**Universidade de São Paulo**
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

# Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu

**Débora Pantojo de Souza**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba**
**2017**

**Débora Pantojo de Souza**
**Engenheira Agrônoma**

# Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FERNANDO CAMPOS MENDONÇA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba**
**2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Souza, Débora Pantojo de

Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu / Débora Pantojo de Souza. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2017.

147p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Lisímetro de pesagem 2. Evapotranspiração de cultura 3. Sobressemeadura 4. Sonda capacitiva 5. Índice de área foliar I. Título

# DEDICATÓRIA

Aos meus pais Vilma e Donisete pelo amor incondicional e ajuda durante toda a minha vida.
Á minha irmã e amiga Raquel por deixar a minha vida mais alegre.

A minha avó Doracy Pantojo de Souza (*in memoriam*) pelo maior exemplo de dedicação e amor.
MINHA HOMENAGEM

# AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido e ajudado a finalizar mais uma etapa.

Aos meus pais Donisete e Vilma, meu exemplo de vida, por sempre me incentivarem aos estudos; sou imensamente grata.

A minha irmã Raquel e toda minha família; também ao meu namorado Neto, por estar ao meu lado.

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida durante o Mestrado e à FAPESP por financiar o projeto no qual esse trabalho esteve inserido (2012/23002-6).

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, todos os professores que me ajudaram no desenvolvimento desse projeto, em especial ao Prof. Dr. Fernando Campos Mendonça pela orientação e amizade nesse período. Também aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Antonio, Áureo, José Geraldo, Afonso (*in memoriam*), Francisco e aos técnicos do laboratório Antonio e Ezequiel.

Agradeço aos colegas da pós-graduação, pela amizade e em particular ao amigo Arthur Carniato Sanches, pela ajuda fundamental na realização do experimento. Agradeço aos alunos da graduação Pedro José Catto e Rodolfo Guertas Maffei, que estiveram diretamente envolvidos no projeto.

Agradeço também a todos os amigos da Aliança Biblica Universitaria (ABU) e da Aliança Biblica de Profissionais (ABP).

# BIOGRAFIA

Débora Pantojo de Souza, nasceu no município de de Tietê-SP no dia 15 de abril de 1992, filha de Donisete Luis de Souza e Vilma Pantojo de Souza. Cursou o ensino fundamental na Escola Estadual Luiz Antunes, e o ensino médio no Colégio Anglo Tietê. No ano de 2010 ingressou na Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/Unesp), no curso de Agronomia, e obteve o título de Engenheira Agronôma em 2014. Em Março de 2015 iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agricolas da ESALQ/USP. Passado o tempo necessário à realização do mestrado, submeteu-se à defesa de dissertação para obtenção do título de Mestra em Ciências.

# EPÍGRAFE

*"Assim, descobri que o melhor e o que vale a pena é comer, beber e desfrutar o resultado de todo o esforço que se faz debaixo do sol durante os poucos dias de vida que Deus dá ao homem, pois essa é a sua recompensa. E, quando Deus concede riquezas e bens a alguém, e o capacita a desfrutá-los, a aceitar a sua sorte e a ser feliz em seu trabalho, isso é um presente de Deus. Raramente essa pessoa reflete no fato de que a sua vida é curta, porque Deus o mantém ocupado com a alegria do coração".*

Eclesiastes 5:18-20

# SUMÁRIO

**RESUMO** ..... **9**

**LISTA DE FIGURAS** ..... **11**

**LISTA DE TABELAS** ..... **15**

**1. INTRODUÇÃO** ..... **17**

**2. OBJETIVOS** ..... **21**

2.1. GERAL ..... 21
2.2. ESPECÍFICOS ..... 21

**3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** ..... **23**

3.1. ASPECTOS GERAIS ..... 23
3.2. CULTURA: CAPIM MARANDU ..... 23
3.3. SOBRESSEMEADURA ..... 28
3.4. MANEJO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO ..... 31

**4. METODOLOGIA GERAL** ..... **39**

4.1. LOCAL ..... 39
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO ..... 40
4.3. LISÍMETROS DE PESAGEM ..... 40
4.4. SONDA CAPACITIVA (FDR) ..... 46
4.5. IMPLANTAÇÃO DAS CULTURAS ..... 48
4.6. CICLOS DE CULTIVO ..... 48
4.7. MANEJO DA ÁGUA ..... 50
4.8. DADOS METEOROLÓGICOS ..... 51
4.9. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA ..... 51
4.10. PARÂMETROS FITOTÉCNICOS E PRODUTIVOS ..... 53
4.11. ANÁLISE DOS DADOS ..... 53

**1. ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA (KC) DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU EM CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO.** ..... **55**

1.1. RESUMO ..... 55
1.2. ABSTRACT ..... 55
1.3. INTRODUÇÃO ..... 56
1.4. MATERIAL E MÉTODOS ..... 59
1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 64
1.6. CONCLUSÕES ..... 71
REFERÊNCIAS ..... 71

**2. ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA PARA *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU COM SONDA FDR EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO.** ..... **75**

2.1. RESUMO ..... 75
2.2. ABSTRACT ..... 75
2.3. INTRODUÇÃO ..... 76
2.4. MATERIAL E MÉTODOS ..... 78
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 81
2.6. CONCLUSÕES ..... 86
REFERÊNCIAS ..... 86

**3. PARÂMETROS FITOTÉCNICOS DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU EM DIFERENTES CICLOS DE CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO.** ..... **89**

3.1. RESUMO ..... 89
3.2. ABSTRACT ..... 89
3.3. INTRODUÇÃO ..... 90
3.4. MATERIAL E MÉTODOS ..... 92
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 95

3.6. CONCLUSÕES ..... 104
REFERÊNCIAS ..... 105

**4. CORRELAÇÕES ENTRE COEFICIENTE DE CULTURA E PARÂMETROS CLIMÁTICOS E BIOMÉTRICOS NA PRODUÇÃO DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO. ..... 109**

4.1. RESUMO ..... 109
4.2. ABSTRACT ..... 109
4.3. INTRODUÇÃO ..... 110
4.4. MATERIAL E MÉTODOS ..... 112
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 115
4.6. CONCLUSÕES ..... 121
REFERÊNCIAS ..... 121

**5. CONCLUSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 125**

**REFERÊNCIAS ..... 127**

# RESUMO

## Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu

Com a crescente utilização da irrigação em sistemas de produção animal, aumentam a demanda por estudos na área de consumo de água de plantas forrageiras para a obtenção de medidas mais precisas com o propósito de aprimorar o manejo de água em pastagens. Quando esse manejo é realizado a partir de elementos climáticos, uma das estratégias é a utilização de modelos para estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), e para isso é necessário conhecer os valores do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo fenológico. Entretanto, ainda há poucos estudos de determinação de Kc para as forrageiras tropicais, de modo a preencher a lacuna da falta de informação aos usuários e técnicos que orientam a irrigação na forragicultura. O objetivo deste projeto foi determinar o consumo de água e coeficiente de cultura da *Urochloa brizantha* (Syn. Brachiaria brizantha) cv. Marandu em sistema de cultivo exclusivo e consorciado com forrageiras de inverno (Aveia-preta e Azevém). Como objetivos secundários, buscou-se: (i) determinar o consumo de água das forrageiras com sonda capacitiva; (ii) medir parâmetros biométricos e produtivos das forrageiras ao longo dos ciclos; (iii) relacionar a evolução do Kc ao longo do período de crescimento com o índice de área foliar (IAF), altura do dossel forrageiro (ADF) e graus–dias (GD). O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em duas parcelas com área individual de 144 m², nas quais foram instalados lisímetros ao centro, com sistemas automáticos de pesagem e drenagem. Esses lisímetros foram utilizados para medir a ETc e estimar o Kc a partir da comparação entre valores medidos e estimativas de evapotranspiração de referência (ETo) com dados provenientes do Posto Meteorológico localizado na ESALQ e a 100 m de distância da área experimental. Analisou-se o período de 10 de fevereiro a 11 de outubro de 2016 com ciclos de cortes de duração variada devido à fenologia da cultura. Os resultados obtidos revelaram que ambos os sistemas de cultivo (capim Marandu solteiro e consorciado) demando volumes considerais de água para máxima produção. Porém durante o período estacional, o capim Marandu não é eficiente na conversão em matéria seca produzida. O uso da sonda capacitiva como estimativa de evapotranspiração apresenta resultados diferentes a dos lisímetros, porém com correlações significativas. O uso de modelo de crescimento para estimativa de Kc explicam uma utilização prática. Demais resultados detalhados são encontrados no desenvolvimento de cada capítulo.

**Palavras-chave:** Lisímetro de pesagem; Evapotranspiração de cultura; Sobressemeadura; sonda capacitiva; Índice de área foliar

ABSTRACT

**Water consumption, water and biometric relations in two irrigated systems of *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu**

With the increasing use of irrigation in animal production systems, the demand for studies in the area of water consumption of forage plants increases to obtain more precise measures for the purpose of improving water management in pastures. When this management is carried out from climatic elements, one of the strategies is the use of models to estimate crop evapotranspiration (ETc), and for this it is necessary to know the values of the crop coefficient (Kc) throughout the phenological cycle. However, there are still few Kc determination studies for tropical forages, in order to fill the gap of the lack of information to the users and technicians that guide the irrigation in forage. The purpose this study, the was to determine the water consumption and culture coefficient of Urochloa brizantha (Syn. Brachiaria brizantha) cv. Marandu in a system of exclusive cultivation and intercropped with winter forages (Oat-black and Azevém). As secondary objectives, we sought to: (i) determine the water consumption of forages with capacitive probe; (Ii) to measure biometric and productive parameters of forages along the cycles; (Iii) to correlate the evolution of Kc throughout the growth period with the leaf area index (LAI), forage canopy height (ADF) and degree-days (GD). The experiment was carried out at the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (ESALQ/USP), in two plots with an individual area of 144 m², in which lysimeters were installed in the center, with automatic weighing and drainage systems. These lysimeters were used to measure the ETc and estimate the Kc from the comparison between measured values and estimates of reference evapotranspiration (ETo) with data from the Meteorological Station located at ESALQ, 100 m away from the experimental area. The period from February 10 to October 11, 2016 was analyzed with crop cycles of varied duration due to crop phenology. The results showed that both cultivation systems (single and intercropped Marandu grass) require considerable volumes of water for maximum production. However during the seasonal period, the Marandu grass is not efficient in the conversion to dry matter produced. The use of the capacitive probe as an estimate of evapotranspiration presents different results from lysimeters, but with significant correlations. The use of growth model to estimate Kc explains a practical use. Further detailed results are found in the development of each chapter.

**Keywords:** Weight lysimeter, Evapotranspiration of culture, Over-sown, Capacitive probe, Leaf index area

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Médias mensais 1917 - 2006 de precipitação pluvial no município de Piracicaba/SP. ..... 33
**Figura 2.** Mapa Agroclimático para pastagens tropicais (CARNEVSKIS, 2016). ..... 34
**Figura 3.** Croqui da área experimental, Piracicaba/SP, 2015. ..... 39
**Figura 4.** Esquema em corte lateral do lisímetro de pesagem instalado. Piracicaba/SP, 2015. ..... 41
**Figura 5.** a) Escavação do solo com separação das camadas; b) Parede de alvenaria e pontos de apoio. Piracicaba/SP, 2015. ..... 41
**Figura 6.** a) Reservatório de drenagem com válvula e b) Sistema de drenagem. Piracicaba/SP, 2015. ..... 42
**Figura 7.** *Datalogger* utilizado com detalhe da placa de acionamento das válvulas solenoides do sistema de drenagem. ..... 42
**Figura 8.** Procedimentos da calibração dos drenos. Piracicaba/SP, 2015. ..... 43
**Figura 9.** Calibração do sistema de drenagem: a) Dreno do Lisímetro da Área 1; b) Dreno do Lisímetro da Área 2, Piracicaba/SP, 2015. ..... 43
**Figura 10.** Preenchimento das caixas lisímetro seguindo a sequência: a) Manta para proteção do orifício de drenagem; b) camada de brita; c) Manta permeável; d) camada de areia média; e) preenchimento com as camadas de terra; f) caixa totalmente preenchida, Piracicaba/SP, 2015. ..... 44
**Figura 11.** Calibração da caixa lisimétrica. Piracicaba/SP, 2015. ..... 45
**Figura 12.** Curva de calibração das caixas lisimétricas, a) Lisímetro da Área 1; b) Lisímetro da Área 2, Piracicaba/SP, 2015. ..... 45
**Figura 13.** Etapas de instalação dos tubos de acesso para monitoramento da umidade do solo. Piracicaba/SP, 2016. ..... 46
**Figura 14.** a) Utilização do trado de rosca para retirada das amostras; b) armazenamento em com potes identificados; c) utilização de caixa térmica para isolamento do calor externo, Piracicaba/SP, 2016. ..... 47
**Figura 15.** Equação de calibração da sonda capacitiva do solo da área experimental. Piracicaba/SP, 2016. ..... 48
**Figura 16.** Evolução do crescimento do capim Marandu após o corte de uniformidade durante o primeiro ciclo. ..... 60
**Figura 17.** Dados meteorológicos e irrigações realizadas durante o período experimental. ... 61
**Figura 18.** Caracterização das parcelas experimentais em relação aos experimentos e áreas ao lado: áreas em pousio; com experimentos irrigados; área experimental intermitente (descoberta até 29 de maio e após isso com cobertura de plantas forrageiras) e floresta de seringueira. ..... 63
**Figura 19.** Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração de cultura calculada para Área 1 ..... 65
**Figura 20.** Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração de cultura calculada a partir do lisímetro da Área 2. ..... 65

