúmulos térmicos (124 e 248 GD) apresentaram maior percentual de MSmm no dossel forrageiro, e o menor percentual de MSmm (45,6%) foi observado para o acúmulo térmico 744 GD, tratamento em que apresentou maior percentual de remoção do dossel chegando a 58%.

As variáveis TAC e PMS foram similares durante a estação primavera para os acúmulos térmicos 248, 372 e 744 GD, diferindo do 124 GD que apresentou o menor valor (Tabela 3). No verão e outono os valores de TAC e PMS foram superiores com o acúmulo térmico 744 GD em relação aos demais intervalos de desfolha. Os resultados de TAC encontrados neste trabalho são similares aos valores observados por outros pesquisadores, em que, em experimentos avaliando Tifton 85 sem o uso de irrigação, a TAC ficou entre 40 e 110 kg MS ha⁻¹ dia⁻¹ (MARSALIS et al., 2007; MAIXNER et al., 2009; FAGUNDES et al., 2012; CUTRIM JUNIOR et al., 2013). Quando se utilizou a irrigação, os valores ficaram entre 105 e 125 kg MS ha⁻¹ dia⁻¹ (FONSECA et al., 2007; BOW e MUIR, 2010; NOGUEIRA et al., 2013;

Tabela 2 - Altura média do dossel (ALT, cm), relação folha:colmo (RFC) e variação na altura da pastagem (VARalt, cm) de Tifton 85 para os períodos de primavera, verão e outono, em Santa Maria - RS

Tratamento (GD)	Estação do ano						Média	cv (%)
	Primavera		Verão		Outono			
ALT (cm)								
124	18,2	d	19,6	d	19,2	d	18,9	
248	21,3	c	21,9	c	20,8	c	21,3	
372	29,0	b	26,3	b	24,0	b	26,5	26,1
744	35,9	a	36,5	a	35,1	a	35,8	
Média	26,1		26,1		24,8			
RFC								
124	0,690	a	0,495	c	0,408	b	0,530	
248	0,703	a	0,567	b	0,468	b	0,580	
372	0,658	a	0,660	a	0,583	a	0,630	17,9
744	0,678	a	0,657	a	0,618	a	0,650	
Média	0,680		0,590		0,520			
VARalt (cm)								
124	4,4	c	4,6	c	4,5	d	4,5	
248	5,4	b	4,3	c	5,8	c	5,1	
372	7,0	a	5,6	b	6,7	b	6,5	25,2
744	5,9	b	7,1	a	8,7	a	7,2	
Média	5,7		5,4		6,4			

124, 248, 372 e 744 GD são os acúmulos térmicos usados para determinar o intervalo de desfolhação do Tifton 85. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si para o teste de Tukey, a nível de 5%.

GOMES et al., 2015a).

No início do período experimental a MF média das UE era de 3.236 kg de MS ha⁻¹. A MScol (kg de MS ha⁻¹) e a MF (kg de MS ha⁻¹) apresentaram diferença entre as frequências de desfolha e podem ser estimadas pelas seguintes equações:

$$\text{MScol} = 0,0016 x^2 + 0,3884 x + 2.215 \quad (r^2 = 0,25; \text{cv} = 28,69\%) \text{ e};$$

$$\text{MF} = -0,000328 x^2 + 4,5351 x + 4.712 \quad (r^2 = 0,38; \text{cv} = 20,07).$$

A maior MScol foi observada para o acúmulo térmico de 744 GD. Carnevalli et al. (2001), comparando diferentes intensidades de desfolha, também observou maior MScol para manejos que favoreceram maior altura do dossel da pastagem de Tifton 85.

Para valores entre os acúmulos térmicos 124 e 744 GD, os modelos quadráticos de regressão indicam que o intervalo de desfolha que proporciona a menor relação MScol:MF

Tabela 3 - Massa seca de folha (MSfol, %), massa seca de material morto (MSmm, %), taxa de acúmulo diário (TAC, kg MS ha⁻¹ dia⁻¹) e produção de massa seca (PMS, kg MS ha⁻¹) da pastagem de Tifton 85 para os períodos de primavera, verão e outono em Santa Maria – RS

Tratamento (GD)	Estação do ano						Média	cv (%)
	Primavera		Verão		Outono			
MSfol (%)								
124	22,2	a	24,4	d	17,8	c	21,4	
248	21,9	b	24,4	c	17,5	c	21,3	
372	21,7	b	24,9	b	18,1	b	21,5	35,1
744	22,1	b	25,7	a	18,4	a	22,0	
Média	21,9		24,8		17,9			
MSmm (%)								
124	24,6	a	31,1	a	45,9	b	33,9	
248	24,3	a	31,3	a	46,7	ab	34,1	
372	24,5	a	30,9	a	45,9	c	33,7	52,7
744	23,4	a	29,9	a	45,6	d	32,9	
Média	24,2		30,8		46,0			
TAC (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹)								
124	40,6	b	81,5	c	50,3	b	57,5	
248	51,5	a	75,6	c	46,1	b	57,7	
372	58,3	a	98,5	b	50,6	b	69,1	38,5
744	53,8	a	124,9	a	61,4	a	80,0	
Média	51,0		95,1		52,1			
PMS (kg MS ha ⁻¹)								PTMS
124	2649	b	3993	c	2896	b	3179	9538
248	3867	a	3703	c	3112	b	3561	10683
372	3898	a	4886	b	3226	b	4003	26,1 12009
744	3610	a	6118	a	4117	a	4615	13845
Média	3506		4675		3338			

124, 248, 372 e 744 GD são os acúmulos térmicos usados para determinar o intervalo de desfolhação do Tifton 85. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si para o teste de Tukey, a nível de 5%.

(0,4056) varia entre 407 a 430 GD e essa relação favorece a estrutura de dossel no processo de herbivoria, ou seja, menor participação de colmos na MF proporciona maior participação de folhas, sendo esta a unidade de interesse na colheita de forragem pelo animal. A maior relação observada foi no intervalo com acúmulo de 124 GD, comportamento este que, segundo Gastal e Lemaire (2015), está associado a intervalos de desfolha frequentes e ao percentual de remoção (mais leniente), que favorecem a maior densidade de eixos de brotação. Fica evidente que, quando uma pastagem sofre desfolhação em curto espaço de tempo, há um aumento considerável na participação de colmos, partes das plantas que não são interessantes para o maior desempenho dos animais em pastejo.

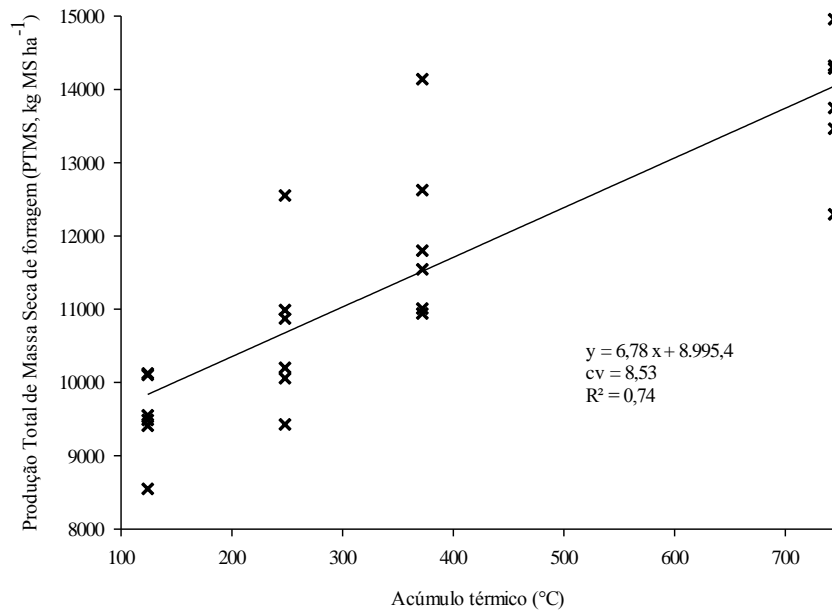
A produção total de massa seca (PTMS) durante toda estação de crescimento da forrageira (Figura 3) demonstra resposta linear à frequência de desfolha. Em manejos do pasto com baixo intervalo entre desfolhas (124 GD), a PTMS média foi 9.538 kg de MS ha⁻¹ e para o maior intervalo de desfolha testado, a PTMS foi 31% superior. Taffarel et al (2016), testando doses de N e idade de rebrota do Tifton 85, encontraram valores médios de PTMS (15.071 kg MS ha⁻¹), resultados semelhantes aos observados para a menor frequência de desfolha.

A ET_c acumulada (mm) do Tifton 85 apresentou diferença entre as estações avaliadas, sendo observados valores de 204,3; 143,0 e 172,9 mm para Primavera, Verão e Outono, respectivamente, e valores médios de ET_c diária de 3,09; 2,91 e 2,40 mm. A ET_c é determinada pelo produto entre ET_o e coeficiente de cultura (K_c), onde a ET_o é calculada a partir das variáveis meteorológicas. Portanto, os resultados observados para ET_c caracterizam as variações meteorológicas observadas nas distintas estações do ano. Este trabalho reforça a importância de estudos futuros com o enfoque de ajuste dos K_c's ao longo do ciclo de cultivo e estações do ano, orientando para o uso eficiente da água e manejo adequado da irrigação.

Não houve correlação entre as variáveis ALT, RFC, VARalt, MSfol, MSmm, TAC, PMS, MScol e MF e o conteúdo de água no solo. Estes resultados estão atribuídos a não existência de déficit devido ao excesso hídrico observado durante o período experimental.

A WP observada para a pastagem de Tifton 85 (Tabela 4) variou de 0,87 a 1,37 kg de MS por m³ de água utilizada. O conhecimento dos valores da WP permite a comparação de distintos sistemas produtivos, assim como permite planejar manejos que auxiliem na poupança e conservação da água (PEREIRA et al., 2012). Ávila (2016) encontrou valores de WP para a cultura do feijão que variaram de 0,91 a 1,27 kg m⁻³, para a cultura da soja a autora encontrou valores entre 1,93 a 2,67 kg m⁻³. Em trabalho conduzido com a cultura do milho Martins et al. (2013) encontraram valores de WP que variaram de 1,55 a 1,95 kg m⁻³. No entanto, cabe ressaltar que a WP para culturas de grãos não considera toda a biomassa produzida pela planta, apenas a massa de grãos, diferente do cálculo realizado para as pastagens, em que seu produto final é o total de pasto produzido no dossel forrageiro.