**Figura 21.** Relação de evapotranspiração acumulada para os dois lisímetros, dados presentes de ciclo inteiros. ..... 65
**Figura 22.** Diferença entre os acúmulos médios diários de forragem (AMDF) do sistema de cultivo consorciado em relação ao solteiro, durante o inverno e demonstração temporal de cada ciclo..... 66
**Figura 23.** Coeficientes de cultura calculados a partir do lisímetro da Área 1, separados por ciclos de cultivo. ..... 68
**Figura 24.** Coeficientes de cultura calculados a partir do lisímetro da Área 2 separados por ciclos de cultivo. ..... 68
**Figura 25.** Produtividade da água nos lisímetros A1 e A2, em diferentes ciclos de crescimento. Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01)..... 70
**Figura 26.** Representação de uma parcela experimental: tubos de acesso para as sondas (TAD) e o lisímetro..... 78
**Figura 27.** Irrigação e Precipitação pluvial durante o experimento e demonstração dos ciclos de cultivo..... 79
**Figura 28.** Produtividade de água (PA) determinada com sonda FDR e lisímetros de pesagem. a) diferença entre os ciclos de corte; b) Interação significativa A x M; c) Interação significativa A x C, letras minúsculas comparam as áreas, letras maiúsculas comparam a PA entre os métodos ou ciclos. Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). ..... 85
**Figura 29.** a) Quadro amostrador de forragem; b) resíduo pós corte com tesoura; c) folhas separadas; d) utilização do integrador de área foliar..... 94
**Figura 30.** Temperaturas máxima e mínima (Tmin e Tmáx), radiação líquida (Rad. Líq.) e fotoperíodo (F) durante o período estudado..... 95
**Figura 31.** Precipitação pluvial e irrigação utilizada para o desenvolvimento dos ciclos de cultivo..... 95
**Figura 32.** Produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folha (PF), produtividade de colmo (PC) e demonstração das médias para produtividade de material morto (PM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficientes de variação: 19,6% (PTF), 16,47% (PF), 45,42% (PC), 116,7% (PM). ..... 96
**Figura 33.** Porcentagens de massa seca de folha (%MF), de colmo (%MC) e de material morto (%MM). Coeficiente de variação: 6,65% (%MF), 32,64%(%MC), 103,61% (%MM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). . 97
**Figura 34.** Índices de área foliar (IAF) e relação folha-colmo (RFC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficientes de variação: 15,67% (IAF), 54,93% (RFC)..... 98
**Figura 35.** Ciclos de acúmulo médio diário de forragem total (AMDFT) folha (AMDF) e de colmo (AMDC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficientes de variação: 21,22% (AMDFT), 17,47% (AMDF), 48,99% (AMDC)..... 100
**Figura 36.** Produtividade de colmos (PC), produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folha (PF), e produtividade de material morto (PM). Resultados com letras

iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficientes de variação: 26,43% (PTF), 29,14%(PF), 22,22% (PC), 90,80% (PM). ..... 101
**Figura 37.** Porcentagens de massa seca de folhas (%MF), de colmos (%MC) e de material morto (%MM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 2,34% (%MF), 5,80%(%MC), 69,49% (%MM). 102
**Figura 38.** Porcentagem de massa seca de folhas e colmos do capim Marandu (%MSFM e %MSCM), e da mistura de aveia preta e azevém (%MSFAA e %MSCAA). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 24,53%(%MSFM); 32,28% (%MSCM); 7,41% (%MSFAA); 5,90% (%MSCAA). ..... 102
**Figura 39.** Relação folha-colmo (RFC) e índices de área foliar (IAF). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 25,73% (IAF), 5,52% (RFC). ..... 103
**Figura 40.** Acúmulo médio diário de forragem total (AMDFT), de folhas (AMDF) e de colmos (AMDC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 28,96% (AMDFT), 31,73% (AMDF), 24,75% (AMDC)..... 104
**Figura 41.** a) Parcela do capim Marandu solteiro aos 9 dias após o corte; b) Parcela do capim Marandu sobressemeado com aveia preta e azevém 23 dias após o corte. Data: 03/08/2016. ..... 113
**Figura 42.** Medições de IAF: a) acima do dossel; b) dentro do dossel. ..... 113
**Figura 43.** Medição da altura do dossel forrageiro. ..... 114
**Figura 44.** Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmáx) ao longo do período experimental, e temperaturas basais inferior (tb) e superior (TB). ..... 115
**Figura 45.** Correlação entre índice de área foliar (IAF) e altura do dossel forrageiro (ADF) para: a) final de verão e início de outono, b) cultivo solteiro do capim Marandu, 5 de maio a 11 de outubro; c) cultivo consociado capim Marandu + aveia preta + azevém, 5 de maio a 7 de outubro; Correlação entre Interceptação Luminosa (IL) e altura do dossel forrageiro (ADF) para: d) final de verão e início de outono, e) cultivo solteiro do capim Marandu, 5 de maio a 11 de outubro; f) cultivo consociado capim Marandu + aveia preta + azevém, 5 de maio a 7 de outubro. ..... 117
**Figura 46. a)** Coeficiente de cultura (Kc) em função do índice de área foliar (IAF); **b)** Kc em função da altura do dossel forrageiro (ADF); **c)** Kc em da interceptação luminosa (IL) com equação da interação para área 1 (A1), área 2 (A2) e ambas as áreas (A1 e A2), período compreendido no final do verão e inicio do outono. ..... 118
**Figura 47.** Coeficiente de cultura (Kc) em função de graus dias de desenvolvimento (GDD) com equação da interação para ciclo 1 (C1), ciclo 2 (C2) e ciclo 3 (C3), período compreendido de 10 de fevereiro a 4 de maio de 2016. ..... 119
**Figura 48.** Graus-dia de desenvolvimento (GDD) x Índice de área foliar (IAF) em a) Cultivo solteiro de capim Marandu, período de 5 de maio a 11 de outubro; b) Cultivo solteiro de capim Marandu, ciclos C6 e C7; c) Cultivo consorciado de capim Marandu + aveia preta e azevém, período de 5 de maio a 7 de outubro; d) Cultivo consorciado de capim Marandu + aveia preta e azevém, ciclos C7 e C8. ..... 120

**Figura 49**. Coeficiente de cultura (Kc) em função de graus dias de desenvolvimento (GDD) com equação da interação para ciclo 6 (C6) da parcela A1 e ciclo 7 (C7) e ciclo 8 (C8) da A2. ..... 121

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Coeficiente de cultura recomendados pelo Boletim 56 da FAO.....36
**Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.....40
**Tabela 3.** Características físicas do solo da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.....40
**Tabela 4.** Produção total de forragem para os ciclos de estudo.....67
**Tabela 5**. Teste de correlação simples entre as variáveis por ciclo de cultivo para a área 1.....81
**Tabela 6.** Teste de correlação simples entre as variáveis por ciclo de cultivo para a área 2.....82
**Tabela 7.** Quadro da análise de variância para os valores de coeficientes de cultura (Kc) determinados em duas parcelas, dois métodos em 5 períodos ao longo dos ciclos. .....83
**Tabela 8**. Comparação de média entre as determinações de coeficiente de cultura oriunda dos lisímetro e da sonda capacitivas nas duas parcelas experimentais (A1 e A2). .....84
**Tabela 9.** Coeficientes de cultura inicial, médio e final, determinados por lisímetro de pesagem (L) e sonda FDR (S) com a diferenças das estimativas nas duas áreas (A1 e A2). .....84

**Quadro 1.** Identificação e data dos cortes, e duração do intervalo entre os cortes realizados durante o experimento.....49
**Quadro 2.** Identificação dos ciclos de corte.....93

# 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a pecuária brasileira tem adotado diversas práticas de manejo para aumento de produção animal por unidade de área, devido à redução de terras para implantação de novas pastagens e à competição pelo uso da terra em áreas já ocupadas por pastagens. Entre as técnicas disponíveis para intensificação da produção de forragem, destacam-se: utilização de espécies de forrageiras mais produtivas, adubação das pastagens, tempo de permanência do animal no piquete considerando o suporte da própria planta, sobressemeadura com outras espécies na época de estacionalidade de produção e irrigação.

O emprego da água nos sistemas produtivos aumenta a produção de forragem nos períodos de deficiência hídrica (veranicos ou seca), se não houver outros fatores de impedimento, tais como: fertilidade do solo, temperatura do ar e luminosidade.

Em regiões de clima tropical, no período seco e frio do ano, as plantas forrageiras apresentam uma redução drástica na produção (estacionalidade) e algumas vezes entram em período reprodutivo, devido à redução da luminosidade e da temperatura do ar. Como a seca antecede o frio, no início do outono a irrigação aumenta a produtividade dessas forrageiras. Com o avanço da estação seca e redução da temperatura do ar, a irrigação não é capaz de manter a produção de forragem em níveis que justifiquem sua utilização. Para aumentar a oferta de forragem e garantir que a irrigação dê retorno econômico deve-se, então, realizar a sobressemeadura de espécies aptas à produção nessa época, denominadas forrageiras de inverno. Logo, a sobressemeadura tem o duplo benefício para as forrageiras tropicais, aumentar a produtividade das pastagens em seu período de estacionalidade e garantir um suprimento de água durante esse período, antecipando o aumento da produtividade de forragem quando a temperatura e a luminosidade atingirem novamente a níveis adequados para essas espécies.

As limitações ao bom emprego da irrigação em pastagens estão relacionadas ao baixo grau de conhecimento dessa tecnologia por parte de produtores rurais e assessores técnicos, tanto em relação à elaboração e instalação de projetos quanto em relação ao manejo do sistema de irrigação e da água aplicada. Por isso, tem-se buscado determinações práticas do consumo de água para uso direto no manejo desses sistemas irrigados, geradas a partir de estudos que integrem as variáveis micrometeorológicas e produtivas, gerando coeficientes e medidas corretas e aplicáveis.

Umas das maneiras de realizar o manejo correto da irrigação é a utilização dos elementos climáticos para cálculo da demanda hídrica de uma cultura nos diversos estádios

fenológicos. Essa demanda é denominada evapotranspiração (ET), sendo que sua determinação consiste em somar a evaporação do solo e a transpiração da planta.

A evapotranspiração de uma cultura (ETc) ou de um consórcio de culturas pode ser medida ou estimada. A medição geralmente é feita com lisímetros e as estimativas podem ser feitas com equações que utilizam elementos climáticos e características fenológicas da cultura de interesse. Quando se utilizam equações, é necessário conhecer os valores do coeficiente de cultura (Kc), o qual expressa a relação entra o consumo de água da cultura estudada (ETc) e de uma cultura de referência (ETo).

A caracterização da ETc e do Kc em cada fase do ciclo da cultura gera recomendações técnicas para irrigação de maneira precisa. Com esse conhecimento é possível estimar produtividade potencial das culturas por meio de modelos de crescimento, e também é a base para o planejamento de atividades agrícolas em áreas irrigadas.

A determinação da ETc pode ser realizada com diversos instrumentos e métodos. Dentre eles, os lisímetros de pesagem geram as medidas mais precisas e reais, e têm sido frequentemente utilizados, obtendo resultados satisfatórios quando bem construídos (PETERS et al., 2014; PRUITT; ANGUS, 1960). Os lisímetros são programados para alta frequência de aquisição de dados, possibilitando obter valores de pesagem em pequenos intervalos de tempo. Assim, a lisimetria de pesagem é uma maneira eficiente de operação e coleta dos dados, permitindo a medição da ETc e o Kc com precisão e exatidão altas.

Entretanto, o alto custo para construção e manutenção dos lisímetros faz com que o sistema não seja acessível a todos. Em relação a isso, outras técnicas devem ser experimentadas para verificação da utilização como base para estudos de coeficiente de cultura. As sondas capacitivas que funcionam com a reflectometria em domínio da frequência (*Frequency Domain Reflectometry* - FDR) podem ser uma alternativa. Sua instalação é mais pratica em comparação aos lisímetros, sendo possível a automatização de coleta dos dados com curto período de tempo.

Tanto com lisímetros como as sondas FDR e de outros tipos (TDR, sonda de nêutrons), as medições necessárias para estimar o Kc geralmente têm alto custo, sendo mais apropriadas para a pesquisa. Portanto, é necessário obter relações práticas que possam ser utilizadas para estimar Kc e aumentar a eficiência de sistemas produtivos irrigados. Dentre elas estão as relações Kc x acúmulo de graus-dia (GD) e Kc x índice de área foliar (IAF). A primeira permite relacionar o consumo de água à temperatura do ar e a segunda, o consumo de água ao acúmulo de área foliar.

Com a curva Kc = f(GD) e os dados de ETc, um irrigante ou um pesquisador podem determinar o momento certo de irrigar e a lâmina mais adequada de irrigação (LIMA; SILVA, 2008). Com a curva Kc = f (IAF), relaciona-se o consumo de água à evolução da área foliar da cultura. A utilização desse método requer a medição de área foliar e ETc ao longo do tempo em vários ciclos de cultivo (ALLEN et al., 1998).

O IAF também pode ser medido ou estimado a partir de parâmetros biométricos, tais como altura do dossel forrageiro (ADF), que é uma medida simples e acessível a qualquer pessoa. Desta forma, pode-se chegar a um sistema de manejo facilmente utilizável no campo e que possibilita o desenvolvimento de técnicas para controle da irrigação.