A menor WP foi observada para o tratamento com maior frequência de desfolha devido a sua menor produção de massa seca de pasto. Tais resultados sinalizam que para obtenção de maior produção de forragem, maior participação de folhas no dossel forrageiro e uso eficiente do recurso hídrico aplicado em pastagens de Tifton 85, o intervalo entre eventos de desfolha não deve ser muito pequeno. A quantidade de água evapotranspirada necessária para produzir cada quilo de massa seca de pasto pode ser demonstrada através da relação entre



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 3 - Produção Total de Massa Seca de Forragem (PTMS, kg MS ha⁻¹) da pastagem de Tifton 85 para as diferentes frequências de desfolha

Tabela 4 - Produtividade da água (WP, kg MS m⁻³), evapotranspiração acumulada da cultura (ET_c, mm) e relação ET_c/produção total de matéria seca (ET_c/PTMS, mm kg MS⁻¹) para os tratamentos irrigados (I) e não irrigados (NI) em pastagem de Tifton 85 durante o período de crescimento da pastagem (2015/16) em Santa Maria – RS

Tratamentos	WP (kg MS m ⁻³)		ET _c (mm)		ET _c /PTMS (mm kgMS ⁻¹)	
	I	NI	I	NI	I	NI
124 GD	0,87	0,90	537	524	0,054	0,057
248 GD	0,89	1,10	644	597	0,063	0,053
372 GD	1,03	1,20	625	586	0,053	0,048
744 GD	1,21	1,37	469	556	0,034	0,040

124, 248, 372 e 744 GD são os tratamentos referentes aos acúmulos térmicos da pastagem de Tifton 85. NI = Não Irrigado, I = Irrigado.

ET_c e PTMS (Tabela 4), onde se demonstra que, quanto menor esta relação, maior a capacidade do ambiente pastoril em produzir MS. Esta relação reforça os parâmetros apresentados anteriormente, em que o tratamento 124 GD tem sua produção comprometida e abaixo do potencial para uso do recurso hídrico aplicado. Este comportamento pode ter sido influenciado pela estrutura de dossel caracterizada pela predominância de colmos e frequente desfolha das folhas em expansão, promovendo menor variação na altura associados à menor PTMS. Os resultados demonstram maior eficiência para tratamentos com menor frequência de desfolha, reforçando a indicação do manejo do pasto com intervalos de descanso maior.

4 CONCLUSÃO

Menores frequências de desfolha favorecem maior PTMS. Assim como, o manejo da desfolha que promove a menor participação da MScol na MF (relação MScol:MF = 0,4056) foi o observado para o intervalo de acúmulo térmico compreendido entre 407 e 430 GD. A produtividade da água também é maior quando a forrageira Tifton 85 é manejada com menores frequências de desfolha. Nestas condições a forrageira necessitou menor lâmina de água evapotranspirada para produzir cada quilo de massa seca.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements**. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: FAO, 1998, 300p.

AVILA, V.S. **Balço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos a irrigação deficitária no sul do Brasil**. 2016. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

BOW, J. R.; MUIR, J. P. Dynamics of harvesting and feeding *Cynodon* hybrid Tifton 85 hay of varying maturities to wether kids. **Small Ruminant Research**. v.93, n.2, 2010, p.198-201.

CARNEVALLI, R.A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Tifton 85 (*Cynodon* spp.) sob lotação contínua. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.7-15, 2001.

CARVALHO, P.C.F. The dynamic of short-term foraging processes. I. Patterns. In. **II International Grazing Behaviour Workshop**. Porto Alegre, RS. 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2004.

CUTRIM JUNIOR, J.A.A. et al. Biomass flow in Tifton-85 bermudagrass canopy subjected to different management strategies under rotational grazing with dairy goats. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, n.2, p.77-86, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006, 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

FAGUNDES, J.L. et al. Produção de forragem de Tifton 85 adubado com nitrogênio e submetido à lotação contínua. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.13, n.2, p.306-317, 2012.

FAGUNDES, J.L. et al. Capacidade de suporte de pastagens de capim-tifton 85 adubado com nitrogênio manejadas em lotação contínua com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p.2651-2657, 2011.

FONSECA, A.F. et al. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, p.328-336, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.004>

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. **Agriculture**. v.5, p.1146-1171, 2015.

GOMES, E.P. et al. Productivity of Tifton 85 grass irrigated and overseeded with winter forages. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v.37, n.2, p.123-128, 2015.

GONÇALVES, E.N. et al. Relações planta-animal em ambiente pastoral heterogêneo: processo de ingestão de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.38, n.9, p.1655-1662, 2009.

HELDWEIN, A.B. et al. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.

HEINRICH BÖLL FOUNDATION **Atlas da carne: fatos e números sobre os animais que comemos**. Rio de Janeiro, p.68, 2015.

HOGDSON, J. Grazing Management: Science into practice. **Longman Scientific and Technical**, Longman Group, London, UK, 1990.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische zeitschrift**. Berlin, v. 15, p. 259-263, 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130

LEMAIRE, G. et al. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**. v.64, p.341-353, 2009.

MAIXNER, A.R. et al. Desempenho animal e produtividade de pastagens tropicais no noroeste do Rio Grande do Sul. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, p.927-934, 2009.

MARSALIS, M.A. et al. Yield and nutritive value of forage bermudagrasses grown using subsurface drip irrigation in the southern high plains. **Crop Science**, v.47, p.1247-1256, 2007. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0399>

MARTINS, J. L. et al. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**. v.115, p.291-310, 2013.

NOGUEIRA S.F. et al. Treated sewage effluent: agronomical and economical aspects on bermudagrass production. **Agricultural Water Management**, v.116, p.151-159, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.07.005>

OLIVEIRA, M. A. et al. Morfogênese das folhas de Tifton 85 (*Cynodon* spp.) em diferentes idades de rebrota. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p. 302-307.

PEREIRA, L. S. et al. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**. v.108, p.39-51, 2012.

PINTO, L.F.M. et al. Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de Tifton 85 sob pastejo. **Scientia Agricola**, v.58, p.436-447, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000300001>

QUARESMA, J.P.S. et al. Produção e composição bromatológica do capim Tifton 85 submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v.33, p.145-150, 2011.

SANCHES, A. C. 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.

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM – SAS. **SAS/STAT user's guide: statistics**. 4.ed. Version 8.2, Cary: 2001, v.2. 943p.

TAFFAREL, L. E. et al. Características estruturais e composição bromatológica de capim Tifton 85 sob doses de nitrogênio e idades de rebrota. **Semina: Ciências Agrárias**. v.37, n.4, p.2067-2084, 2016. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4p2067

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, 2016.

3 ARTIGO II – BALANÇO HÍDRICO E PARTIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO TIFTON 85 (*Cynodon spp.*) IRRIGADO NO SUL DO BRASIL UTILIZANDO O MODELO SIMDUALKC

Resumo: O manejo adequado da irrigação é dependente do entendimento do balanço hídrico do solo e da determinação dos coeficientes de cultura, permitindo a gestão adequada da água nos sistemas agrícolas. Este estudo teve como objetivo calibrar e validar a metodologia dos coeficientes duais (K_c dual) para o Tifton 85 (*Cynodon spp.*) submetido a diferentes manejos da desfolha, com e sem irrigação. Para tanto, foi utilizado o modelo de balanço hídrico SIMDualKc, que calcula a evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizando a metodologia do K_c dual, separando a evaporação da água do solo (E_s) da transpiração da cultura (T_c). O experimento foi conduzido no ano agrícola 2015/16, na Universidade Federal de Santa Maria/RS. Os tratamentos consistiram na combinação de quatro frequências de desfolha do pasto (acúmulo térmico de 124, 248, 372 e 744 GD), com e sem irrigação. O modelo SIMDualKc foi calibrado utilizando o tratamento 248 GD irrigado e validado com os demais tratamentos. Os resultados da modelagem demonstram valores adequados para a utilização do modelo SIMDualKc para a estimativa do balanço hídrico do solo em área com pastagem de Tifton 85. Os erros relativos de estimação ficaram entre 4 e 7% e os erros de estimativa foram reduzidos ($RMSE < 0,018 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). A eficiência de modelagem média para os tratamentos irrigados e não irrigados foi de 0,46 e 0,76, respectivamente, indicando uma menor variância dos resíduos quando aplicado o modelo para os tratamentos não irrigados. A E_s média estimada para todos os tratamentos foi relativamente baixa, 13,7% da ET_c durante todo o período avaliado, demonstrando condições de dossel forrageiro desfavoráveis ao processo evaporativo. Os coeficientes de cultura calibrados ficaram próximos aos padrões. O modelo SIMDualKc apresentou boa capacidade de estimar o balanço hídrico do solo, assim como, o de determinar os componentes relativos aos coeficientes de cultura para uma pastagem de Tifton 85, em um ano de ocorrência do fenômeno El Niño, na região sul do Brasil.

Palavras-chave: ET_c . Coeficiente de cultura. Água no solo. Pastagem. Acúmulo térmico.

WATER BALANCE AND PARTITION EVAPOTRANSPIRATION OF TIFTON 85 (*Cynodon* spp.) IRRIGATED IN SOUTHERN BRAZIL USING MODEL SIMDUALKc

Abstract: The proper management of irrigation depends on the understanding of the soil water balance and the determination of the crop coefficients allowing adequate water management in the agricultural systems. The objective of this study was to calibrate and validate the dual coefficients (dual K_c) methodology for Tifton 85 (*Cynodon* spp.) submitted to different management of defoliation with and without irrigation. For this, the water balance model SIMDualKc, which calculates the crop evapotranspiration (ET_c) using the dual K_c methodology, was used by separating soil water evaporation (E_s) from the transpiration of the crop (T_c). The experiment was conducted in the agricultural year 2015/16, at the Federal University of Santa Maria / RS. The treatments consisted of the combination of four pasture Defoliation frequencies (thermal accumulations 124, 248, 372 and 744 degrees day, GD), with and without irrigation. The SIMDualKc model was calibrated using the irrigated 248 GD treatment and validated with the other treatments. The results of the modeling demonstrate adequate values for the use of the SIMDualKc model for the estimation of the soil water balance in the area with Tifton 85 pasture. Relative estimation errors were between 4 and 7% and estimation errors were reduced (RMSE $<0.018 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). The average modeling efficiency for irrigated and non-irrigated treatments was 0.46 and 0.76, respectively, indicating a lower residue variance when the model was applied to non-irrigated treatments. The E_s estimated for all treatments was relatively low, 13.7% of ET_c throughout the evaluated period, therefore demonstrating forage canopy conditions unfavorable to the evaporative process. Calibrated culture coefficients were close to standards. Calibrated culture coefficients were close to standards. The SIMDualKc model presented a good ability to estimate the soil water balance, as well as to determine the components relative to the cultivation coefficients for a Tifton 85 pasture in a year of occurrence of the El Niño phenomenon in southern Brazil.

Key words: ET_c . Crop coefficients. Water in soil. Pasture. Thermal accumulation.

1 INTRODUÇÃO

O extremo Sul do Brasil é composto pelo Bioma Pampa, ocupando 2,07% do território nacional e caracterizado por uma região plana a suavemente ondulada, com composição vegetal herbácea chegando a 3.000 espécies de plantas vasculares (BOLDRINI, 1997), que formam naturalmente um ambiente pastoril adequado a exploração pecuária. Contudo, nas últimas décadas, ocorreu um avanço considerável das culturas de grãos sobre este ecossistema, causando a supressão da vegetação nativa do local. Neste ambiente, o retorno da atividade pecuária sobre pastagens só é possível com a implantação de plantas forrageiras cultivadas. Devido à escassa disponibilidade de material propagativo de espécies nativas, têm-se utilizado na confecção das pastagens espécies forrageiras exóticas, predominantemente espécies originárias da África e que apresentem alta produção de biomassa, boa adaptação à região e adequado valor forrageiro.