Devido à baixa disponibilidade de informação sobre o consumo de água de forrageiras tropicais, considera-se que todas as espécies e cultivares têm o mesmo Kc, ou seja, necessitam da mesma quantidade de água. Somam-se a isso os escassos estudos com pastagens tropicais sobressemeadas com forrageiras de inverno e, dessa forma, o manejo da irrigação é prejudicado e interfere negativamente no retorno econômico das atividades produtivas.

Baseado nisso, são necessários estudos sobre o consumo de água das diversas espécies e cultivares de forrageiras tropicais, que é o fundamento deste trabalho.

# 2. OBJETIVOS

Para melhor entendimento e organização esse trabalho foi relatado em capítulos para atender um objetivo geral e para atender objetivos específicos, um em cada capítulo.

## 2.1. Geral

Determinar o consumo de água da *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu em sistema de cultivo exclusivo e em sobressemeadura com aveia preta e azevém no período seco e frio e propor relações entre uso de água e parâmetros produtivos.

## 2.2. Específicos

a. Determinar o consumo de água das forrageiras estudadas por meio dos lisímetros de pesagem (Capítulo 1) e sonda capacitiva (Capítulo 2).
b. Determinar a produtividade das forrageiras ao longo dos ciclos e caracterizar a porcentagem botânica de folha, colmo e matéria morta (Capítulo 3).
c. Caracterizar a evolução do Kc ao longo do período de crescimento, relacionando com índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL), altura do dossel forrageiro (ADF) e graus-dias (GD) (Capitulo 4).

# 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1. Aspectos gerais

Desde 1970 observa-se a troca das pastagens naturais pelas pastagens plantadas, por serem mais produtivas, tendo um crescimento de área de 233,3% nas pastagens plantadas e diminuição de 50% nas pastagens naturais até o ano de 2006 (DIAS FILHO, 2014). Percebe-se que esse crescimento não se deu exclusivamente pela troca de uso, mas também por uma expansão de área cultivada com forrageiras adaptadas. Outra característica que isso revela é a mudança progressiva no manejo das pastagens ao longo dos anos, dando maior importância à implantação de espécies altamente produtivas, pois os resultados em sistemas de produção animal a pasto dependem tanto do potencial produtivo dos animais quanto da produtividade das forrageiras.

Segundo dados do INCRA para as regiões brasileiras, as maiores áreas de pastagens estão concentradas em propriedades cujas taxas de lotação animal estão entre 0,40 e 1,50 unidades animais por hectare[1] (UA $ha^{-1}$). Quanto maior a taxa de lotação animal, maior a eficiência produtiva do sistema (DIEESE, 2011; DIAS FILHO, 2014).

A base do processo de intensificação na produção pecuária são as espécies forrageiras com alta capacidade de produção de matéria seca e alta qualidade nutricional. As principais espécies utilizadas são dos gêneros P*ennisetum*, *Cynodon*, *Panicum* e *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) (ALENCAR et al., 2010). Todos esses gêneros possuem áreas representativas plantadas no Brasil, porém o gênero *Urochloa* tem a maior área plantada.

## 3.2. Cultura: Capim Marandu

### 3.2.1. Características e Morfologia

Existem aproximadamente 160 milhões de hectares de pastagens cultivadas e nativas em todo o território nacional (IBGE, 2006). Dentre as pastagens cultivadas, 70 a 80% são formadas por espécies do gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*), com espécies que podem ser utilizadas em todos os estágios da criação bovina por apresentarem alta produção de matéria seca e facilidade de estabelecimento (COSTA et al., 2005; PEDREIRA; TONATO; LARA, 2009)

[1] 1 UA corresponde a 450 kg de peso vivo animal.

Umas das espécies responsáveis pelo crescimento da área de pastagens plantada foi a *Urochloa decumbens* (Syn. *Brachiaria decumbens)*. Desde a sua introdução no país até várias décadas seguintes ela foi a mais utilizada para formação de novas áreas. Entretanto, com tempo foram surgindo os problemas decorrentes do manejo inadequado e, com isso, a degradação de grande parte dos pastos cultivados com essa espécie. As principais causas da degradação foram a falta de correção de fertilidade, baixa frequência de adubação, pastejo continuo e taxas de lotação inadequada. A ocorrência da cigarrinha-das-pastagens também exerceu forte influência para a busca de outras espécies resistentes e mais produtivas (VALLE et al., 2011). Houve um grande aumento das áreas de pastagens cultivadas com *U. humidicola, U. brizantha* e *U. ruziziensis* a partir de 1970, principalmente porque tiveram boa adaptação às condições da parte tropical do Brasil (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002).

O gênero Urochloa possui cerca de 100 espécies e é composto por gramíneas pertencentes ao grupo $C_4$, cujos primeiros produtos estáveis da fotossíntese são compostos com quatro átomos carbono. Em ordem decrescente, as espécies desse gênero mais utilizadas no Brasil para formação de pastagens são: *U. brizantha*, *U. humidicola*, *U. ruziziensis*, *U. dictyoneura*. A cultivar mais usada é a *U. brizantha* cv. Marandu, que possui potencial para produção de forragem superior ao da *U. decumbens* (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002; VALLE et al., 2004).

A *Urochloa brizantha* tem como características: propagação por sementes; eficiente cobertura do solo; exigência nutricional média; tolerância razoável à seca, fraca à geada e aos solos mal drenados, e tolerância a solos ácidos. É uma das forrageiras mais importantes para a alimentação dos bovinos de corte e de leite a pasto. (BOTREL; NOVAES; ALVIM, 1998; PEDREIRA; TONATO; LARA, 2009).

Dentre as cultivares desta espécie, a *Urochloa brizantha* cv. Marandu tem grande expressividade na área total plantada do país. É uma cultivar originária da África e teve sua liberação comercial no Brasil pela Embrapa em 1983. A cultivar levou esse nome pelo seu significado em guarani: “novidade”. É adaptada a solos de média fertilidade, resistente à cigarrinha-das-pastagens e tem bons índices de produtividade animal (VALLE et al., 2011). Possui habito de crescimento cespitoso ereto a semi-ereto e pouco enraizamento do nós em contato com o solo, as folhas são cobertas por pelos somente na face ventral (BOTREL; NOVAES; ALVIM, 1998)

A caracterização dos estádios fenológicos das forrageiras tropicais em grande maioria é realizada e dividida em dois períodos: vegetativo e reprodutivo, sendo a maioria dos trabalhos focados no período vegetativo, uma vez que a produção de sementes não é o

interesse quando o foco é a produção de forragem para consumo animal, pois atingir o estádio reprodutivo representa menores taxas de crescimento foliar e queda da qualidade da forragem (GASTAL; BÉLANGER; HERLS, 1992; PEDREIRA; TONATO; LARA, 2009).

Zeferino (2006) estudaram as taxas de aparecimento foliar para o capim Marandu em diferentes épocas no ano, verificaram ser maior no verão, inicio de outono e primavera, porém são folhas que possuem menor duração de vida (até 100 dias), o que não acontece durante o inverno as quais paralisam o crescimento chegando a duração de 200 dias. O número máximo observado de folhas vivas por perfilho foi um total de quatro, na época de outono/inverno.

Mesmo sendo uma espécie forrageira bastante estudada na pesquisa nacional, ainda existem poucos estudos referentes ao consumo de água dessa espécie, nos diversos ciclos ao longo do ano e sua utilização em consórcios com forrageiras de inverno. Meirelles et al. (2011) estudaram evapotranspiração de *Urochloa brizantha* em região de Savana no estado de Goiás, determinando valores de Kc de 0,61 a 1,28, verificaram que o aumento da área foliar apresentou semelhante padrão com o crescimento da cultura e aumentos na quantidade evapotranspirada.

### 3.2.2. Ecofisiologia

As plantas dependem da captação de radiação solar para o processo de fotossíntese produzir a energia necessária aos mecanismos fisiológicos e bioquímicos com o objetivo da manutenção da vida, seu crescimento e acúmulo de massa. A estrutura que realiza essa interceptação são as folhas, as quais devem estar dispostas de forma a permitir a máxima eficiência no processo. Além disso, as folhas das plantas forrageiras constituem o alimento de maior valor nutritivo para os ruminantes (ALEXANDRINO et al., 2004). Espécies ou cultivares com maior capacidade e rapidez de produção de folhas são mais eficientes e têm maior potencial para aumento da produtividade animal. A rapidez de produção de folhas será influenciada pela adubação, Alexandrino et al. (2004) observaram incremento de 185,24 e 264,32% na taxa de alongamento foliar para o capim Marandu, respectivamente, para as plantas que receberam 20 e 40 mg $dm^{-3}$ $semana^{-1}$ de N, em relação ao tratamento sem adubação.

Em regiões de clima tropical, predominante na maior parte do Brasil e no município em que esse experimento foi realizado, as estações do ano são basicamente divididas em dois períodos para produção de forragem: “estação das águas” – período com predominância de temperaturas altas, fotoperíodo longo e alta precipitação pluvial, ocorrendo em parte da

primavera e todo verão; e “estação seca” – com temperaturas amenas, menor período de radiação solar e chuvas escassas, período de outono e inverno (TEIXEIRA et al., 2011).

Essa característica climática influencia o crescimento e acúmulo de massa vegetal das forrageiras tropicais. Em um estudo com capim Tanzânia (*Panicum maximum*) foram observados maiores acúmulos de forragem nos meses de verão, seguido dos meses de primavera e outono, e muito baixos nos meses de inverno (BARBOSA et al., 2007; EUCLIDES et al., 2007). O mesmo foi observado por Da Silva et al. (2009) em cultivares de *Urochloa brizantha*, evidenciando que as taxas de acúmulo de forragem também influenciam o ganho de peso dos animais em pastagens, que ocorre de forma sazonal, sendo crescente durante a primavera/verão, período em que as forrageiras apresentam alta porcentagem de folhas vivas e menor porcentagem de colmos e material morto.

Altas temperaturas influenciam o metabolismo das plantas, aumentando as taxas de perfilhamento, aparecimento e alongamento de folhas e colmos. Alencar et al. (2013) estudaram várias espécies forrageiras irrigadas com a aplicação de diferentes doses de nitrogênio (100 a 700 kg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$) no município de Governador Valadares-MG, observando queda de produtividade de 52% no outono/inverno para o capim Marandu, independentemente da dose aplicada. Outras espécies (Capins Mombaça, Tanzânia, Estrela, Pioneiro, Xaraés) também tiveram redução da produção nesse período, porém, alguns com menores taxas de perda.

Essa característica das forrageiras tropicais é explicada pelo fato de serem plantas $C_4$ e terem seu desenvolvimento ótimo em faixas de temperaturas adequadas (mínimas e máximas) e mais altas que as plantas $C_3$. Villa Nova et al. (1999) consideram a temperatura-base superior (TB) da maioria das espécies forrageiras tropicais entre 30ºC e 35ºC, e Villa Nova et al. (2007) consideram a temperatura-base inferior (tb) entre 12ºC e 15ºC. Mendonça; Rassini; Villa Nova, (2005) propuseram para *Urochloa brizantha* cv. Marandu uma tb de 15ºC.

Considerando as afirmações, a região de Piracicaba/SP é adequada ao desenvolvimento e à produção de *Urochloa brizantha*, pois a temperatura mínima média é de 18,4ºC e a temperatura máxima média é de 29,8ºC (médias da série histórica de 98 anos). Entretanto, essa região apresenta temperaturas mínimas inferiores a 15ºC por várias semanas durante o período de outono/inverno, cuja consequência é a redução da produção de forragem, caracterizando um período de estacionalidade de produção. Porém, a estacionalidade de produção pode ocorrer antes das temperaturas atingirem 15ºC, devido às condições hídricas do início da estação seca, que também influenciam o crescimento das plantas.

A estacionalidade da produção pode ser definida como a redução acentuada da produtividade das forrageiras tropicais em períodos frios, secos e com baixa luminosidade decorrente de características fisiológicas das plantas (GERDES et al., 2005). Essa estacionalidade geralmente ocorre entre os meses de maio e outubro (OLIVEIRA et al., 2005).

Rassini (2004) realizou um estudo de dois anos com diversos capins para caracterização do período de estacionalidade de produção e observou que, após entrar em na condição de estacionalidade, nas parcelas sem irrigação o período total para completar o ciclo de outono/inverno foi de 186 e 155 dias no primeiro e no segundo ano, respectivamente. Nas parcelas irrigadas, esse período foi reduzido para 70 e 66 dias, respectivamente, evidenciando que mais da metade do período de estacionalidade foi fortemente influenciado pela disponibilidade hídrica no solo.

A água também influencia as características morfológicas do dossel. Sem o uso de irrigação no período de seca os pastos apresentam menores porcentagem de lâminas foliares e maiores quantidades de colmos (EUCLIDES et al., 2007). Da Silva et al. (2009) citaram vários trabalhos sobre produção de *Urochloa brizantha* nesse período, com relação folha/colmo entre 0,14 e 1,68. Explica-se isso por conta da maior lignificação das paredes celulares quando as plantas forrageiras não estão sendo irrigadas com os níveis hídricos adequados. Isto é um mecanismo fundamental para a sobrevivência, mas que reduz a produtividade de forragem, tornando primordial um manejo rigoroso a fim de favorecer o acúmulo de lâminas foliares, e não de pseudocolmos (MAGALHÃES et al., 2011).

Outro mecanismo de manejo que faz com que as plantas forrageiras produzam mais na época seca é a adubação nitrogenada. Existem vários trabalhos demonstrando o aumento de matéria seca produzida quando foram aplicadas doses de N entre 50 kg $ha^{-1}$ e 100 kg $ha^{-1}$ (EUCLIDES et al., 2007). Porém, independentemente da quantidade de N aplicado, Alencar et al. (2013) obtiveram maior produtividade na época de primavera/verão em relação ao outono/inverno, com ou sem irrigação.

Quando o déficit hídrico é corrigido outros elementos climáticos influenciam a produção das forrageiras tropicais. Magalhães et al. (2011) realizaram um estudo combinando irrigação, adubação nitrogenada e densidade de plantio em capim Tanzânia ao longo do ano, observando menores alturas de planta no período seco, sob influência principal de luminosidade e temperatura.

Mendonça e Rassini (2006) realizaram um estudo sobre estacionalidade de produção com várias espécies forrageiras e, a partir da determinação de tb e TB, encontraram um total

de 106 dias de período estacional para o capim Marandu, sendo compreendido entre 1 de junho a 14 de setembro para o município de São Carlos/SP. Os autores observaram também que tb não é suficiente para a definição do período estacional das forrageiras tropicais, pois também há influência de outros elementos climáticos.

Normalmente, os ambientes tropicais e subtropicais são caracterizados por elevados índices de radiação, não constituindo fator limitante ao crescimento das espécies forrageiras (ROLIM, 1980), porém, quando consideramos épocas específicas do ano em que a radiação incidente é menor, a produção das forrageiras tropicais diminui e elas entram no processo estacional.

Todos esses fatores dificultam o planejamento alimentar do rebanho ao longo do ano, pois a mesma área poderá fornecer quantidade de forragem expressiva para muitos animais no período das “águas” e apresentar redução acentuada da capacidade de suporte do pasto no período seco do ano (TEIXEIRA et al., 2011). Algumas práticas de manejo podem ser adotadas para aumento de produção nessa época para assegurar a oferta de forragem; dentre elas, o diferimento de pastagens (reserva de áreas de pasto no fim do verão), espécies adaptadas que produzem bem em condições sub-ótimas, irrigação (aumento de produção) e sobressemeadura (inserção de espécies forrageiras de inverno em pastagem de forrageiras tropicais).

### 3.3. Sobressemeadura

No Brasil, geralmente as áreas de pastagens apresentam baixa produtividade e rentabilidade. Um dos motivos que geram isso é o baixo grau de conhecimento dos limites de utilização das plantas forrageiras em ambientes distintos e a carência de transferência de informação de maneira segura e aplicável. Muitas dessas preocupações estão centradas na estacionalidade de produção e no valor nutritivo das pastagens (BARBOSA et al., 2007; VITOR et al., 2009; DANTAS et al., 2016).

Uma alternativa de utilização para assegurar a produção e a boa qualidade da forragem durante a estacionalidade das forrageiras tropicais é a sobressemeadura. É uma técnica que consiste em semear espécies de gramíneas anuais de estação fria em uma área de pastagem estabelecida com forrageiras tropicais. Podem ser utilizadas diversas espécies de clima temperado ou mistura de forrageiras, a qual servirá para aumentar o período de utilização das pastagens durante o ciclo estacional, se duas ou mais culturas forem escolhidas adequadamente, quanto às interações entre luminosidade e nutrientes (ROSO et al., 2000; MOREIRA et al., 2006; DA ROCHA et al., 2007).

Nas condições do Estado de São Paulo, o cultivo em sobressemeadura pode ser realizado juntamente com a irrigação, diminuindo os problemas causados pela escassez de chuvas e garantindo maior produção da pastagem (GERDES et al., 2005). Além disso, contribui para intensificar a utilização da área (BERTOLOTE, 2009), reduzindo a dependência da alimentação suplementar com feno, silagem e alimentos concentrados.

Na escolha de duas espécies para um consórcio é necessário verificar o período de produção de cada uma. Por exemplo, a aveia preta e o centeio produzem por volta de 50% da produção total nos primeiros 60 dias após a emergência, diferentemente do azevém, que apresenta pequena produção inicial. Porém, ao contrário da aveia-preta, o centeio produz em poucos ciclos por ter queda acentuada na taxa de acúmulo de biomassa (ROSO et al., 2000). Esse padrão produtivo é comandado pelas características genéticas das próprias culturas. Zorzella; et al. (2013) avaliaram a produção de aveia preta, aveia preta + ervilhaca e aveia preta + trevo vesiculoso e não encontraram diferenças significativas entre os consórcios, porém, para todos os tratamentos a produção de laminas foliares foi decrescente conforme os ciclos. Isso pode ser explicado pela produção da aveia-preta, a qual tem ciclo curto e produção precoce (DA ROCHA et al., 2007).

Ao analisar a situação no parágrafo anterior, observa-se que é interessante escolher forrageiras com características diferentes de produtividade para a sobressemeadura, combinando uma espécie ou cultivar precoce com uma tardia. Gerdes et al. (2005) avaliaram a composição botânica da mistura de aveia preta e azevém anual, utilizados na sobressemeadura em pastagem de capim Aruana, os autores verificaram que a maior participação da aveia se deu no mês de julho, e que o azevém teve contribuição expressiva (24%) em setembro, quando a aveia decresceu (4,7%).

### 3.3.1. Forrageiras de inverno

Nos estados da região Sul do país a sobressemeadura é uma prática realizada há bastante tempo, utilizando principalmente as espécies forrageiras de inverno aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.). O uso assegura a produção de forragem de qualidade e carga animal, evitando áreas desocupadas pela insuficiência de forragem necessária aos animais (DA ROCHA et al., 2007).

A aveia preta apresenta rápido crescimento inicial, alta capacidade de rendimento de massa verde, pequena produção de grãos, resistência a doenças e ao pisoteio (FLOSS, 1988). Além disso, produz mais forragem que as aveias branca e amarela, podendo apresentar maior conteúdo de Proteína Bruta, dependendo dos elementos climáticos da região produtiva

(CARVALHO et al., 2011; DA SILVA et al., 2012). Entretanto, em termos de produtividade há uma influência da região de plantio sobre os resultados. Primavesi; Godoy; Souza, (2006) em um ensaio para região Sudeste, dois cultivares de aveia branca apresentaram resultados superiores ou iguais à melhor cultivar de aveia preta. Primavesi et al. (2001) analisaram três cultivares de aveia branca: São Carlos, UPF 3 e IAPAR 61, não encontrando diferenças significativas entre a porcentagem de proteína bruta.

A aveia preta tem como características botânicas ser cespitosa, com colmos cilíndricos, eretos, compostos de nós e entrenós, possui inflorescência em panícula piramidal e difusa (FLOSS, 1988). Foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul em 1940 por ser uma espécie de clima temperado, porém já existem melhoramentos adaptados às regiões mais quentes (CARVALHO et al., 2011).

Geralmente, sua utilização se dá nos meses de maio a agosto podendo ter alguma variação conforme a região. A recomendação da aveia preta em pastejo com lotação rotativa deve ser com entrada próxima a 0,30 m e com resíduo de 0,10 a 0,15 m (CARVALHO et al., 2011).

Primavesi et al. (2001) recomenda para cultivares de aveia o primeiro corte quando as plantas de iniciarem a elongação do colmo, entre 38 a 45 dias após a emergência e cortes da rebrota com intervalos entre 28 e 35 dias.

O azevém tem sua origem provável no Norte da Itália. É uma gramínea anual, mas pode comportar-se como bianual em função da sua facilidade de ressemeadura natural. Possui alto valor nutritivo, com elevados níveis de proteína e energia digestíveis, proporcionando altos ganhos de peso por animal e alto nível de consumo de forragem no período crítico de inverno, por ser adaptada a temperaturas baixas (SPEDDING; DIEKMAHNS, 1972; FLOSS, 1988). Sua utilização é um pouco mais tardia que a aveia preta, nos meses de Julho a Setembro, e finaliza o ciclo quando se inicia o aumento do fotoperíodo e da temperatura (CARVALHO et al., 2011).

A vantagem econômica da utilização de sobressemeadura de aveia para áreas formadas com capim Marandu está no melhor aproveitamento da área e do equipamento de irrigação no período de outono/inverno, época em que ficariam ociosos. Além disso, em comparação com o *Coast-Cross* e Mombaça, o capim Marandu é a espécie que se demonstra mais apta para a sobressemeadura com resultados produtivos expressivos. Dois estudos com essas forrageiras, mostraram que a produção referente a aveia + azevém representou por volta de 50% da produção total de forragem da pastagem em dois anos na época seca (2,4 e 3,5 t $ha^{-1}$) (OLIVEIRA et al., 2005; OLIVEIRA, 2007).

Bertolote et al. (2008) estudaram 4 cultivares de aveia sobressemeadas na cultura do capim Tanzânia e verificaram, em média, 66% de presença da aveia preta. Independentemente das cultivares, houve queda na concentração de proteína bruta (PB) ao longo dos cortes e aumento da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN); o mesmo comportamento foi encontrado por Sanches et al. (2015). Quando são comparadas as concentrações de aveia com as do capim Tanzânia solteiro, a aveia apresenta maiores teores de PB e material mineral (MM) e menores de FDN e Fibra em detergente ácido (FDA) evidenciando a melhor qualidade das pastagens sobressemeadas (BERTOLOTE et al., 2008).

Oliveira et al. (2005) conduziram um estudo sobre pastagens irrigadas de capim Tanzânia sobressemeadas com aveia em mais de 30 municípios dos estados de São Paulo e Minas Gerais, constatando que esse sistema de cultivo pode suportar de 4 a 6 UA $ha^{-1}$ no período seco. Os autores supracitados afirmam ainda que, na pastagem solteira, a capacidade de suporte caiu para valores entre 2,5 a 3,5 UA $ha^{-1}$ no mesmo período, mesmo com a utilização de irrigação.

Moreira et al. (2002) conduziram um experimento com sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens de Tifton-85 sob irrigação, demonstrando que a introdução das espécies hibernais proporcionou aumento da produção de forragem no início do inverno.

A taxa de acúmulo de forragem diária também é aumentada quando, juntamente com a sobressemeadura, realiza-se a irrigação, obtendo taxas de acúmulo de forragem de 74,2 e 40,6 kg MS $ha^{-1}$ $dia^{-1}$ com e sem irrigação, respectivamente, da mistura de Tifton + Aveia (SANCHES et al., 2015).

## 3.4. Manejo de água e Irrigação

### 3.4.1. Produção irrigada

No mundo todo são 325,1 milhões de hectares com área equipadas com irrigação, correspondentes a 20,6% da área agrícola mundial, sendo que o continente asiático é responsável por 71,5% dessas áreas (FAOAQUASTAT, 2016a). Conforme o estudo “Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada”, no Brasil há 6 milhões de hectares irrigados, correspondentes a 6,5% da área agrícola do País, porém o potencial para irrigação é de 61 milhões de hectares (FEALQ, 2014). Isto evidencia o grande potencial de crescimento da agricultura irrigada brasileira, pois o País é o 10º colocado em área irrigada e

pode chegar a ser o 3º, com a Índia (70 milhões) e a China (69,8 milhões) em primeiro e segundo lugares, respectivamente (FAOAQUASTAT, 2016b).

A irrigação fornece água para as culturas e pastagens em climas secos ou períodos sazonais e preenche falhas na umidade do solo em climas úmidos (NILES; MUELLER, 2016).

Os objetivos da irrigação aplicada em pastagem são: minimizar as perdas de produtividade decorrentes da estacionalidade produtiva; equilibrar a produção de forragem entre as estações de verão e inverno; alcançar alto desempenho animal durante todo o ano. Há relatos de que, em pastagens irrigadas, as taxas de lotação animal no período de outono/inverno podem chegar a 74% das obtidas no período de primavera/verão, contra 20% das pastagens em sequeiro. Portanto, há uma redução da necessidade de área para criação do mesmo número de animais (VILELA, D.; ALVIM, 1996; CORSI; MARTHA JÚNIOR, 1998; BENEDETTI; DEMETRIO, R. A. COLMANETTI, 2000; AZEVEDO; SAAD, 2009; BUENO et al., 2009).

Os entraves do aumento da utilização da irrigação no Brasil passam por esferas: políticas, abertura de programas a incentivo de instalação de sistemas de irrigação; ambientais, leis ambientais que relacionem uso de água; e sociais quando os agricultores irrigantes não aderem as mudanças tecnológicas ou iniciam as atividades sem preparo e conhecimento da técnica e da sua aplicação influenciam no retorno negativo, com desperdício de água e energia (TESTEZLAF; MATSURA; CARDOSO, 2002; COELHO, 2007).

Pela importância que a irrigação representa para a segurança alimentar fazem-se necessários por meios de pesquisas conhecer a demanda hídrica das culturas precisamente a fim de aplicá-las aos usuários.

### 3.4.2. Necessidade hídrica

Umas das maneiras para realizar o manejo correto da irrigação é a utilização das variáveis climáticas para cálculo da demanda hídrica de uma cultura em seus estádios fenológicos ou ciclos de cultura durante um período proposto.

A demanda hídrica das plantas dá-se por meio de toda água perdida pela sua transpiração durante os processos de trocas gasosas e também pela evaporação do solo. A soma dessas duas variáveis chega-se a nomeação de evapotranspiração (ET) (REICHARDT; TIMM, 2012).

A evapotranspiração é representada pela água perdida pela transpiração e evaporação do solo ou de porções exteriores da planta onde a água tenha se acumulado por meio da

precipitação, orvalho, ou exsudação do interior da planta (JENSEN, 1968). Em definição a Evapotranspiração representa a perda total de água, na forma de vapor, por uma superfície de uma área vegetada, a qual pode ser uma cultura de referência ou outra de interesse (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

Nos sistemas de cultivos, para atender toda demanda hídrica de uma cultura faz-se necessário o uso de irrigação suplementar em alguns períodos do ano, ou irrigação total, no período em que a presença de precipitação pluvial é insuficiente.