A definição de estratégias de manejo de sistemas pastoris irrigados deve ser realizada com o conhecimento das inter-relações existentes entre solo-água-planta-atmosfera, principalmente para espécies forrageiras que requerem um manejo mais técnico, demandando mais recursos e alto investimento tecnológico, tais como aporte nutricional e hídrico. Para tanto, os estudos devem ir além da mensuração da resposta produtiva da forrageira e contribuir nas estratégias de uso eficiente da água para a produção agrícola.

Observações da variabilidade temporal do conteúdo de água no solo para o perfil explorado pelas raízes de forrageiras perenes cultivadas no Sul do Brasil, usualmente não foram realizadas a partir de um adequado balanço hídrico do solo. Estudos como o de Sanches et al. (2015) utilizaram as medidas de água no solo apenas para manejar a irrigação, sem o enfoque de mensurar balanço hídrico do solo. Estudos envolvendo os distintos componentes do balanço hídrico e suas relações com a ET_c em sistemas pastoris necessárias para um melhor manejo da irrigação, tanto da lâmina e engatilhamento das irrigações, como dos intervalos entre irrigações..

Inovações em relação à gestão e prática da irrigação são necessárias para o manejo de pastagens, uma vez que há um aumento do uso desta prática na região Sul do Brasil. Neste sentido, o entendimento do balanço hídrico para cultivos forrageiros é importante, pois a prática agrícola apresenta relevante demanda hídrica para atender os objetivos produtivos das culturas (PEREIRA et al., 2002). Para forrageiras, o conteúdo de água no solo, associado à área foliar remanescente após a desfolhação do dossel, são fatores primordiais para resposta da planta submetida a este estresse.

Estudos que contemplem as relações existentes entre solo-água-planta-atmosfera são onerosos e relativamente complexos. Modelos de balanço hídrico podem ser utilizados para apoiar o entendimento destas relações, pois ainda existe limitada informação sobre o uso dessa metodologia em plantas forrageiras. Shengwei et al. (2015) utilizaram o modelo SIMDualKc para particionar a evapotranspiração de uma pastagem natural do norte da China, no entanto, trabalhos nessa linha ainda são relativamente reduzidos. O modelo pode ser aplicado para forrageiras cultivadas no Sul do Brasil, associando as condições climáticas, de solo e o manejo da desfolha proposto para a pastagem.

A aplicação do modelo SIMDualKc (ROSA et al., 2012) possibilita estimar o balanço hídrico do solo em escala diária e realizar a estimativa ET_c pela metodologia dos coeficientes duais (Allen et al., 1998, 2005) e avançar no entendimento do processo da dinâmica de água no solo para atender a demanda hídrica das pastagens. Esta metodologia separa o coeficiente de cultura (K_c) em coeficiente de cultura basal (K_{cb}) e coeficiente de evaporação (K_e) ($K_c = K_{cb} + K_e$), onde o K_{cb} está relacionado com a transpiração da cultura (T_c) e o K_e com a evaporação do solo (E_s).

Este modelo foi calibrado e validado em diversos estudos, principalmente com culturas de grãos, onde os pesquisadores observaram bons resultados estatísticos para a estimativa do balanço hídrico, como foi o caso dos trabalhos desenvolvidos por Paredes et al. (2015) e Wei et al. (2015) com a cultura da soja, Martins et al. (2013) e Wu et al. (2015) em cultivos de milho, Miao et al. (2016) em sistemas de cultivo com trigo-milho, trigo-girassol e Pereira et al. (2015) trabalhando com cevada.

O presente trabalho tem por objetivo calibrar e validar o modelo SIMDualKc para o Tifton 85 (irrigado e não irrigado) submetida a diferentes frequências de desfolha e identificar os coeficientes de cultura duais a serem utilizados durante o ciclo de crescimento da forrageira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL E CARACTERÍSTICAS DA CULTURA

A área utilizada para a condução do experimento está situada na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil (29°43' S, 53°43' O e altitude média de 103 m), pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen (subtropical

úmido, sem estação seca definida e com verões quentes), é do tipo “Cfa” (KOTTEK et al., 2006). As temperaturas médias mensais variam entre 9 e 25°C. A precipitação média anual da região é de 1.712 mm (HELDWEIN et al., 2009).

As condições meteorológicas (Figura 1 do Artigo I) foram avaliadas a partir de dados obtidos de uma estação automática localizada a aproximadamente 300 m da área experimental e pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) foi realizada usando o método de Penman-Monteith proposto no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998). O valor médio diário da temperatura do ar foi utilizado para calcular o acúmulo térmico do Tifton 85.

O desenho experimental foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, distribuído em arranjo fatorial, com dois níveis qualitativos do fator A (irrigado e não irrigado) e quatro níveis quantitativos do fator D (acúmulo térmico para desfolhação de 124 GD, 248 GD, 372 GD e 744 GD), com três repetições de área, totalizando 24 unidades experimentais (UE) com área de 16 m². Sempre que o acúmulo térmico do tratamento era atingido realizou-se um corte de rebaixamento da pastagem na altura de 0,15 m. Este procedimento foi realizado com o auxílio de um aparador de grama elétrico com altura de corte ajustada.

O solo no local do experimento é classificado como um Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), que apresenta características de profundidade e presença de gradiente textural no perfil, onde o horizonte B é mais argiloso que o horizonte A (STRECK et al., 2008). A caracterização física do solo (Tabela 1) seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Os valores de CC e PMP, determinados a partir da média ponderada das diferentes camadas até a profundidade de 0,50 m, foram respectivamente, 0,338 cm³ cm⁻³ e 0,088 cm³ cm⁻³.

A determinação e o monitoramento do conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) até a profundidade de 0,50 m foi realizada com o auxílio de sensores FDR instalados no centro das UE, nas camadas de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,50 m de profundidade. As leituras de SWC foram realizadas em intervalos de 15 minutos. A última leitura realizada no dia foi utilizada para o cálculo da SWC diária.

A forrageira Tifton 85 é uma espécie perene de clima tropical e foi implantada na área experimental no ano de 2011. O experimento foi conduzido durante a época de crescimento da forrageira. O período 1 (primavera) teve início no dia 23/10/2015 e término no dia 28/12/2015; o período 2 (verão) foi de 09/01/2016 a 27/02/2016 e o período 3 (outono) iniciou no dia 28/02/2016 e término em 11/05/2016 (Tabela 2). O período entre 28/12/2015 e

Tabela 1 - Características físicas do solo nas diferentes profundidades, para pastagem de Tifton 85 no município de Santa Maria - RS

Prof. (cm)	Ds (g cm ⁻³)	Pt (%)	Micro (%)	Macro (%)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PMP (cm ³ cm ⁻³)	Textura %		
							Arg	Sil	Are
0 – 5	1,49	41,3	36,2	5,1	0,364	0,089	18	36	46
5 – 10	1,56	38,6	34,3	4,3	0,337	0,085	18	36	46
10 – 15	1,47	43,2	29,7	13,4	0,298	0,081	20	35	45
15 – 30	1,51	42,0	32,2	9,9	0,375	0,087	20	37	43
30 – 50	1,50	43,0	30,4	12,6	0,308	0,092	24	35	41

Prof. = profundidade da camada; Ds = Densidade aparente do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Micro = Microporosidade; Macro = Macroporosidade; CC = Capacidade de campo equivalente ao ponto de -10 kPa da curva de retenção de água no solo; PMP = Ponto de murcha permanente equivalente ao ponto de -15000 kPa da curva de retenção de água no solo; Arg = Argila; Sil = Silte; Are = Areia.

09/01/2016 não foi utilizado para o acúmulo térmico para o manejo da desfolha, devido a problemas experimentais, contudo, os dados da SWC foram amostrados e utilizados na modelagem, totalizando 201 dias.

As irrigações foram realizadas sempre que a umidade do solo determinada em nível de campo, na camada de 0,00 a 0,50 m, atingia valor inferior a 85% da CC. O método de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, com aspersores setoriais modelo pingo espaçados entre si em 6 metros, a pressão de serviço de 1,8 bar e coeficiente de uniformidade de Christiansen de 82%, com lâmina bruta de 12 mm aplicadas sempre ao amanhecer.

A altura do dossel (h, m) e a fração de cobertura do solo (fc) foram avaliadas semanalmente em dez pontos amostrais por UE (Tabela 3). Para a medida da h foi utilizada uma régua graduada em milímetros e as leituras foram realizadas desde a superfície do solo até o dobramento médio das lâminas foliares. A fc foi avaliada de forma visual em molduras com área igual a 0,625 m². A profundidade efetiva das raízes (Z_r, m) considerada foi de 0,5 m, foram amostrados 9 pontos na área experimental até a profundidade de 0,6 m, foi estratificado o solo em camadas de 0,10 m, o solo foi lavado, separou-se as raízes e foi medida a massa seca de raiz para as diferentes camadas de solo. Os resultados apresentaram 90% da massa seca de raiz até a profundidade 0,3 m, não apresentando participação significativa a partir de 0,5 m de profundidade do solo.

2.2 MODELO SIMDualKc

A calibração do modelo SIMDualKc consiste em averiguar os parâmetros de cultura

Tabela 2 - Datas de cortes da pastagem de Tifton 85 durante o período experimental 2015/16 em Santa Maria - RS

Data	Período	Acúmulo Térmico (GD)			
		124	248	372	744
23/10/2015	Início/Primavera				
05/11/2015		1°			
13/11/2015		2°	1°		
27/11/2015		3°		1°	
07/12/2015		4°	2°		
17/12/2015		5°			
28/12/2015	Início/Verão	6°	3°	2°	1°
09/01/2016		1°			
17/01/2016		2°	1°		
24/01/2016		3°		1°	
03/02/2016		4°	2°		
10/02/2016		5°			
19/02/2016	Início/Outono	6°	3°	2°	1°
27/02/2016		1°			
28/02/2016		2°	1°		
10/03/2016		3°		1°	
18/03/2016		4°	2°		
31/03/2016		5°			
11/04/2016		6°	3°	2°	1°
19/04/2016					
11/05/2016					

124, 248, 372 e 744 GD são os acúmulos térmicos referentes aos intervalos de desfolha da pastagem de Tifton 85.

(coeficientes de cultura) e de solo (depleção de água possível para que não ocorra stress, evaporação, profundidade da camada evaporativa (Z_e), total de água evaporável (TEW) e água prontamente evaporável (REW), escoamento superficial, e parâmetros de percolação profunda ou ascensão capilar, de forma a minimizar os desvios entre os dados do conteúdo de água no solo observado e simulado pelo modelo. Tanto a REW como o TEW são calculados a partir características texturais do solo na camada superficial (Allen et al., 1998). O total de água disponível (TAW, mm) representa o limite superior de disponibilidade de água às plantas, entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, na profundidade radicular ocupada pelas plantas, enquanto a RAW representa o limite mínimo de água disponível que não cause stress ($RAW = TAW.p$), onde p é a lâmina que indica esse intervalo (Allen et al, 1998). O valor da TAW calculada pelo modelo para o solo em estudo foi de 121 mm, enquanto o valor da RAW foi igual a 67 mm. O modelo foi calibrado com o tratamento 248 GD Irrigado e validado com os demais tratamentos.