Para as pastagens alguns estudos relatam a necessidade de água para ciclo total por volta de 1800 mm, estudos com dez meses (Janeiro a Outubro) utilizaram aproximadamente 1280 mm e estudos com tempo menores de oito meses (Maio a Dezembro) a quantidade necessária está por volta de 880 mm (RASSINI, 2004; BUENO et al., 2009; ANTONIEL et al., 2016). Na Figura 1 está representada a média de precipitação mensal registrada no Posto Meteorológico da ESALQ/USP entre os anos de 1917 e 2016. Sendo assim, não seria possível alcançar o potencial máximo produtivo das pastagens em Piracicaba. Acrescenta-se a isso o fato de a precipitação pluvial ser baixa ou inexistente nos meses de junho a agosto, o que leva a situação de estresse por deficiência hídrica nesse período. Mesmo no período chuvoso, há possibilidade de veranicos que levam a perda do potencial produtivo.

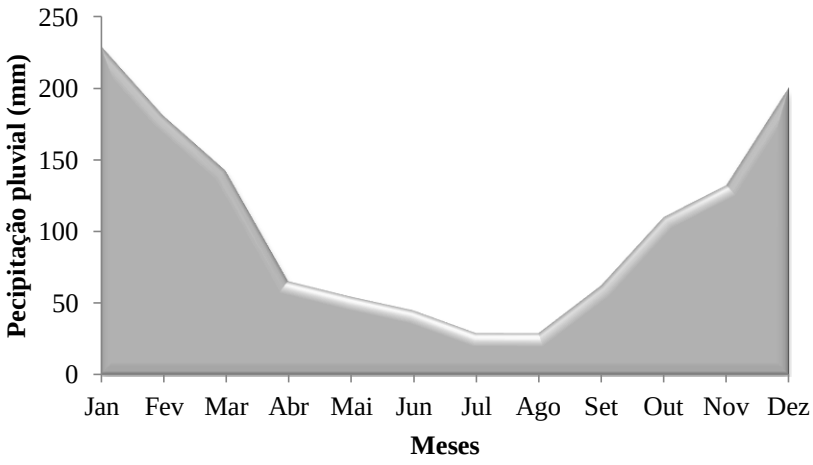



**Figura 1.** Médias mensais 1917 - 2006 de precipitação pluvial no município de Piracicaba/SP.

No território brasileiro existem diferentes condições climáticas, o que faz com que as limitações a produtividade das pastagens tropicais tenham diferentes causas. Carnevskis (2016) considerando alguns padrões para temperatura, insolação e consumo de água máximo para as forrageiras tropicais, determinou zonas climáticas aptas a produção de pastagens tropicais (Figura 2). Onde, em 40% do território brasileiro faz-se necessária a utilização de irrigação. Em alguns outros locais no país (19%), o desenvolvimento de espécies tropicais

pode ser prejudicado em alguns períodos do ano por conta de temperaturas baixas, problema que pode ser resolvido com a introdução de espécies forrageiras de inverno.

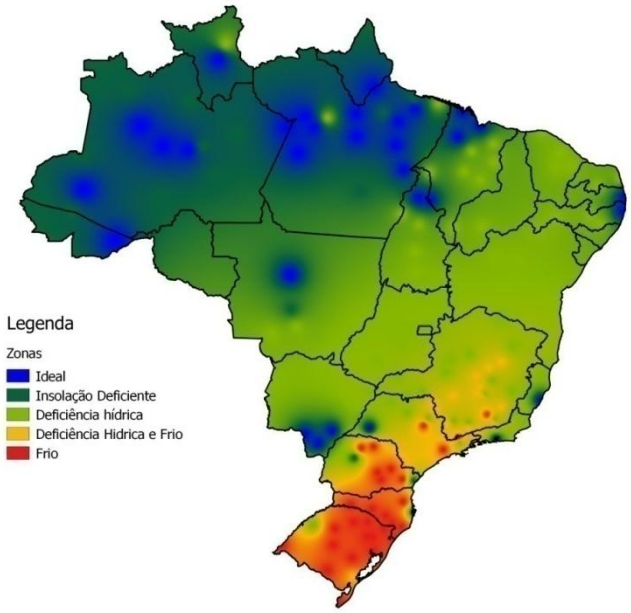



**Figura 2.** Mapa Agroclimático para pastagens tropicais (CARNEVSKIS, 2016).

Santos et al. (2007) relatam que, no Sudeste, a produção de forragem no período seco está compreendida na faixa de 10 a 20% do total anual. Vitor (2006) avaliou o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação no capim Elefante em Minas Gerais, no período seco (com a menor temperatura na faixa de 12ºC). O autor constatou que a aplicação de água influenciou positivamente a produção de matéria seca, a cobertura do solo pelas plantas, o perfilhamento basal e a altura das plantas, mas não houve efeito sobre a estacionalidade de produção da cultura.

Ates et al. (2013) estudaram o efeito de aplicação de irrigação em pastagens mistas na Turquia, variando a porcentagem aplicada do requerido (100 a 25%) por três anos, e verificando que o tratamento que recebeu 100% da água requerida produziu mais que o dobro daquele que recebeu 25% da água requerida. Ainda, os autores verificaram que a taxa de crescimento diário das plantas irrigadas a 75 e 100% foram maiores em comparação com os demais tratamentos.

Dupas et al. (2010) compararam o capim Marandu irrigado e não irrigado na estação seca, sendo que o irrigado produziu 3,7 t $ha^{-1}$ a mais (+ 45,7%). Dados parecidos foram encontrado por Antoniel et al. (2016) para os capins Mombaça e Piatã irrigados, com aumentos médios de matéria seca de 52,1% e 41,6%, respectivamente, para o primeiro e segundo cortes.

Sanches et al. (2015) trabalharam com pastagem de capim Tifton 85 e obtiveram um incremento produtivo de 2760,4 kg $ha^{-1}$ por ciclo nas pastagens irrigadas. Em capim Tanzânia foram encontrados com um lamina de 120% da ETo uma produtividade de 37,6 ton $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ produzindo mais que 13 toneladas em comparação ao capim que recebeu de água somente 30% da ETo (BARBOSA; OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2015).

Para estimar a demanda hídrica de forrageiras tropicais é necessário ter boas medidas ou estimativas de evapotranspiração. A medição da ET é mais comumente feita em áreas de pesquisas devido à sua complexidade, portanto, a estimativa da ET é mais adequada para o manejo de água em áreas agrícolas.

### 3.4.3. Métodos de estimativa de evapotranspiração

A ET de cultura (ETc) representa o consumo de água da cultura em interesse e pode ser medida ou estimada. O pressuposto para toda determinação segura de ETc está na plena atividade vegetativa da planta com fertilidade do solo adequada e umidade no solo próximo à capacidade de campo. A arquitetura foliar é o fator da planta de maior importância, uma vez que as folhas são responsáveis pelas trocas com a atmosfera (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013). Portanto, é importante que os estudos sobre ETc contemplem a medição ou estimativa da área foliar e de sua relação com consumo de água das plantas.

A ETc pode ser calculada por meio de diversos métodos e vários sistemas de medição: lisímetros, eddy covariância, razão de Bowen, balanço hídrico (gravimétrico, medidor de nêutrons, outros sensores de água do solo), fluxo de seiva, cintilômetro, satélite de sensoriamento remoto e modelagem direta (ALLEN et al., 2011).

Os lisímetros e os métodos de balanço hídrico do solo são métodos mais antigos que podem potencialmente fornecer estimativas confiáveis de ETo e ETc, uma vez que dentre os métodos citados acima possui a menor taxa de erro (5%), sendo que alguns métodos podem chegar até 40% (ALLEN et al., 2011). O uso de lisímetros é uma maneira de monitorar com precisão a drenagem em solos irrigados, onde melhores estimativas do balanço hídrico podem levar ao uso mais eficiente da água (ARAUZO et al., 2010).

Embora os lisímetros sejam utilizados na medição de ETo, também é possível estimá-la com modelos. Atualmente, o melhor modelo é o de Penman-Monteith com parametrização proposta pelo Boletim FAO-56, que representa a evapotranspiração de uma cultura hipotética com altura fixa de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência ao transporte de vapor d'água constante igual a 70 s $m^{-1}$ em condições ótimas de crescimento (ALLEN et al., 1998, 2005).

O limite superior de ETc é a evapotranspiração máxima (ETm), e pode ser obtido por

meio de estimativas em condições ideais de disponibilidade hídrica. A obtenção de ETm por estimativa necessita da obtenção do coeficiente de cultura (Kc), que se dá por meio medições de ETm e da evapotranspiração de referência ETo. Após a obtenção dessas duas variáveis, calcula-se o Kc. Em termos numéricos, o Kc representa a relação entre ETo e ETc.

### 3.4.4. Coeficiente de cultura (Kc)

O coeficiente de cultura (Kc) foi demonstrado e nomeado desta maneira em 1968, sendo definido como um coeficiente adimensional que representa os efeitos combinados da resistência ao movimento de água no solo para as superfícies de evaporação, resistência à difusão do vapor de água das superfícies de evaporação através da camada limite laminar, resistência à transferência turbulenta para a atmosfera livre e a quantidade relativa de energia radiante disponível em comparação com a cultura de referência (JENSEN, 1968).

Allen et al. (1998) publicaram, no Boletim da FAO 56, alguns valores para Kc de forrageiras, os quais podem ser visualizados na Tabela 1. Somente algumas culturas especificas foram estudadas e dentre essas não há nenhuma forrageira tropical. Nesse sentido, fazem-se necessários estudos para verificar as diferenças entre espécies forrageiras tropicais utilizadas na produção animal.

**Tabela 1.** Coeficiente de cultura recomendados pelo Boletim 56 da FAO.

| Forrageira | Kc inicial | Kc médio | Kc final | Altura máxima (m) |
|---|---|---|---|---|
| **Alfafa*** | 0,40 | 0,95 | 0,90 | 0,70 |
| **Grama bermuda*** | 0,55 | 1,00 | 0,85 | 0,35 |
| **Trevo forrageiro*** | 0,40 | 0,90 | 0,85 | 0,60 |
| **Azevém*** | 0,95 | 1,05 | 1,00 | 0,30 |
| **Pastagem - Rotacionado** | 0,40 | 0,85-1,05 | 0,85 | 0,15-0,30 |
| **- Extensiva** | 0,30 | 0,75 | 0,75 | 0,10 |

*considerando efeitos de corte médios
Fonte: (ALLEN et al., 1998)

Embora existam alguns trabalhos sobre determinação de Kc de forrageiras tropicais, autores propuseram valores possivelmente válidos para o território brasileiro, que variam de 0,35 a 1,54 para variadas espécies de capins tropicais (DANTAS NETO et al., 1996; LOURENÇO et al., 2001; GARGANTINI et al., 2005; BUENO et al., 2009; BARBOSA; OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2015; ANTONIEL et al., 2016). Entretanto, há necessidade de estudos adicionais para validação dos valores propostos.

Além disso, fazem-se necessários estudos de Kc para consórcio de plantas, uma vez que a aumento da densidade de plantas por unidade de área pode acarretar na competição por recursos naturais e elevar a demanda por água, necessitando a averiguação em cada caso (SILVA et al., 2014).

# 4. METODOLOGIA GERAL

## 4.1. Local

O estudo foi realizado em área experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), localizado em Piracicaba/SP, latitude 22º42'14,6"S, longitude 47º37'21,2"O e altitude 546m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Cwa, subtropical úmido com verão quente chuvoso e inverno seco (KOTTEK et al., 2006).

Essa área faz parte de um projeto maior no qual possui um total de seis parcelas com lisímetros, para esse estudo foram utilizados somente dois deles (Figura 3), cada parcela tem área de 144 m² cada, com bordadura de 4 metros entre elas, e em ambas foram instalados lisímetros de pesagem ao centro. Dentro de cada área também há três pontos de acesso para coleta com a sonda capacitiva Diviner® (FDR – Reflectância no Domínio da Frequência). Na parte central da área encontra-se o módulo de coleta de dados (*Datalogger*).