Tabela 3 - Altura do dossel forrageiro (h, m) e fração de cobertura do solo pelo dossel (fc) durante o ciclo de desenvolvimento da pastagem de Tifton 85 em Santa Maria - RS

Tratamento (GD)	h/fc	Ciclo de desenvolvimento da cultura			
		Inicial	Dossel máximo	Antes do corte	Depois do corte
Irigado					
124	h	0,15	0,18	0,18	0,15
	fc	0,80	0,85	0,90	0,75
248	h	0,15	0,21	0,21	0,15
	fc	0,85	0,88	0,90	0,80
372	h	0,15	0,28	0,28	0,15
	fc	0,80	0,85	0,90	0,75
744	h	0,15	0,36	0,36	0,15
	fc	0,95	0,98	0,99	0,95
Não irrigado					
124	h	0,15	0,18	0,18	0,15
	fc	0,90	0,93	0,95	0,85
248	h	0,15	0,22	0,22	0,15
	fc	0,88	0,90	0,95	0,85
372	h	0,15	0,29	0,29	0,15
	fc	0,80	0,85	0,90	0,75
744	h	0,15	0,35	0,35	0,15
	fc	0,88	0,90	0,95	0,85

h = altura do dossel forrageiro; fc = fração de cobertura do solo; 124, 248, 372 e 744 GD são os acúmulos térmicos referentes aos intervalos de desfolha da pastagem de Tifton 85.

O balanço hídrico diário do solo na zona radicular pode ser descrito por:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P-RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (1)$$

Onde $D_{r,i}$ e $D_{r,i-1}$ é a depleção da zona radicular (mm) no final do dia i e $i - 1$, respectivamente; P_i é a precipitação; RO_i é o escoamento superficial; I_i refere-se a irrigação; CR_i é a capilaridade; $ET_{c,i}$ é a evapotranspiração da cultura e DP_i é a percolação profunda, todas referindo-se ao dia i , expressos em mm. Neste trabalho a $CR_i = 0$ pois seu valor foi desconsiderado. As saídas do modelo referem-se aos termos diários do balanço hídrico do solo. Quando o conteúdo de água no solo na zona radicular fica abaixo do limiar de água do solo (SWC_p) correspondente à fração de esgotamento, ou seja, $SWC < SWC_p$, então a evapotranspiração real ($ET_c \text{ act}$) é menor do que ET_c e é estimada a partir da equação:

$$ET_c \text{ act} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (2)$$

Em que: $ET_{c \text{ act}}$ refere-se à evapotranspiração real, K_s é o coeficiente de estresse hídrico, K_{cb} refere-se ao coeficiente de cultura basal, K_e é o coeficiente de evaporação do solo e ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}). O K_s é calculado diariamente a partir da comparação da SWC com a SWC_p . Quando não há déficit hídrico, $K_s = 1,0$ ($SWC \geq SWC_p$), caso contrário $K_s < 1,0$ e o valor assumido depende do déficit hídrico no solo (Allen et al., 1998; Rosa et al., 2012a). O produto $K_s K_{cb}$ representa K_{cb} real em relação à água do solo real e às condições ambientais ($K_{cb \text{ act}}$). Assim, a transpiração real da cultura é $T_a = K_s K_{cb} ET_o$ e a evaporação do solo é $E_s = K_e ET_o$. Os parâmetros K_{cb} e p são parâmetros de calibração.

O K_e é calculado após o balanço hídrico diário da camada evaporativa do solo, levando em consideração fc e suas características evaporativas (ALLEN et al., 1998, 2005; ROSA et al., 2012a), a partir do modelo de Ritchie em duas fases (RITCHIE, 1972), que assume uma primeira fase onde a evaporação é limitada pela energia e uma segunda fase onde a evaporação é limitada pela água disponível do solo. A evaporação acumulada no final da primeira fase é denominada água facilmente evaporável (REW, mm), já a evaporação acumulada para o final da segunda fase é denominada água evaporável total (TEW, mm). REW, TEW e espessura da camada evaporável (Z_e , m) (TABELA 4) dependem das propriedades hidráulicas do solo (Allen et al., 1998, 2005) e são parâmetros que devem ser calculados e calibrados.

A estimativa da DP (mm d^{-1}) foi realizada a partir das equações paramétricas propostas por Liu et al. (2006), calculado por meio de uma função de decaimento temporal que relaciona o armazenamento de água no solo perto da saturação com o tempo após a ocorrência de uma chuva forte ou irrigação, em que os parâmetros a_D e b_D são calibrados (TABELA 4).

Os dados de entrada requeridos pelo modelo SIMDualKc consistem em: (i) dados meteorológicos diários referentes à precipitação (mm), umidade relativa mínima (RH_{\min} , %), velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 , m s^{-1}) e ET_o (mm) (FIGURA 1 artigo I); (ii) dados do conteúdo de água na CC e PMP para as distintas camadas de solo na profundidade do perfil explorado pelo sistema radicular (Tabela 1); (iii) dados observados sobre as datas dos estádios de crescimento das culturas: inicial, crescimento do dossel, antes do corte e depois do corte; Z_r (m); h (m) e fc (%) ao longo do período (Tabela 3) e dados não observados como: K_{cb} e p , (Tabela 4) e, portanto, necessitam de calibração; (iv) dados de evaporação de água do solo em REW, TEW (mm) e Z_e (m) requerem calibração; (v) dados da DP, os quais requerem calibração e; (vi) dados das irrigações referentes à lâmina líquida aplicada (mm) (FIGURAS 6 e 7), sistema de irrigação, fração de molhamento do solo (fw) e datas das irrigações. A fw

Tabela 4 - Valores dos parâmetros iniciais/padrão e calibrados, utilizados no modelo SIMDualKc

Parâmetros	Padrão	Calibrado 248 GD Irrigado
K_{cb} início da estação	0,50	0,70
K_{cb} crescimento do dossel	0,95	0,85
K_{cb} antes do corte	0,80	0,80
K_{cb} após o corte	-	0,70
p – fração	0,55	0,55
REW (mm)	10	10
TEW (mm)	37,33	43
Z_e (m)	0,15	0,15
a_D	320,8	335
b_D	-0,16	-0,017
CN	75	75

K_{cb} = coeficiente de cultura basal; p – fração = fração de depleção sem estresse; REW = água facilmente evaporável; TEW = água evaporável total; Z_e = espessura da camada evaporável; a_D e b_D = coeficientes da equação paramétrica de Liu et al. (2006); CN = valor da curva número.

utilizada foi igual a 1,0, sendo necessário para o cálculo do RO (mm) o valor da curva número (CN) (ALLEN et al., 2007).

2.3 CALIBRAÇÃO, VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO SIMDualKc

A simulação para plantas forrageiras perenes iniciou no período de desenvolvimento forrageiro e a aplicação do modelo foi realizada com os parâmetros calibrados e observados para o conteúdo de água no solo para o dia inicial.

O procedimento de calibração do modelo SIMDualKc teve por objetivo obter parâmetros referentes a cultura (K_{cb} e p para cada estágio de crescimento), parâmetros de evaporação do solo (Z_e , TEW e REW) e parâmetros da DP que minimizem as diferenças observadas e simuladas do conteúdo de água do solo na zona radicular. A redução progressiva dos erros residuais das simulações foi dada a partir do procedimento de tentativa e erro (T e E). A partir deste procedimento, primeiramente, foram determinados valores melhorados para K_{cb} e fixou-se p , pois, por se tratar de uma cultura perene, o sistema radicular já está estabelecido. Após os erros serem considerados pequenos, a metodologia T e E foi aplicada ao parâmetro DP, até se obter relação aceitável dos valores de SWC observados e simulados.

O tratamento 248 GD irrigado foi utilizado para calibrar o modelo e a validação foi realizada com a aplicação dos parâmetros previamente calibrados aos demais tratamentos, seguindo as recomendações sobre os requisitos de dados proposto por ALLEN et al. (2011).

A partir da aplicação de um conjunto de indicadores estatísticos realizou-se a avaliação da relação existente entre os dados observados e simulados (ROSA et al., 2012b; MARTINS et al., 2013; ZHAO et al., 2013; PAREDES et al., 2014). Os indicadores estatísticos utilizados foram: (i) coeficiente de regressão (b_0), calculado a partir de uma regressão linear forçada à origem comparando dados do SWC observados e simulados, de forma que, b_0 próximo a 1,00 demonstra elevada relação entre o conjunto de dados; (ii) Coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto da variação dos dados observados é explicada pelo modelo. R^2 próximo a 1,00 indica que a maior parte da variação dos dados observados é explicada pelo modelo; (iii) as medidas estatísticas dos erros residuais de estimação através do cálculo do erro quadrado médio (RMSE), erro absoluto médio (AAE), erro relativo médio (ARE) e o erro máximo (E_{max}). Respectivamente, expressam a variância dos erros e o tamanho médio dos erros estimados, sendo o AAE em unidades absolutas e o ARE em valores relativos (MORIASI et al., 2007); (iv) a magnitude relativa da variância residual em comparação com a variância dos dados medidos foi determinada pela eficiência de modelagem (EF) proposta por Nash e Sutcliffe (1970), que é definida pela razão entre o erro quadrático médio e a variância nos dados observados, subtraído da unidade. Quando a variância dos resíduos é muito menor do que a variância dos dados observados, o valor de EF é próximo de 1,00. Do contrário, valores de EF negativos ou próximos a zero significam que a média dos valores observados é tão boa ou melhor que aqueles simulados pelo modelo (LEGATES e McCABE, 1999; MORIASI et al., 2007); (v) a razão entre o erro quadrado médio e o erro potencial para obter-se uma perfeita concordância entre os dados observados e simulados é representada pelo índice de concordância (d_{IA}) de Willmott (1981). De acordo com Moriasi et al. (2007) valores de $d_{IA} = 1,00$ indicam perfeita concordância entre os dados observados e simulados, por outro lado, não há concordância entre os dados quando o d_{IA} resultar em valor igual a zero e; (vi) a medida da tendência média dos dados simulados, para ser maior ou menor do que os dados correspondentes observados foram expressos pelo cálculo da percentagem de viés (PBIAS). Valores de PBIAS próximos a zero indicam uma simulação exata, no entanto, a sub ou sobre estimação é dada quando seus valores são positivos ou negativos, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Os resultados dos valores de SWC observado e simulado (figuras 1, 2, 3 e 4) apresentaram uma boa associação. Na tabela 4 estão apresentados os parâmetros padrão/inicial e calibrados, relativos aos valores de K_{cb} e p (culturais) e a REW, TEW e Z_e (evaporação do solo), os valores observados apresentaram parâmetros semelhantes aos valores iniciais.