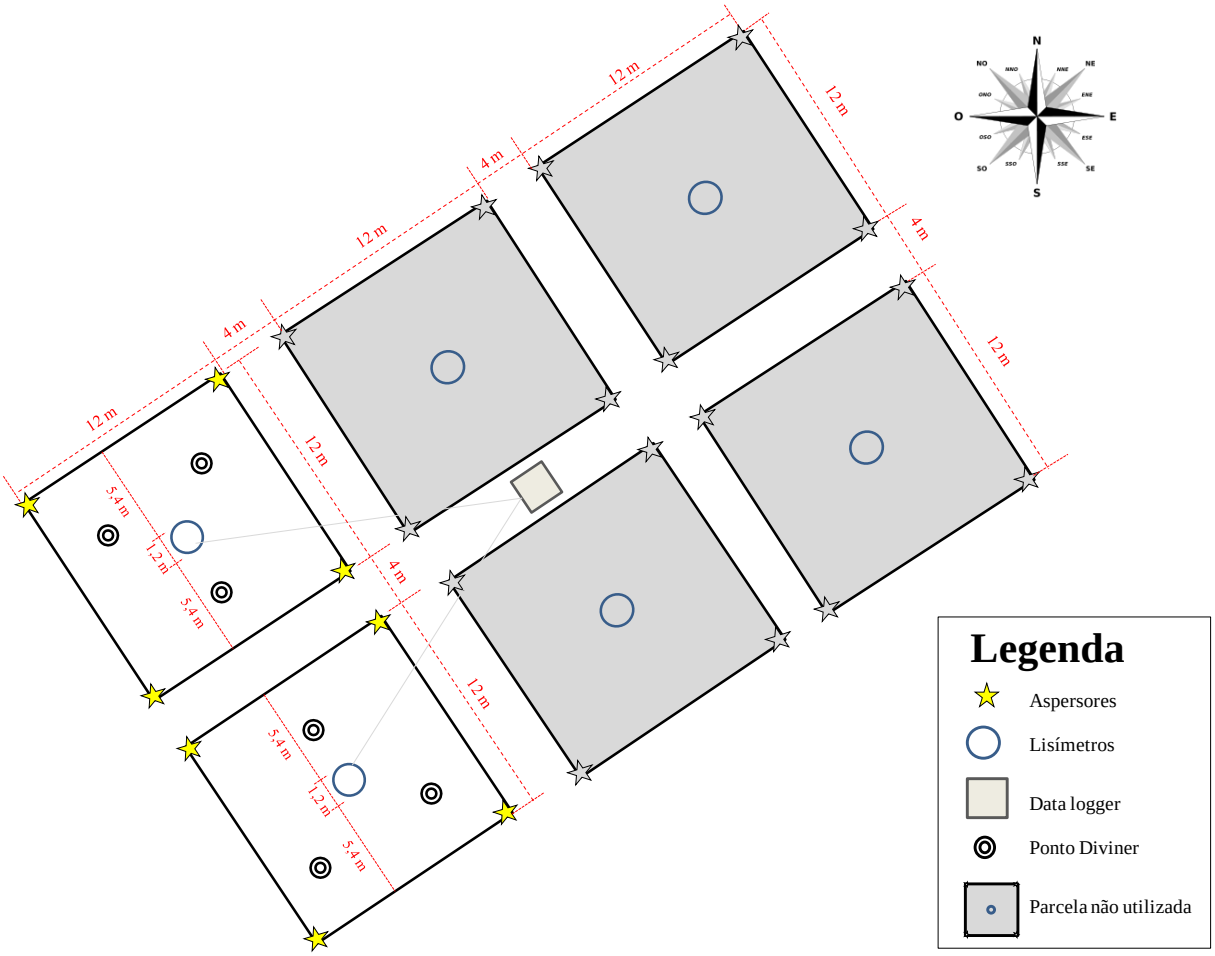



**Figura 3.** Croqui da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.

### 4.2. Caracterização do Solo

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho eutroférrico latossólico (SANTOS et al., 2013a). Suas características químicas iniciais foram determinadas antes da montagem do experimento, no Laboratório de Fertilidade do Solo da ESALQ/USP, e encontram-se na Tabela 2. Foram realizados o preparo convencional do solo (aração e gradagem), o controle de plantas invasoras, a correção de pH com calagem e a adubação de estabelecimento conforme recomendação de Raij et al. (1996).

**Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.

| Determinações | pH | P | K | Ca | Mg | H+Al | Al | V | CTC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Método de extração | $CaCl_2$ | Resina | -------Resina----------SMP-- KCl 1 mol $L^{-1}$ | | | | | | |
| Unidades | | mg $dm^{-3}$ | ----------$cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | % | $cmol_c$ $dm^{-3}$ |
| 0 – 20 | 5,3 | 72 | 0,94 | 3,9 | 1,8 | 3,1 | 0,2 | 68 | 9,74 |
| 20 – 40 | 4,9 | 31 | 0,44 | 1,3 | 1,0 | 4,2 | 0,2 | 39 | 6,94 |

**Tabela 3.** Características físicas do solo da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.

| Camada (cm) | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) |
|---|---|---|---|
| 0 – 20 | 35,7 | 19,2 | 45,1 |
| 20 – 40 | 29,3 | 18,7 | 52,0 |

### 4.3. Lisímetros de pesagem

A estimativa da evapotranspiração da forrageira foi realizada pela técnica da lisimetria de pesagem. O tanque lisimétrico foi constituído por uma caixa de PVC com volume de 500 L e dimensões de 1,22 m de diâmetro superior e 0,58 m de profundidade. Os lisímetros foram instalados interna e concentricamente a uma estrutura de alvenaria e sobre uma base metálica de aço de formato triangular, na qual foram fixadas três células de carga (modelo GL 500 – Alfa®) em cada lisímetro, uma célula em cada vértice da base triangular. As medidas obtidas com as células de carga foram registradas em um *datalogger*. Para sustentação da caixa de PVC preenchida com solo, sobre a base metálica triangular foi instalada uma chapa circular de aço (Figura 4).

A montagem do lisímetro começou com a escavação do solo, realizada manualmente, preservando e armazenando as camadas de 10 em 10 cm para serem inseridas de volta dentro da caixa de PVC, na mesma ordem em que estavam no perfil do solo da área experimental (Figura 5a). Após essa etapa, foram construídos a parede de alvenaria, três pontos de apoio de concreto e ferro e uma estrutura de concreto para nivelamento do reservatório de drenagem (Figura 5b).

O sistema de drenagem foi composto por um reservatório com volume de 10 L, apoiado em uma estrutura de aço, na qual foi fixada uma célula de carga (modelo GL 30 – Alfa®) (Figura 6). Nesse reservatório há uma válvula solenoide (ASCO Numatics) utilizada para escoar a água drenada do lisímetro quando esta atingir um volume predeterminado por calibração e controlado por uma placa de comando que aciona a válvula solenoide e é programada por meio do *datalogger* (Figura 7).

Detalhes construtivos do projeto encontram-se detalhados nos Anexos A ao Anexo G.

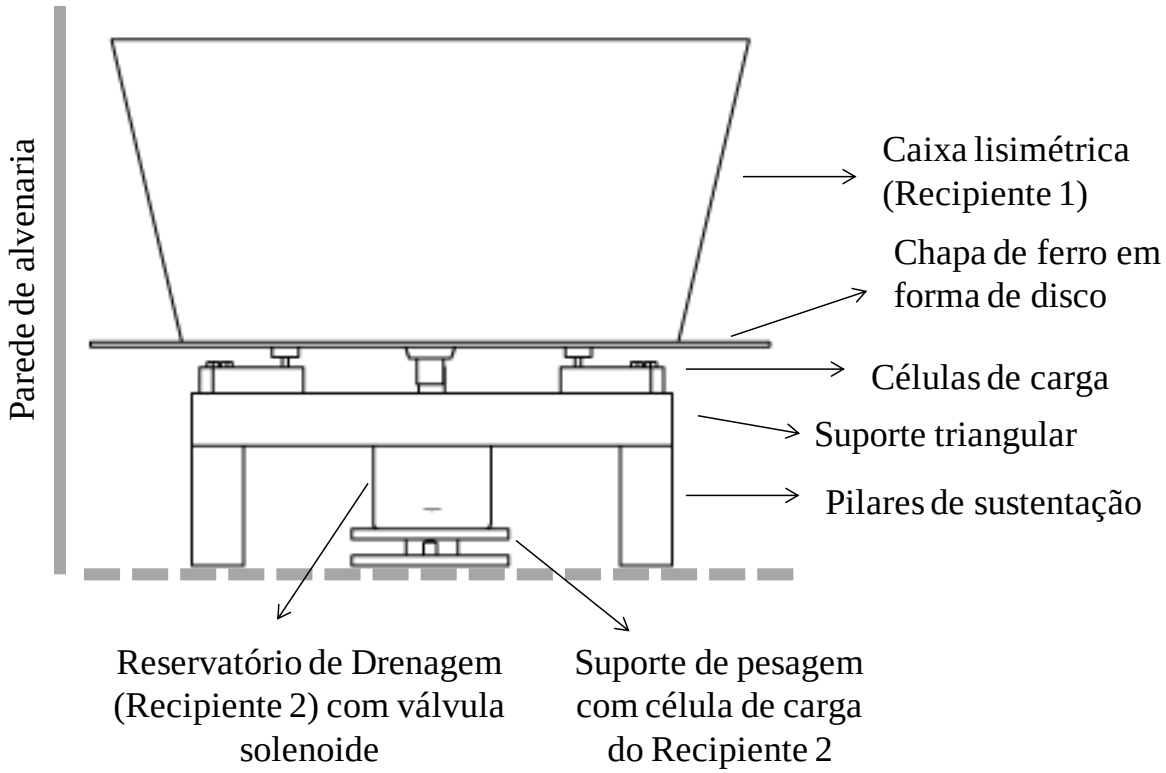



**Figura 4.** Esquema em corte lateral do lisímetro de pesagem instalado. Piracicaba/SP, 2015.

**Figura 5.** a) Escavação do solo com separação das camadas; b) Parede de alvenaria e pontos de apoio. Piracicaba/SP, 2015.

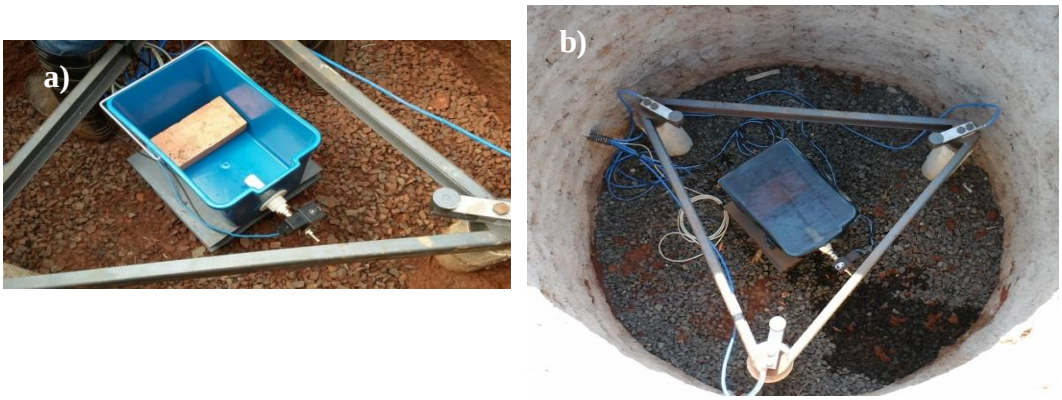



**Figura 6.** a) Reservatório de drenagem com válvula e b) Sistema de drenagem. Piracicaba/SP, 2015.

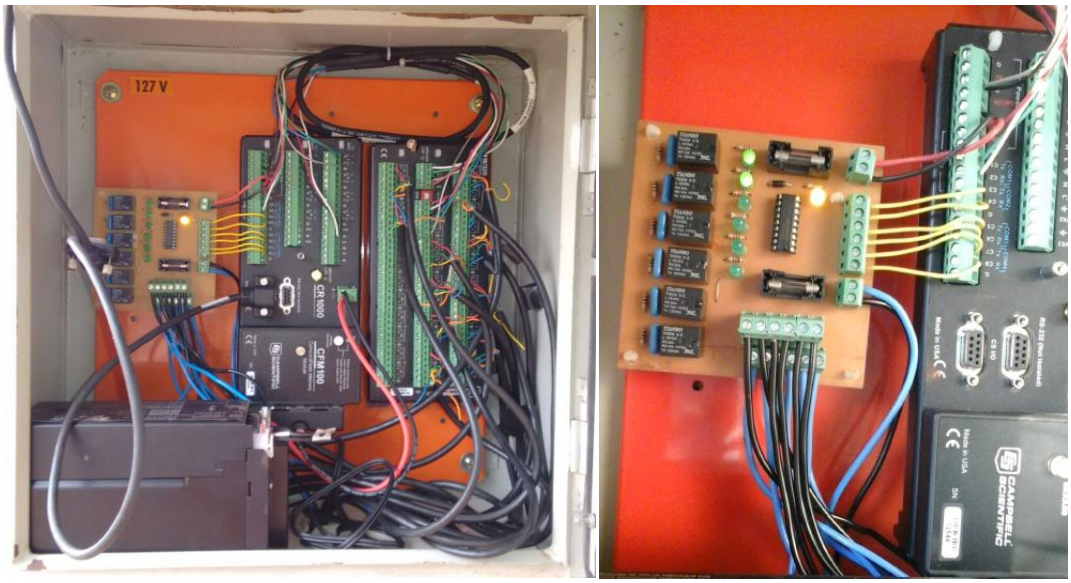



**Figura 7.** *Datalogger* utilizado com detalhe da placa de acionamento das válvulas solenoides do sistema de drenagem.

Para a obtenção de leituras confiáveis faz-se necessária a condução de um ensaio para obter equações de calibração dos lisímetros, por meio de adição e retirada de massa de quantidade previamente conhecidas. Essa tem por finalidade relacionar o sinal elétrico de saída da célula de carga (expresso em mV) e a massa do sistema, além da verificação da linearidade e histerese da célula de carga (FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006).

A calibração do sistema de drenagem foi realizada com volumes de água conhecidos, considerando a tara, o reservatório e a estrutura de nivelamento (Figura 6a). A partir disso, foram adicionadas quantidades de água pesadas em balança de precisão, anotando-se as medidas da célula de carga, em milivolts (mV), sendo o total adicionado de aproximadamente 9 kg, devido ao volume do reservatório (10 L). A calibração foi realizada em duas etapas: carregamento e descarregamento, enchendo e esvaziando o reservatório (Figura 8). Os dados

de pesagem e as medidas da célula de carga foram anotados e correlacionados entre si, e apresentaram um padrão linear (Figura 9).