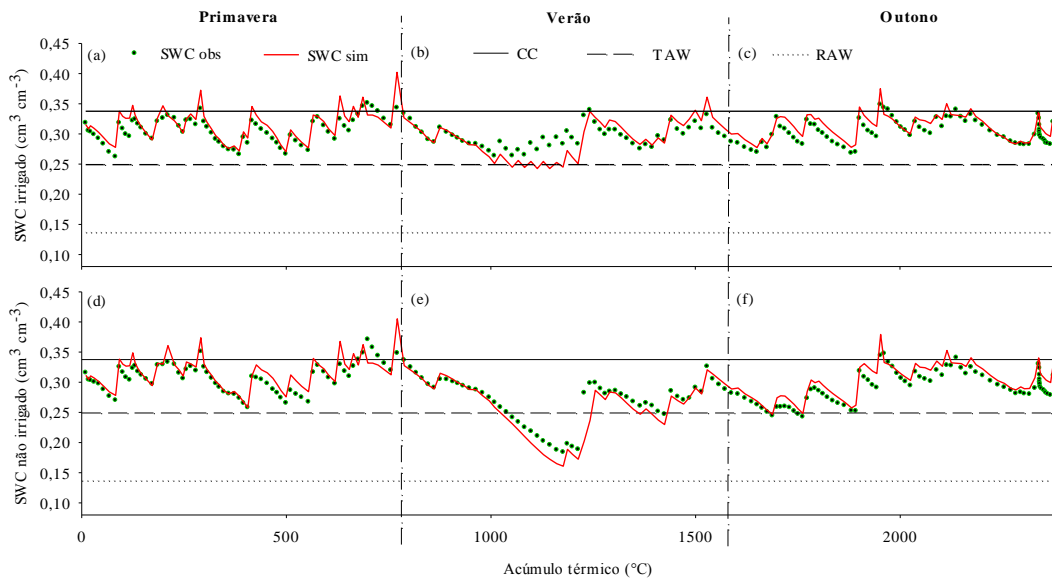
Independente do manejo de cortes, pode ser observado a partir das figuras 1, 2, 3 e 4, que, em geral, o modelo superestimou os valores de SWC para os períodos de primavera e outono, enquanto que, para o período inicial de verão, observou-se que os valores simulados da SWC foram inferiores aos valores observados no campo, indicando subestimativa no conteúdo de água. Tal comportamento é evidenciado pelos valores de PBIAS, negativo para 7 dos 8 tratamentos, contudo, a máxima percentagem de viés ficou próximo a zero (-4,2). No manejo da irrigação, a superestimativa da SWC pode ser mais prejudicial do que a subestimativa, pois estaria estimando um conteúdo de água superior ao que na realidade o solo contém.

No entanto, os erros de estimativa foram pequenos, viabilizando o uso do modelo como ferramenta de manejo da irrigação em pastagens. O RMSE (Tabela 5) variou de 0,012 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para o tratamento que calibrou o modelo, a 0,018 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para os tratamentos que validaram o modelo, enquanto os valores de ARE não excederam 7,01%, demonstrando valor aceitável para estimativa do conteúdo de água no solo a partir do uso do modelo SIMDualKc. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Pereira et al. (2015) para a cultura da cevada, onde o RMSE variou de 0,009 a 0,015 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e ARE variou de 5,1 a 5,8%.

Os indicadores estatísticos que representam a qualidade da simulação (Tabela 5) apresentaram R^2 superiores a 0,60 e b_0 próximos a 1,00. Estes resultados demonstram que a variação dos valores observados pode ser representada pelas estimativas do modelo.

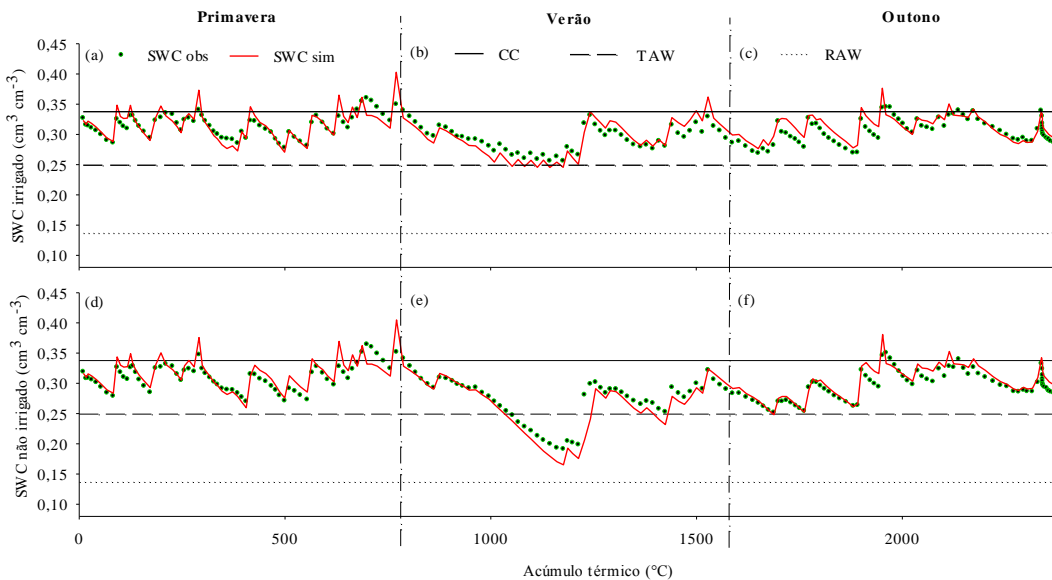
A EF para a calibração foi de 0,65, variando de 0,36 a 0,83 para os tratamentos que validaram o modelo. Estes resultados indicam que a variância dos resíduos foi menor que a variância dos dados medidos, principalmente para os tratamentos não irrigados, ou seja, o modelo nestas condições pode ser utilizado para estimar o conteúdo de água no solo referente às distintas variáveis medidas. Os índices d_{IA} observados foram considerados satisfatórios, com valores superiores a 0,86, indicando que o erro quadrado médio foi próximo ao erro potencial referente à modelagem. Martins et al. (2013), aplicando o modelo SIMDualKc à cultura do milho, observou valores para a EF e d_{IA} superiores a 0,85 e 0,94, respectivamente.

Observando os parâmetros estatísticos avaliados pode-se inferir que o modelo SIMDualKc foi satisfatoriamente calibrado, os valores dos parâmetros podem ser usados para



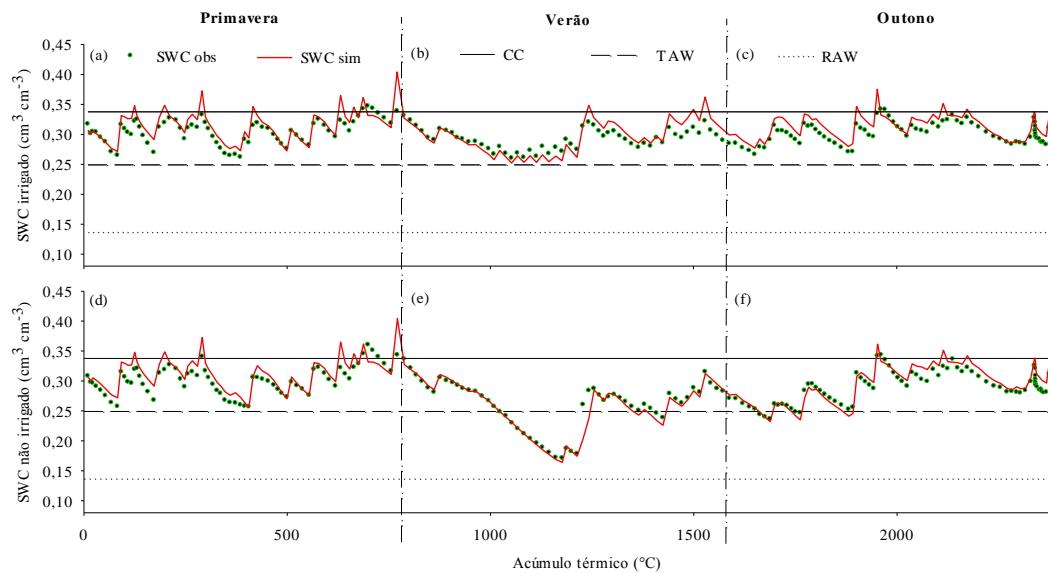
Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 1 - Conteúdo de água no solo (SWC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) simulado (-) e observado (•) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados na primavera, verão e outono (a, b, c) e não irrigados na primavera, verão e outono (d, e, f) com acúmulo térmico de 124 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente



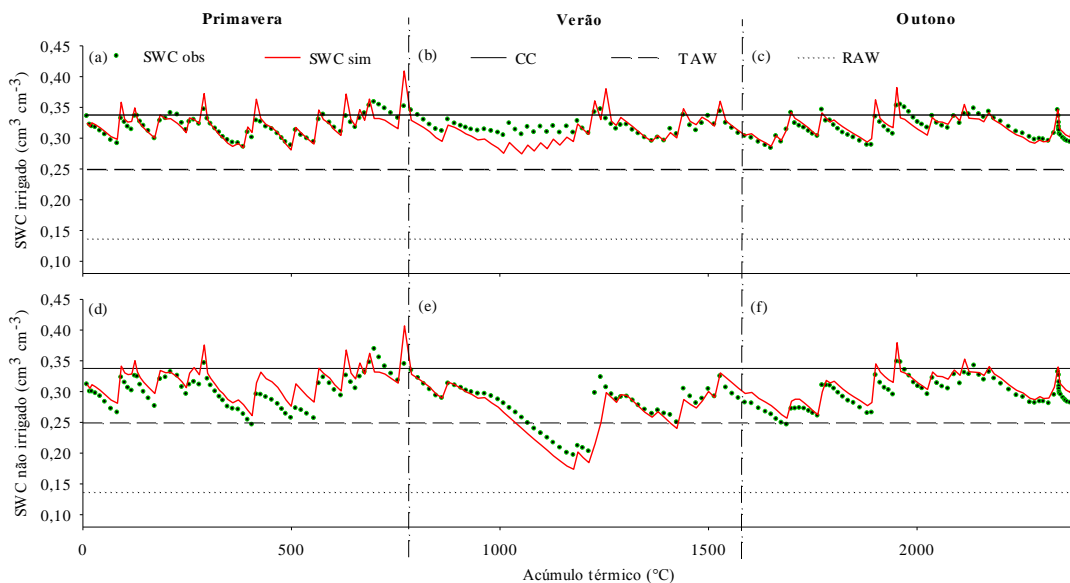
Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 2 - Conteúdo de água no solo (SWC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) simulado (-) e observado (•) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados na primavera, verão e outono (a, b, c) e não irrigados na primavera, verão e outono (d, e, f) com acúmulo térmico de 248 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 3 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (·) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados na primavera, verão e outono (a, b, c) e não irrigados na primavera, verão e outono (d, e, f) com acúmulo térmico de 372 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referentes à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 4 - Conteúdo de água no solo (SWC, cm³ cm⁻³) simulado (-) e observado (·) para a pastagem de Tifton 85, para os tratamentos irrigados na primavera, verão e outono (a, b, c) e não irrigados na primavera, verão e outono (d, e, f) com acúmulo térmico de 744 GD. Linha contínua θ_{CC} , linha tracejada θ_{TAW} e linha pontilhada θ_p referente à SWC na capacidade de campo, total de água disponível e fração de depleção sem estresse, respectivamente

Tabela 5 - Indicadores estatísticos relativos ao conteúdo de água no solo (SWC) para calibração e validação do modelo SIMDualKc para pastagem de Tifton 85 em Santa Maria – RS

Trat	b_0	R^2	RMSE ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	AAE ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	ARE (%)	EF	d_{IA}	PBIAS	Parâmetro
124 I	1,03	0,73	0,015	0,012	5,6	0,44	0,89	-2,66	Validação
248 I	1,02	0,78	0,012	0,010	4,8	0,65	0,93	-1,58	Calibração
372 I	1,04	0,78	0,015	0,012	5,6	0,38	0,88	-4,20	Validação
744 I	1,00	0,60	0,013	0,009	4,0	0,36	0,86	0,18	Validação
124 NI	1,03	0,87	0,016	0,012	6,2	0,77	0,95	-2,36	Validação
248 NI	1,02	0,88	0,014	0,011	5,4	0,79	0,96	-1,22	Validação
372 NI	1,03	0,91	0,014	0,010	5,1	0,83	0,96	-2,83	Validação
744 NI	1,03	0,80	0,018	0,014	7,0	0,66	0,93	-3,31	Validação

I e NI referem-se aos tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente; b_0 e R^2 são os coeficientes de regressão e determinação, respectivamente; RMSE é a raiz quadrada média do erro, PBIAS é a porcentagem de viés, AAE e ARE são os erros absolutos e relativos, respectivamente; EF é a eficiência de modelagem; e d_{IA} é o índice de Willmott.

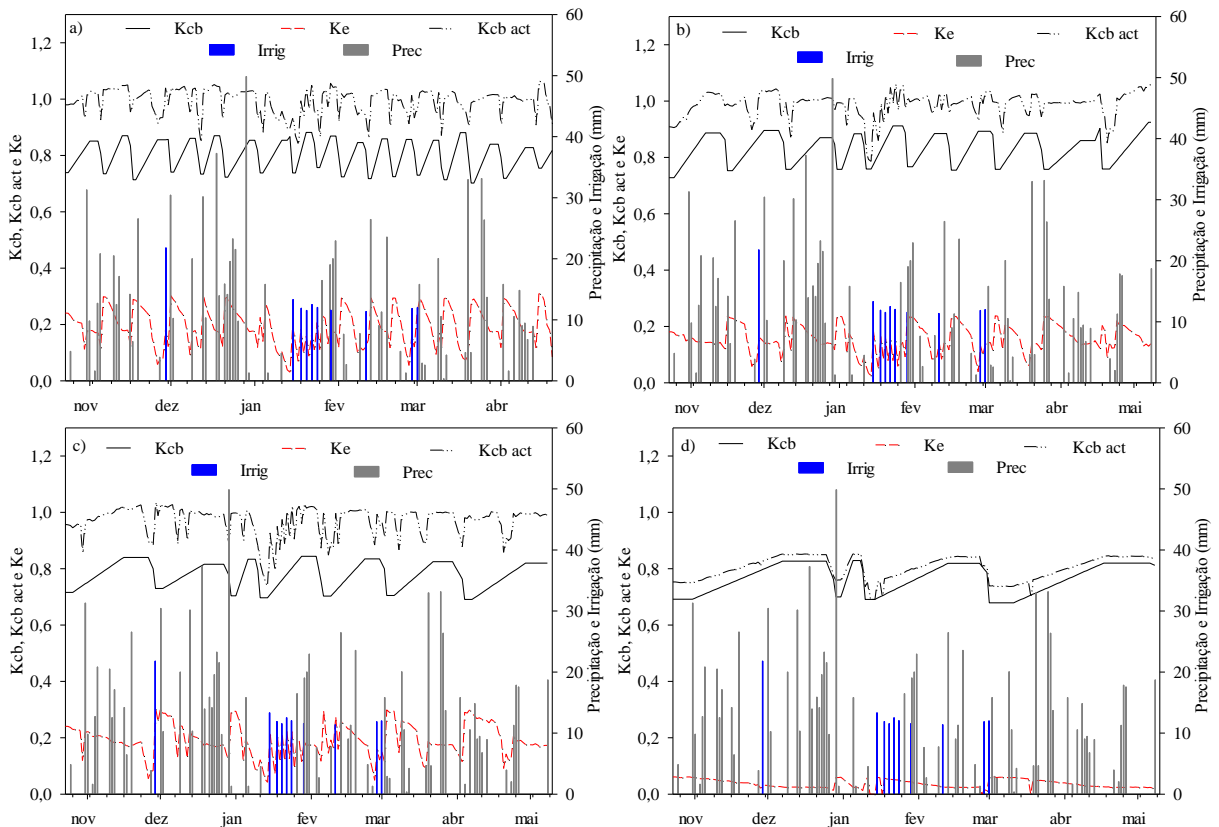
para estimar o balanço hídrico e a evapotranspiração de pastagens cultivadas de Tifton 85 na região Sul do Brasil, podendo-se ressaltar que o modelo melhor se ajustou para condições com menor aporte hídrico, sinalizando que novos estudos são necessários, particularmente sem a ocorrência de chuvas frequentes ou excesso hídrico devido.

3.2 COEFICIENTES DE CULTURA

Os valores de K_{cb} (Figuras 5 e 6) variaram de 0,679 a 0,925 e de 0,679 a 0,882 para os tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente. Estes valores foram ligeiramente diferentes dos valores apresentados na tabela 4. Os valores de K_{cb} apresentados na tabela 4 foram os utilizados para calibrar o modelo SIMDualKc, enquanto que os apresentados nas figuras 5 e 6 já sofreram os ajustes relacionados ao clima, densidade e altura do dossel forrageiro.

Para os tratamentos irrigados, o K_{cb} act ficou acima do K_{cb} , comportamento este que pode ser explicado pela não ocorrência de estresse hídrico durante todo o período de avaliação. Para o tratamento 744 GD Irrigado (Figura 5, d), os valores de K_{cb} act são muito próximos aos valores de K_{cb} , demonstrando que a influência do K_e foi muito pequena para este manejo de corte da forrageira. Esta frequência de desfolha para o tratamento irrigado proporcionou um dossel forrageiro com maior fc ao longo do ciclo de desfolha e menor evaporação da água das camadas superficiais do solo, reduzindo assim o valor de K_e .

Para segunda quinzena do mês de janeiro, os tratamentos não irrigados apresentaram

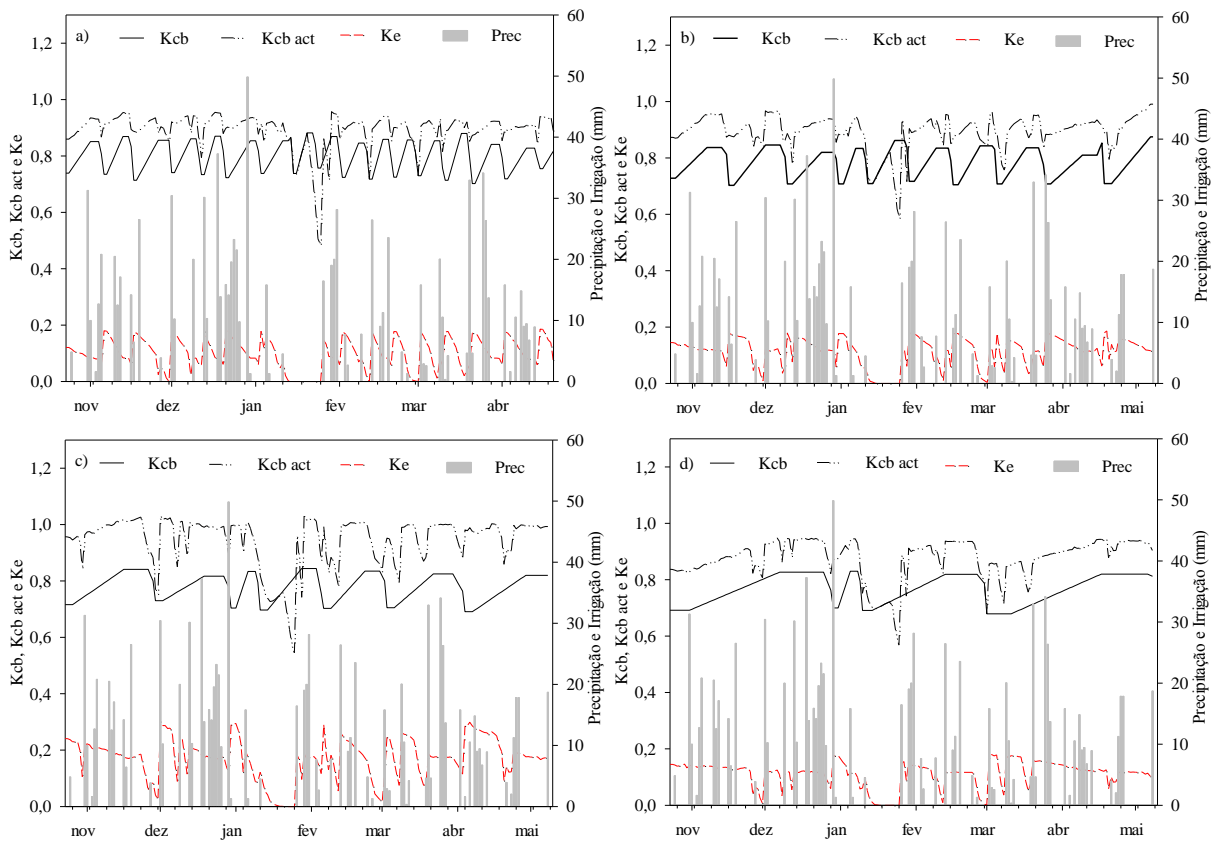


Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 5 - Curvas diárias dos Coeficientes (K_{cb} , K_{cb} act e K_e) estimados pelo modelo SIMDualKc pra os tratamentos irrigados (intervalos de desfolha de 124, 248, 372 e 744 GD respectivamente para “a”, “b”, “c” e “d”) para a pastagem de Tifton 85, Santa Maria - RS

valores de K_{cb} act inferiores aos valores de K_{cb} (Figura 6). Este comportamento coincidiu com um período com condições meteorológicas de alta demanda evaporativa (ET_o média de $5,77 \text{ mm dia}^{-1}$), e com 15 dias sem chuvas, reduzindo a disponibilidade hídrica em razão da elevada demanda evaporativa da atmosfera. Também pode ser observado que os valores de K_{cb} act sofreram maior interferência para os tratamentos com maior frequência de desfolha (Figura 6, “a”, “b” e “c”) devido ao momento do ciclo de desenvolvimento da cultura em que ocorreu a restrição hídrica. Para o tratamento 744 GD (Figura 6, d) observou-se uma redução no K_{cb} act, devido a menor quantidade de chuvas no período de rápido crescimento, onde a fc ainda não é plena e o solo apresentava menor disponibilidade hídrica reduzindo também a participação da componente K_e . Conseqüentemente, o valor de K_{cb} act foi menor que o K_{cb} , indicando um menor estresse em comparação aos demais tratamentos.

As chuvas que ocorreram no final do mês de janeiro ocasionaram um incremento na



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 6 - Curvas diárias dos Coeficientes (K_{cb} , K_{cb} act e K_e) estimados pelo modelo SIMDualKc para os tratamentos não irrigados (intervalos de desfolha de 124, 248, 372 e 744 GD respectivamente para “a”, “b”, “c” e “d”) para a pastagem de Tifton 85, Santa Maria - RS

transpiração para próximo do nível potencial, com valores de K_{cb} act superiores aos de K_{cb} e este pequeno período sem a ocorrência de precipitação não proporcionou efeitos significativos na produção de massa de forragem do Tifton 85.