**Figura 8.** Procedimentos da calibração dos drenos. Piracicaba/SP, 2015.

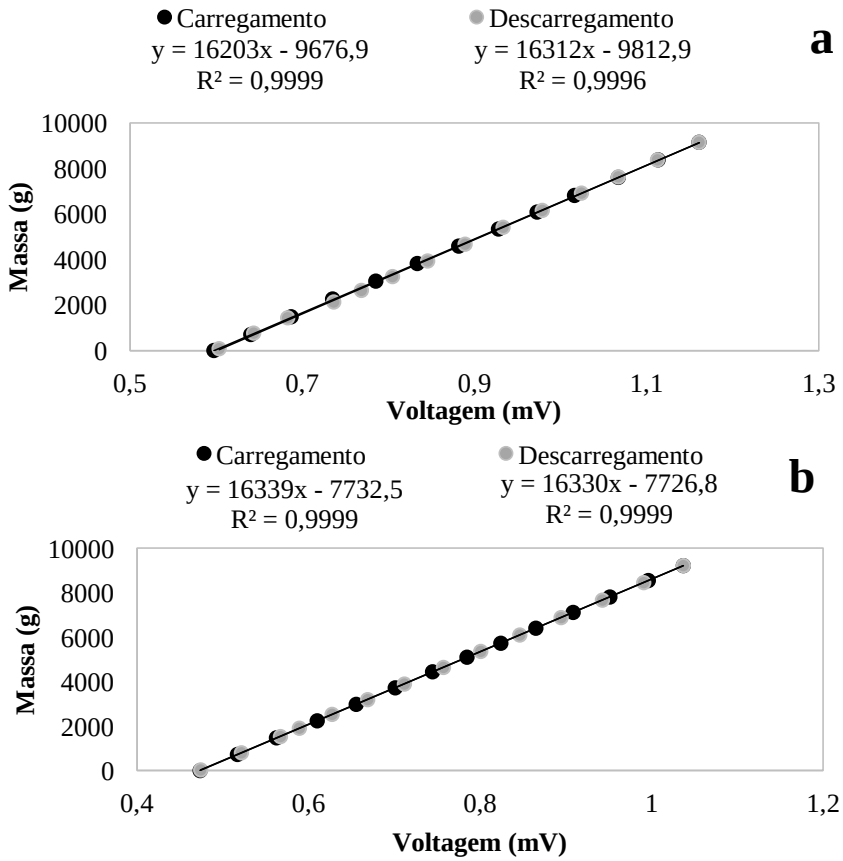



**Figura 9.** Calibração do sistema de drenagem: a) Dreno do Lisímetro da Área 1; b) Dreno do Lisímetro da Área 2, Piracicaba/SP, 2015.

As equações de calibração do sistema de drenagem foram adequadas à situação estudada no intervalo de zero a nove kg (0-9 kg) para ambos os lisímetros (Figura 9), com altos coeficientes de determinação ($R^2$). Após a calibração, foi predeterminado um volume de

7,2 L (7,2 kg) como padrão para o esvaziamento parcial do reservatório, até um volume de 3,2 L (3,2 kg), devido ao nível mínimo de escoamento limitado por uma conexão de saída do reservatório.

Após a calibração do sistema de drenagem dos dois lisímetros, montou-se a estrutura da caixa lisimétrica. Para o preenchimento das caixas, ao fundo foi colocada uma camada de brita nº 1 de 5 cm, coberta por uma manta de tecido permeável (Bidim®) e uma fina camada de área média sobre a manta. Após essa etapa foram colocadas as camadas de solo em ordem igual à do perfil original, para manter as condições iniciais dos horizontes do solo (Figura 10).

**Figura 10.** Preenchimento das caixas lisímetro seguindo a sequência: a) Manta para proteção do orifício de drenagem; b) camada de brita; c) Manta permeável; d) camada de areia média; e) preenchimento com as camadas de terra; f) caixa totalmente preenchida, Piracicaba/SP, 2015.

A calibração dos lisímetros também foi feita em duas etapas: carregamento e descarregando, utilizando sacos de brita nº 1 com pesos conhecidos, no intervalo 0-336,2 kg, adicionando ou retirando combinações de massa conhecida (Figura 11). O peso máximo adicionado na calibração é superior à capacidade máxima de armazenamento de água do solo (aproximadamente 275 kg de água, obtidos a partir da curva característica de retenção), portanto, o sistema teve capacidade de determinar a umidade do solo.

**Figura 11.** Calibração da caixa lisimétrica. Piracicaba/SP, 2015.

As curvas de calibração dos lisímetros apresentaram comportamento homogêneo nas duas parcelas e também para as duas situações avaliadas (carregamento e descarregamento), com valores de $R^2 \cong 1$. Equações lineares explicam a relação entre as medidas das células de carga e os valores de massa o volume de água (Figura 12), tal como os resultados obtidos por Campeche et al. (2011); Carvalho et al. (2007), Faria, Campeche e Chibana (2006), que obtiveram relação com valores de $R^2 > 0,998$.

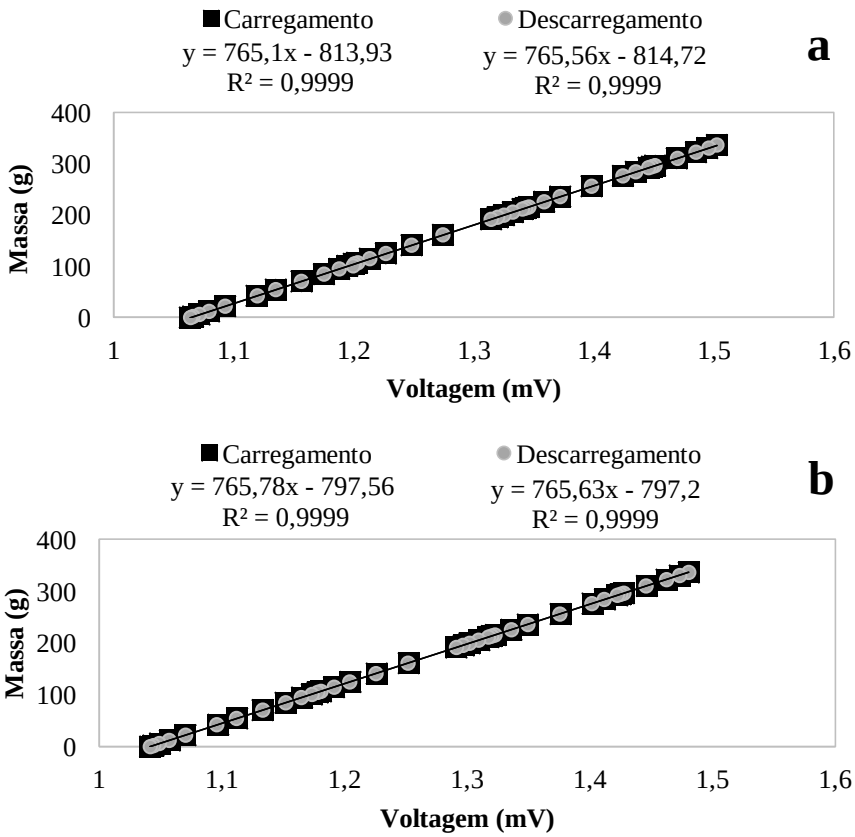



**Figura 12.** Curva de calibração das caixas lisimétricas, a) Lisímetro da Área 1; b) Lisímetro da Área 2, Piracicaba/SP, 2015.

Os sinais de saída das células de carga utilizadas nas medidas são coletados pelo datalogger a cada 10 segundos, com registro de saída das médias a cada 15 minutos, horário e diário, conforme o programa computacional utilizado (Anexo H).

### 4.4. Sonda Capacitiva (FDR)

Um dos objetivos do experimento foi verificar a possibilidade de se obter medidas do coeficiente de cultura para plantas forrageiras com outros equipamentos além do lisímetro de pesagem. Como o uso de sondas para medição da umidade do solo é comum em pesquisas, optou-se por utilizar esse tipo de equipamento nos testes, devido à sua portabilidade e à possibilidade de realização de trabalhos com várias forrageiras e em vários locais com uma mesma sonda.

Assim, o consumo de água também foi estimado por meio da variação de armazenamento de água no solo, monitorado por meio de uma sonda capacitiva, modelo Diviner® (SENTEK), cujo princípio de operação é a reflectância no domínio da frequência (*Frequency Domain Reflectance* - FDR). Inicialmente, o monitoramento foi realizado diariamente e, após a verificação de pequenas variações entre as medições, a frequência de coleta foi alterada para quatro dias.

Utilizaram-se três pontos por área, dispostos em formato de triângulo, nos quais foram instalados os tubos de acesso da sonda ao solo (Figura 3). Os tubos de acesso foram instalados conforme recomendação da SENTEK® (Figura 13), têm 0,9 m de profundidade e permitiram a leitura em sete profundidades (0,10 a 0,70 m), utilizadas para relacionar as medidas de consumo dos lisímetros às leituras de umidade do solo realizadas com a sonda capacitiva.

**Figura 13.** Etapas de instalação dos tubos de acesso para monitoramento da umidade do solo. Piracicaba/SP, 2016.

Foi realizada a calibração da sonda FDR para a umidade do solo da área. Para isso foram utilizados 4 tubos de acesso externos as parcelas experimentais, instalados para esse fim, em 5 dias de coleta alternados em escala temporal de 5 a 10 dias, de modo a obter diferentes pontos de umidade; os dois primeiros dias de coleta foram realizados quando o solo estava com umidade baixa; após isso, o solo foi encharcado com água (ao redor do tubo) e, no dia seguinte, quando todo o perfil estava homogêneo, procedeu-se a leitura com a sonda e a coleta de amostras.

Inicialmente foram realizadas duas repetições de leitura com a sonda em todo o perfil e, depois, utilizando trado de rosca foram coletados 7 pontos do perfil do solo (10 a 70 cm). As amostras de solo foram armazenadas em potes de coleta e posteriormente colocadas em uma caixa térmica, para evitar perdas de água por evaporação (Figura 14). Determinou-se a umidade à base de peso das amostras (U, em g $g^{-1}$), que posteriormente foi convertida para umidade à base de volume (θ, $cm^3$ $cm^{-3}$), utilizando-se a densidade global do solo (dg, em g $cm^{-3}$).

$$\theta = U\ dg \qquad \text{Equação 1}$$

Após o período de coleta, os dados foram submetidos à análise de regressão, retirando-se dados incoerentes apresentados, possivelmente, pela aderência do tubo ao solo (instalação ou deformidades físicas do próprio solo) ou por erros de amostragem com o trado. Assim, gerou-se um ajuste potencial para utilização no solo, que é apresentado na Figura 15.

**Figura 14.** a) Utilização do trado de rosca para retirada das amostras; b) armazenamento em com potes identificados; c) utilização de caixa térmica para isolamento do calor externo, Piracicaba/SP, 2016.

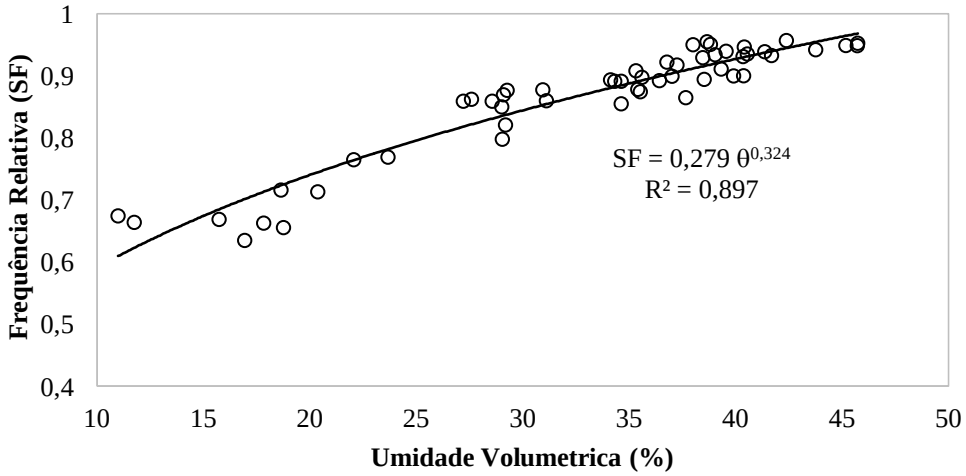



**Figura 15.** Equação de calibração da sonda capacitiva do solo da área experimental. Piracicaba/SP, 2016.

### 4.5. Implantação das culturas

A principal gramínea forrageira estudada foi o capim Marandu **(***Urochloa brizantha*, A. Rich., Stapf cv. Marandu), com semeadura e germinação ocorrendo nos dias 16 e 23 de novembro de 2015, respectivamente. Os primeiros tratos culturais após a germinação incluíram o controle manual de plantas invasoras e a aplicação de ureia aos 21 após a semeadura, em dose equivalente a 125 kg de N $ha^{-1}$. Após total estabelecimento da forrageira no campo (época de produção de sementes) dia 10 de fevereiro de 2016 realizou o corte de uniformização a 0,20 m do solo, iniciando o período experimental.

Para esse estudo, separou-se a Área 1 da Área 2 (Figura 3) para realizar a comparação dentro de cada ciclo. Na Área 1 permaneceu o capim Marandu durante todo o período analisado em cultivo solteiro, a Área 2 foi sobressemeada com aveia e azevém dia 4 de maio de 2016.