Para o K_e foram observados picos quando da ocorrência de precipitações pluviais, associado ao momento logo após a execução do corte do pasto, em que a f_c diminuiu, favorecendo a exposição da superfície do solo à incidência de radiação. Diferentemente das culturas anuais, pastagens perenes apresentam boa cobertura do solo durante todo ciclo de crescimento, onde há reduções na f_c somente após os cortes, por esta razão, os valores de K_e podem ser considerados baixos quando comparados aos estádios iniciais de estabelecimento de culturas anuais, como por exemplo, os observados por Wu et al. (2015), Martins et al. (2013), ao trabalharem com milho.

Para o presente estudo, por se tratar de uma pastagem já estabelecida com altura de manejo de 0,15 m, o K_{cb} inicial ficou superior ao K_{cb} padrão (Tabela 4) proposto por Allen et al. (1998) para forrageiras também classificadas como bermudas e submetidas a cortes. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato dos valores de K_{cb} e K_c aumentarem para culturas mais densas e com dossel mais alto (ALLEN e PEREIRA, 2009).

3.3 TRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E EVAPORAÇÃO DO SOLO

A $ET_{c \text{ act}}$ estimada pelo modelo SIMDualKc para os tratamentos irrigados e não irrigados foi de 659 e 626 mm. A T_c foi de 559 e 545 mm, respectivamente (Tabela 6). As diferenças foram reduzidas devido ao alto índice pluviométrico ocorrido durante o período do estudo (1.084 mm). O volume da precipitação pluvial durante o período experimental foi 19% superior ao volume registrado nas médias históricas citadas no trabalho de Heldwein et al. (2009). Os meses de novembro, dezembro e março registraram volumes de chuva 24, 155 e 43%, respectivamente, superior à média histórica. Tal comportamento está relacionado à ocorrência do fenômeno El Niño durante o ano de 2015/16.

A E_s simulada pelo modelo SIMDualKc durante todo o ciclo de desenvolvimento da forrageira Tifton 85 (201 dias), variou de 26 a 132 mm. A maior E_s foi observada para os tratamentos irrigados devido aos frequentes ciclos de umedecimento do dossel e reposição hídrica. Este comportamento era esperado, haja visto que, com o uso da irrigação, a camada superficial do solo permanece por mais tempo úmida e suscetível ao processo de evaporação. A menor E_s observada para o tratamento 744 GD irrigado provavelmente está relacionada à maior f_c e menos ciclos de desfolha, interferindo no processo evaporativo (Figura 7).

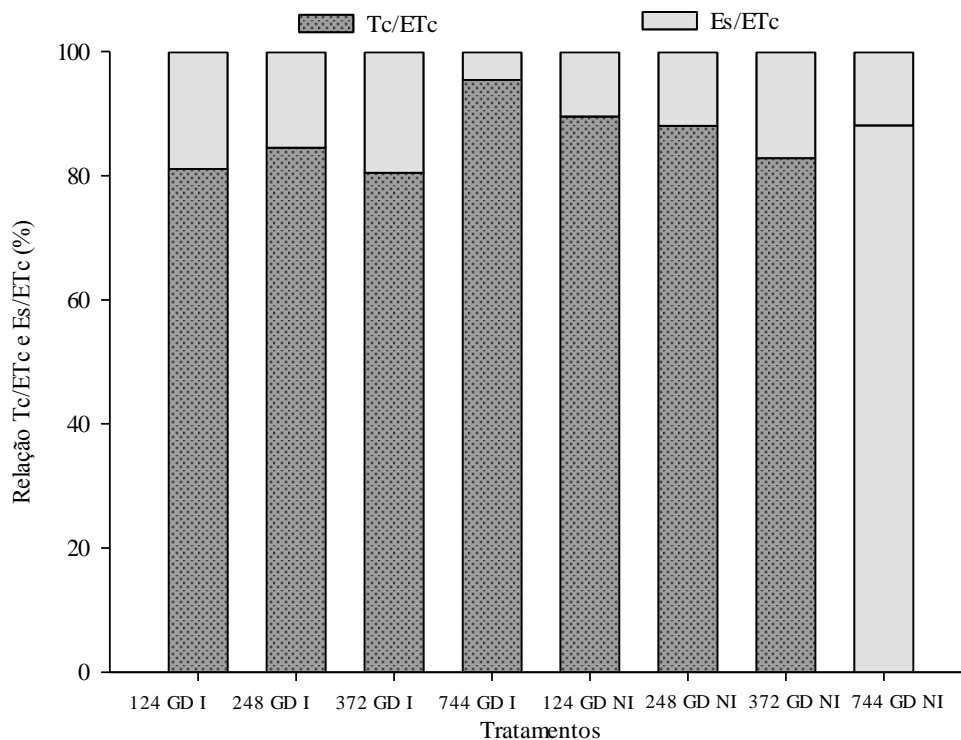
Em sistemas agrícolas de produção vegetal se objetiva maior participação percentual da T_c na ET_c , demonstrando maior aproveitamento da água utilizada. Na figura 7, observa-se que a relação T_c/ET_c foi superior a 85%, demonstrando que a pastagem de Tifton 85 submetida às frequências de desfolha propostas e altura de rebaixamento de 0,15 m é bastante eficiente no uso da água utilizada na ET_c . Tal relação é possível devido ao hábito de crescimento da espécie, pois seus estolões recobrem o solo fazendo com que sua área foliar deixe poucas frações de solo exposto.

Pereira et al. (2015), em trabalho aplicando o modelo SIMDualKc para a cultura da cevada, observaram valores de E_s próximos a 20%. Paredes et al. (2015), ao testarem o modelo para a cultura da soja, observaram valores próximos a 30%. O presente estudo demonstra que a E_s para a forrageira Tifton 85 inferior a estes valores, o que pode estar

Tabela 6 - Componentes do balanço hídrico (mm) para os diferentes manejos da desfolha e manejos da irrigação para a pastagem de Tifton 85 (2015/16) em Santa Maria - RS

Tratamento	ΔASW	P	I	DP	R	ET_c	T_c	E_s
124 I	-0,3	1084,2	129,9	432,8	79,4	698,0	566,1	131,9
248 I	0,3	1084,2	129,9	444,0	76,2	694,0	586,6	107,4
372 I	-0,6	1084,2	129,9	448,8	77,7	679,1	546,6	132,5
744 I	-3,4	1084,2	129,9	573,2	73,6	563,9	538,2	25,7
124 NI	-2,2	1084,2	0	379,7	72,9	623,2	558,1	65,1
248 NI	-1,3	1084,2	0	385,6	73,0	620,9	546,6	74,3
372 NI	-0,6	1084,2	0	349,4	74,3	652,0	540,1	111,9
744 NI	-1,7	1084,2	0	394,8	74,0	607,5	535,3	72,2

I e NI referem-se aos tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente; ΔASW é a variação no conteúdo de água do solo; P é a precipitação, I é a irrigação, DP é a percolação profunda; R é o escoamento superficial; ET_c é a evapotranspiração real da cultura; T_c é a transpiração da cultura; e E_s é a evaporação do solo.



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Figura 7 - Relação Transpiração/Evapotranspiração (T_c/ET_c) e Evaporação/Evapotranspiração (E_s/ET_c) para os diferentes tratamentos para as distintas estações do ano em uma pastagem de Tifton 85 para o ano de 2015/16 em Santa Maria - RS

relacionado com o hábito de crescimento da espécie e, principalmente, ao período de estabelecimento da cultura, onde há pequena fração de solo exposto, diferentemente ao que

ocorre com culturas anuais, onde se observa um período considerável de solo exposto nos estádios iniciais.

O manejo da pastagem de Tifton 85 com intervalos de desfolha entre 124 e 744 GD de acúmulo térmico e altura de rebaixamento do dossel a 0,15 m apresentaram baixa participação da componente E_s , demonstrando que sistemas pastoris estabelecidos são capazes de otimizar o uso da água aplicada.

4 CONCLUSÃO

O modelo SIMDualKc foi calibrado e validado com êxito permitindo a determinação dos coeficientes duais de cultura para a forrageira Tifton 85 cultivada no Sul do Brasil durante a primavera, verão e outono. O modelo SIMDualKc superestimou em 3,2% os valores do conteúdo de água no solo, a super estimativa se acentua principalmente para os períodos com elevado aporte hídrico. A cobertura do solo promovida pelo dossel forrageiro proporcionou baixa relação da evaporação do solo com a evapotranspiração da cultura (E_s/ET_c act) para a pastagem de Tifton 85 (13,7 %).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.
- ALLEN, R.G, PEREIRA, L.S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height, **Irrigation Science**, v. 28, p. 17-34, 2009.
- ALLEN, R.G. et al. Water requirements. In: Hoffman, G.J., Evans, R.G., Jensen, M.E., Martin, D.L., Elliot, R.L. (Eds.), **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**, 2nd ed. ASABE, p. 208-288, 2007.
- ALLEN, R.G. et al. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, v.131, n. 1, 2005.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements**. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: FAO, 1998, 300p.
- AVILA, V.S. **Balço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos a irrigação deficitária no sul do Brasil**. 2016. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- BOLDRINI, I.I. Campos do RS: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências/UFRGS**, Porto Alegre, n. 56, p. 1-39, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006, 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- HELDWEIN, A.B. et al. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.
- KOTTEK, M.et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische zeitschrift**. Berlin, v. 15, p. 259-263, 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- LEGATES, D., & McCABE, G. Evaluating the use of goodness of fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**. v.35, p.233-241, 1999.
- LIU, Y. et al. Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. **Agriculture Water Management**, v. 84, p. 27-40, 2006.
- MARTINS , J. L.et al. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**. v.115, p.291-310, 2013.

- MIAO, Q. et al. Modeling water use, transpiration and soil evaporation of spring wheat-maize and spring wheat-sunflower relayintercropping using the dual crop coefficient approach. **Agricultural Water Management**. v.165, p.211-229, 2016.
- MORIASI, D.N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* 50(3), p.885-900, 2007.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models: part 1. A discussion of principles. **Journal Hydrology**. 10(3), p.282-290, 1970.
- PAREDES, P. et al. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. **Agricultural Water Management**. v.135, p.27-39, 2014.
- PAREDES, P. et al. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water soil evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. **Agricultural Water Management**. v.152, p.57-71, 2015.
- PEREIRA, L.S. et al. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**. v.57, p.157-206, 2002.
- PEREIRA, L. S. et al. Modeling malt barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting reinfall years. Assessing AquaCrop and SIMDualKc models. **Agricultural Water Management**. v.159, p.239-254, 2015.
- RITCHIE, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water Resources Research**, v.8, p. 1204-1213, 1972.
- ROSA, R. D. et al. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1.Background and computational strategy. **Agricultural Water Management**. v.103, p.8-24, 2012a.
- ROSA, R. D. et al. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 2.Model testing. **Agricultural Water Management**. v.103, p.62-77, 2012b.
- SANCHES, A.C. et al. Produtividade e valor nutritive do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.2, p.126-133, 2015.
- SHENGWEI, Z. et al. Correlating between evapotranspiration and precipitation provides insights into Xilingol grassland eco-engineering at larger scale. **Ecological Engineering**. v.84, p.100-103, 2015.
- STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**. v.2, p.184-194, 1981.
- WEI, Z. et al, Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soyben in North China Plain. **Agricultural Water Management**. v.147, p.43-53, 2015.

WU, Y. et al. Water use by a groundwater dependent maize in a semi-arid region of Inner Mongolia: Evapotranspiration partitioning and capillary rise. **Agricultural Water Management**. v.152, p.222-232, 2015.

ZHAO, N. et al. Dual crop coefficient modelling applied to winter wheat-summer maize crop sequence in North China Plain: basal crop coefficients and soil evaporation component. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.117, p.93-105, 2012.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi realizado com enfoque diferente da maioria dos trabalhos conduzidos com irrigação de pastagens, pois aborda a avaliação produtiva da forragem associada ao monitoramento diário do conteúdo de água no solo. Busca o uso da modelagem dos parâmetros do balanço hídrico do solo para forrageira Tifton 85, visando aumentar o conhecimento do manejo da irrigação para os ambientes pastoris. Foi relacionado o conteúdo de água no solo, durante as três estações do ano, com os aspectos produtivos da forrageira Tifton 85 submetida a distintas frequências de desfolha.

As variáveis avaliadas no Tifton 85 não apresentaram diferenças para o uso da irrigação, contudo, foram observadas diferenças entre épocas do ano e frequências de desfolha da forrageira, sinalizando para a recomendação adequada do manejo da pastagem que facilite e otimize o processo de herbivoria. A ausência de diferença para o fator irrigação pode estar associado ao elevado índice pluviométrico ocorrido durante o período experimental. No ano de 2015/16, a precipitação foi 19% superior a média histórica referida por Heldwein et al. (2009).

O manejo da desfolha do pasto interfere na estrutura do dossel forrageiro. A forrageira Tifton 85 manejada com alta frequência de desfolha apresenta maior participação de massa seca de colmos na massa de forragem, característica indesejada em ambientes pastoris, haja visto que no processo de herbivoria os animais preconizam a apreensão e consumo de lâminas foliares.

O manejo da forrageira Tifton 85 com intervalos de desfolha entre 407 e 430 GD são os que proporcionam a menor participação da MScol na MF (40,6%), demonstrando potencial de uso destas pastagens em sistemas de pastoreio rotacionado, que tenham por referência o período de intervalo de descanso entre pastejos entre estes acúmulos térmicos.

Visando o uso de tecnologias como a irrigação, é primordial o conhecimento dos conceitos envolvidos nos processos de demanda hídrica das culturas e do conteúdo de água no solo, disponível às plantas, principalmente para forrageiras, onde os estudos ainda são escassos. A ET_c não apresentou diferença entre os manejos de desfolha propostos, contudo, devido as condições meteorológicas características da região, foi observada diferenças na ET_c entre as estações do ano.

O manejo da irrigação voltado a aspectos de quando e quanto irrigar deve seguir o conhecimento científico relacionado às exigências das culturas, sendo possível evitar o desperdício dos recursos hídricos e aumentar a eficiência no uso da água, recurso escasso em

diversas regiões do mundo, tanto em quantidade quanto em qualidade. A eficiência de uso da água está relacionada com a WP, que segundo Pereira et al. (2012) é dada pela razão entre a quantidade de biomassa produzida de um produto vegetal e a unidade de água utilizada para sua produção, sendo possível a comparação de distintos sistemas agrícolas, proporcionando a capacidade de planejamento do manejo adequado que promova a poupança e conservação deste recurso.

A pastagem de Tifton 85 submetida a distintas frequências de desfolha apresentou WP entre de 0,87 a 1,37 kg de MS por m³ de água utilizada. Valores um pouco inferiores aos observados para as culturas da soja e feijão em trabalho desenvolvido por Ávila (2016) e também para o milho (MARTINS et al., 2013). Estes resultados reforçam a necessidade de maior entendimento e controle do uso da água no manejo das pastagens, promovendo maior eficiência na produção de forragem com as características adequadas para atender o requerimento e resultado no produto final, seja ele, carne, leite ou lã.

As relações existentes entre solo-água-plantas-atmosfera devem ser muito bem esclarecidas, e estas favorecem o manejo da desfolha da forrageira associado ao manejo da reposição da necessidade hídrica da cultura, a fim de não comprometer a máxima expressão do seu potencial produtivo. Para tanto, a determinação do balanço hídrico do solo a partir do monitoramento do seu conteúdo de água serve como uma ferramenta para elucidar os processos envolvidos na evapotranspiração e uso da água pelas plantas, contudo, sua realização a campo necessita de procedimentos onerosos e/ou demorados. No entanto, é possível a aplicação de modelos matemáticos que simule o comportamento dos parâmetros envolvidos no balanço hídrico auxiliando de maneira rápida e eficaz a tomada de decisões para manejar as irrigações para os distintos manejos de desfolha da pastagem.

O monitoramento diário do conteúdo de água no solo permitiu a aplicação do modelo SIMDualKc. Este modelo, desenvolvido por ROSA et al. (2012a, b), utiliza a abordagem dos coeficientes de cultivos duais proposta por Allen et al. (1998, 2005). Foi realizado a calibração e validação do modelo SIMDualKc e a partir das estimativas do modelo foi possível realizar o balanço hídrico do solo para forrageira Tifton 85 submetida a diferentes intervalos de desfolha. Esta metodologia possibilitou a partição da ET_c em T_c e E_s , através da determinação dos coeficientes K_{cb} e K_e , contribuindo para o entendimento e análise do uso da água pela forrageira Tifton 85 nas diferentes épocas do ano.

A partir da calibração do modelo SIMDualKc (tratamento 248 GD I) e validação do mesmo com os demais tratamentos, foi possível determinar os coeficientes de cultura duais para a pastagem de Tifton 85 nas quatro fases de desenvolvimento da forrageira entre cada

corte (0,70; 0,85; 0,80 e 0,70). Com a determinação do K_{cb} da forrageira Tifton 85 para os diferentes estádios de crescimento da forrageira e em diferentes intervalos de desfolha, é possível utilizar estes parâmetros para determinar a ET_c desta forrageira em outros locais no sul do Brasil.

O modelo SIMDualKc super estimou os valores do conteúdo de água no solo (3,2%), este comportamento foi observado principalmente para os períodos com elevado aporte hídrico. No entanto, os resultados indicam boa eficiência do modelo em simular o conteúdo de água no solo em uma pastagem de Tifton 85, a partir da abordagem dos coeficientes de cultivo duais para as diferentes frequências de desfolha e manejos da irrigação.

A avaliação do uso do modelo é dada pela comparação dos resultados simulados pelo modelo com o SWC observado no campo. Os valores observados após as simulações demonstraram boa concordância com os valores observados no campo e os indicadores estatísticos utilizados para avaliar a capacidade do modelo SIMDualKc em simular o SWC demonstraram erros bastante pequenos, podendo ser indicada sua utilização em estudos futuros.

A relação evaporação do solo com a evapotranspiração da cultura para a pastagem de Tifton 85 foi considerada baixa (13,7 %) quando comparada a outros cultivos agrícolas, demonstra que a cobertura do solo promovida pelo dossel forrageiro apresenta alta relevância neste componente do balanço hídrico.

Em termos de E_s foi possível observar que estes ambientes apresentam baixa participação deste componente do balanço hídrico durante todo período de crescimento da pastagem, o que pode estar associado ao hábito de crescimento e cobertura permanente do solo durante todo ciclo da forrageira, contudo, sua minimização pode ainda ser influenciada se considerarmos um manejo da desfolha adequado.

Cabe ressaltar que esta abordagem ainda é pouco utilizada em ambientes pastoris e pode ser bem melhor explorada, principalmente em trabalhos futuros e em anos que o regime pluviométrico não seja superior a média histórica do local, possibilitando assim, a determinação do nível de estresse ocasionado à forrageira pela influência do baixo conteúdo de água no solo. Contudo, o manejo da irrigação para a forrageira Tifton 85 submetido a diferentes manejos de desfolha pode ser realizado tendo por base os resultados apresentados no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements**. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: FAO, 1998, 300p.
- ALLEN, R. G. et al. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, v.131, n. 1, 2005.
- ALLEN, V. G. et al. An International Terminology for Grazing Lands Grazing Animals. **Grass and Forage Science**, v.66, p. 2 – 28, 2011.
- AVILA, V.S. **Balço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos a irrigação deficitária no sul do Brasil**. 2016. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- BLANCO, F. F. et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.5, p.523-529, mai. 2011.
- FALKENMARK, M. et al. Feeding eight billion people. Time to get out of past misconceptions. **Stockholm International Water Institute (SIWI)**. p. 7-10; 2001; <http://hdl.handle.net/10535/5186>
- FANDIÑO, M. et al. Using the dual-Kc approach to model evapotranspiration of albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. albariño) with consideration of active ground cover. **Agricultural Water Management**, v.112, p.75-87, 2012.
- FAOSTAT, Statistical Database 2007. Roma, 2015.
- FAOSTAT, Statistical Database 2007. Roma, 2009.
- HELDWEIN, A.B. et al. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.
- IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Séries históricas, 2006. <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=AGRO03>, acesso em: 05/01/2016.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/rebanho- bovino-brasileiro-cresce-e-chega-a-212-3-milhoes-de-cabecas-degado>
- MARTINS , J. L. et al. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**. v.115, p.291-310, 2013.
- NWS, National Weather Service, http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. 2015. Acesso em: 05/01/2016.

PAÇO, T.A. et al. The dual crop coefficient approach using a density factor to simulate the evapotranspiration of a peach orchard: SIMDualKc model vs. eddy covariance measurements. **Irrigation Science**. v.30(2), p.115-126, 2012.

PEREIRA, L. S. et al. Modeling malt barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting rainfall years. Assessing AquaCrop and SIMDualKc models. **Agricultural Water Management**. v.159, p.239-254, 2015a.

PEREIRA, L. S. Conservação e poupança de água para conviver com a escassez e seca. In: A. Fernández Cirelli e E. Abraham (Eds.) **El Agua em Iberoamérica. De la Escasez a la Desertificación. CYTED XVII e CETA**, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, p.147-160, 2002.

PEREIRA, L. S. et al. Coping with Water Scarcity. UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology, n.58, UNESCO, Paris, p.267, 2002, (acessível por: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001278/127846e.pdf>).

ROSA, R. D. et al. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. **Agricultural Water Management**. v.103, p.8-24, 2012a.

ROSA, R. D. et al. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 2. Model testing. **Agricultural Water Management**. v.103, p.62-77, 2012b.

SOARES FILHO, C.V. et al. Produção e valor nutritivo de dez gramíneas forrageiras na região Noroeste do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v.24, p.1377-1384, 2002.

ZHAO, N. et al. Dual crop coefficient modelling applied to winter wheat-summer maize crop sequence in North China Plain: basal crop coefficients and soil evaporation component. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.117, p.93-105, 2012.