A parcela referente a Área 2 foi semeada com Aveia preta (cultivar EMBRAPA 29) e Azevém (cultivar Fepagro São Gabriel) após o corte terceiro ciclo. A semeadura foi realizada manualmente e a lanço com aproximadamente 100 kg $ha^{-1}$ de sementes de aveia-preta e 60 kg $ha^{-1}$ de azevém. O capim Marandu foi rebaixado com roçadeira costal na altura de 0,15 m e após isso as sementes foram lançadas, fazendo um pisoteio humano para simular a incorporação realizada pelo animal em condições produtivas. Realizou a aplicação de Ureia (50 kg $ha^{-1}$) após a emergência das plantas de ambas forrageiras.

### 4.6. Ciclos de cultivo

O experimento incluiu vários ciclos de cultivo, como se pode ver no Quadro 1. Em

ambas as áreas foram feitos cortes da parte aérea das forrageiras, dentro de intervalos de tempo fixos e variáveis. Na época de verão, os cortes em ambas as áreas foram feitos em intervalos fixos. Na época de outono e inverno, os cortes foram feitos em intervalos fixos na Área 1 e variáveis na Área 2, devido às diferenças de crescimento entre as forrageiras tropicais e as de inverno; na Área 2, o momento do corte foi definido pelo desenvolvimento das forrageiras de inverno. Após cada corte foram realizadas adubações de cobertura com ureia, na dose de 80 kg de N $ha^{-1}$, na época de maior temperatura do ar, e de 50 kg de N $ha^{-1}$ na época com temperaturas amenas.

**Quadro 1.** Identificação e data dos cortes, e duração do intervalo entre os cortes realizados durante o experimento.

| **Identificação do Ciclo** | **Datas** | | **Duração (dias)** | |
|---|---|---|---|---|
| | **A1** | **A2** | **A1** | **A2** |
| **1º Ciclo** | 11/02 a 09/03 | | 28 | |
| **2º Ciclo** | 10/03 a 06/04 | | 28 | |
| **3º Ciclo** | 7/04 a 04/05 | | 28 | |
| **4º Ciclo** | 05/05 a 13/06 | 05/05 a 13/06 | 40 | 40 |
| **5º Ciclo** | 14/06 a 23/07 | 14/06 a 11/07 | 40 | 28 |
| **6º Ciclo** | 24/07 a 01/09 | 12/07 a 04/08 | 40 | 24 |
| **7º Ciclo** | 02/09 a 11/10 | 05/08 a 5/09 | 40 | 32 |
| **8º Ciclo** | ------- | 6/09 a 07/10 | | 32 |

* Células sombreadas mostram os ciclos com intervalo variável de dias nas parcelas sobressemeadas (Área 2).

A altura de corte foi determinada por meio de teste visual e baseada na literatura disponível sobre o assunto. Da Silva (2005) estudou o efeito da altura de corte sobre a produção de forragem do capim Marandu e observou que, para a altura de 0,10 m, houve um aumento da população de plantas invasoras, redução da massa do bocado pelo animal e aumento do número de bocados para o animal satisfazer-se de forragem. O autor também relatou que uma altura acima de 0,20 m seria a mais adequada. Gimenes et al. (2011) utilizaram altura pós-pastejo de 0,15 m. Considerando que nesse experimento não houve

animais em pastejo, a área experimental permaneceu com cobertura total do solo e, portanto, foi utilizada a altura pós-corte de 0,15 m.

### 4.7. Manejo da água

A irrigação foi realizada pelo método de aspersão convencional, por meio de um sistema com espaçamento 12 m x 12 m (aspersores x linhas), sendo utilizado o aspersor de modelo 427B da NaanDanJain, com pressão de serviço de 303 kPa, e intensidade aplicação (Ia) de 4,86 mm $h^{-1}$.

A uniformidade de aplicação do sistema de irrigação foi testada no campo e obteve-se um Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 87%, classificada como boa uniformidade segundo Mantovani (2001).

Para o manejo da irrigação, foram retiradas amostras indeformadas em seis profundidades na camada de solo de 0-0,60 m, espaçadas entre si por 0,10 m, com 3 repetições para cada profundidade. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Qualidade da Água da ESALQ/USP e utilizadas para a determinação da densidade global do solo e para a confecção da curva característica de retenção de água no solo, ajustada com o auxílio da equação de Van Genuchten (1980) apresentada na Equação 2 pelo programa computacional RETC (VAN GENUCHTEN; LEIJ; YATES, 1991).

$$\theta i = \theta r + \left[\frac{(\theta s - \theta r)}{\left[1+(|\psi|)^{n}\right]^{m}}\right] \qquad \text{Equação 2}$$

Em que:

Θi - umidade volumétrica atual ($cm^3\ cm^{-3}$)

Θr- umidade volumétrica residual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$)

Θs - umidade volumétrica no ponto de saturação do solo ($cm^3\ cm^{-3}$)

ψ, n, m – Coeficientes de ajuste do modelo

Após o ajuste, obteve-se a seguinte equação:

$$\theta i = 0{,}268 + \left[\frac{(0{,}480 - 0{,}268)}{\left[1+(0{,}127\theta_{cc})^{1{,}291}\right]^{0{,}219}}\right] \qquad \text{Equação 3}$$

O turno de irrigação foi variável, de acordo com o consumo de água das culturas, medido nos lisímetros, utilizando a sonda FDR como aferidor da umidade do solo. Desta forma, a lâmina de irrigação (LI) aplicada foi determinada por meio da Equação 4.

$$LI = (\theta cc - \theta i)\, z \qquad \text{Equação 4}$$

Em que,

ϴcc - umidade volumétrica na capacidade de campo ($cm^3\ cm^{-3}$)

z - profundidade efetiva das raízes (m)

### 4.8. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados para cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) e dados de precipitação pluvial foram obtidos a partir da Estação Meteorológica Automática (EMA) e da Estação Meteorológica Convencional (EMC) do Posto Meteorológico da ESALQ situado a 100 m do experimento.

As duas estações realizam observações meteorológicas de precipitação, temperatura do ar e insolação, velocidade do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, radiação solar global e radiação líquida e evapotranspiração. Sendo que para essas medições a EMC utiliza, respectivamente pluviômetro, termômetro de temperatura máxima e mínima, heliógrafo, anemômetro, psicrômetro, actinógrafo e tanque Classe A.

Os dados da EMA possuem maior precisão e sensibilidade por conta dos diferentes sensores utilizados e sua coleta é realizada automaticamente a cada segundo sendo as médias armazenadas em intervalos de 15 minutos em um *datalogger*, evitando os possíveis erros oriundos de observações humanas.

### 4.9. Evapotranspiração e Coeficiente de cultura

A ETo foi calculada por meio da Equação 5 de Penman-Monteith, de acordo com a recomendação do Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$\mathrm{ETo} = \frac{0{,}408s(\mathrm{Rn}-\mathrm{G}) + \frac{\gamma \mathrm{C_n u_2}(\mathrm{es}-\mathrm{ea})}{\mathrm{T}+273}}{\mathrm{s}+\gamma(1+\mathrm{C_d u_2})} \qquad \text{Equação 5}$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência em mm $dia^{-1}$;

Rn – Radiação Liquida na superfície da cultura (MJ $m^{-2}$ $dia^{-1}$);

G - fluxo de calor para o solo (MJ $m^{-2}$ $dia^{-1}$);

γ - constante psicométrica, determinada pelas seguintes equações,

$$\gamma = \frac{c_p\, P}{\varepsilon\, \lambda} \qquad \text{Equação 6}$$

Em que

cp - calor constante de pressão, 1,1013 $10^{-3}$ (MJ $kg^{-1}$ $^oC^{-1}$)

P - pressão atmosférica, calculada pela expressão (kPa):

$$P = 101{,}3\left(\frac{293 - 0{,}0065\, z}{293}\right)^{5{,}26} \qquad \text{Equação 7}$$

ε - relação entre pesos moleculares do vapor de água e do ar seco, 0,622

λ - calor latente de vaporização, 2,45 (MJ $kg^{-1}$)

$u_2$ - velocidade do vento a 2 m de altura ($m.s^{-1}$);

es - pressão de saturação de vapor (kPa);

ea - pressão atual de vapor (kPa);

T - temperatura do ar a 2 m (ºC);

$C_n$ - constante do numerado que varia com o tempo de análise, sendo igual a 900 para escala diária, 37 para escala horária;

$C_d$ - constante do denominador que varia com o tempo de análise sendo igual a 0,34 para escala diária e para escala horária: 0,24 para Sr > 0 e 0,96 para Sr <=0;

s - taxa de variação da pressão de vapor em função da temperatura do ar (kPa $^oC^{-1}$), determinada pela seguinte expressão:

$$s = \frac{4098\ es}{(T+237{,}3)^2} \qquad \text{Equação 8}$$

A evapotranspiração da cultura (ETc) e do consórcio das culturas foi determinada com o auxílio dos lisímetros de pesagem e dos dados de precipitação pluvial e de irrigação, ao longo de todo o experimento. Com essas informações calculou-se a ETc) em intervalos de 15 minutos, que depois foram somados para obter dados diários por meio da Equação 9.

$$ETc = \Delta arm + P + I - D \qquad \text{Equação 9}$$

Em que:

ETc - evapotranspiração da cultura em $mm.h^{-1}$;

Δarm - variação de armazenamento em $mm.h^{-1}$;

P - precipitação em $mm.h^{-1}$;

I - irrigação em $mm.h^{-1}$; e

D - variação de drenagem em $mm.h^{-1}$;

A partir da obtenção, dos valores de ETc e ETo, foram obtidos os valores de Kc para as forrageiras estudadas, calculada por meio da relação proposta por Allen et al. (1998), Equação 10.

$$ETc = ETo\ Kc \qquad \text{Equação 10}$$

### 4.10. Parâmetros fitotécnicos e produtivos

Ao final de cada ciclo quantificou-se a produtividade total de forragem (PTF) e suas divisões biométricas (folha, colmo e material morto) e também o índice de área foliar (IAF), por meio de amostragem da parte aérea das plantas.

Além disso, ao longo do ciclo foram realizadas medições a cada 4 dias de IAF, interceptação luminosa (IL) e altura do dossel forrageiro (ADF), com dois objetivos: i) acompanhamento do crescimento das plantas para buscar correlações entre os parâmetros biométricos e o Kc; ii) definir o momento de corte, para os ciclos variáveis, a partir de dados de interceptação luminosa, quando essa atingisse 95%; iii) verificar o momento em que ocorre o Kc máximo e analisar os parâmetros biométricos correspondentes.

### 4.11. Análise dos dados

A escolha dos testes de comparação das variáveis quantitativas de produtividade foi feita respeitando-se os pressupostos determinados pelos resultados, características e comportamento em estudo.

# 1. ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DE *Urochloa brizantha* cv. MARANDU EM CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO.

## 1.1. Resumo

Conhecer o consumo de água das plantas é essencial para que o sistema produtivo seja manejado da maneira correta, evitando desperdícios de água e energia, quando há utilização da irrigação, e evitando perdas produtivas em períodos de baixa precipitação pluvial. Além disso, o consumo de água é importante para estudos de regiões aptas à produção de uma determinada cultura. Tratando-se de plantas forrageiras, esse conhecimento não está bem fundamentado, por ser um grupo que abrange muitas espécies, as quais são diferentes morfologicamente. Além disso, praticamente não há estudos sobre o consumo de água de forrageiras tropicais em consórcio com espécies forrageiras de inverno. Tal consórcio aumenta a produção de forragem quando as espécies tropicais entram em processo estacional, melhora o valor nutritivo das pastagens e também o aproveitamento da área. Por conta disso, esse estudo tem o objetivo de determinar o consumo de água de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em cultivo solteiro e consorciado com aveia preta e azevém, por meio de lisímetros de pesagem. O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), utilizando dois lisímetros de pesagem, cultivados com a forrageira tropical. Ambos os lisímetros foram utilizados durante todo o período experimental (fevereiro a outubro de 2016), um com cultivo exclusivo e o outro com sobressemeadura no mês de maio. A evapotranspiração de cultura (ETc) foi calculada com as médias da variação de peso dos lisímetros a cada 15 minutos, para verificar a sensibilidade da entrada de água (chuva + precipitação). Após o cálculo, os valores foram somados para se ter a ETc diária e, posteriormente, a média de 4 dias. Os dados meteorológicos das estações presentes na ESALQ/USP foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) e determinação dos valores de coeficiente de cultura (Kc). Houve diferenças significativas entre o consumo de água de capim Marandu solteiro e em sobressemeadura. A produtividade de água no período de outono/inverno foi maior no cultivo sobressemeado. Os valores de Kc variaram entre 0,23 e 1,24 (cultivo solteiro no verão), entre 0,32 e 1,09 (cultivo solteiro no inverno) e entre 0,41 e 0,99 (cultivo consorciado).

**Palavras chaves:** Lisimetria de pesagem; Consumo de água; Coeficiente de cultura; Produtividade de água

## 1.2. Abstract

Knowing the water consumption of the plants is essential for the productive system to be managed in the right way, avoiding waste of water and energy, when irrigation is used, and avoiding productive losses in periods of low rainfall. In addition, water consumption is important for studies of regions suitable for the production of a given crop. As for fodder plants, this knowledge is not well-founded because it is a group that encompasses many species, which are morphologically different. In addition, there are practically no studies on the consumption of tropical forage water in a consortium with winter forage species. This consortium increases forage production when tropical species enter the seasonal process, improves the nutritive value of pastures and also the utilization of the area. Because of this,

this study aims to determine the water consumption of Urochloa brizantha cv. Marandu in single crop and intercropped with black oats and ryegrass, by means of weighing lysimeters. The experiment was carried out at the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (ESALQ / USP), using two weighing lysimeters, grown with the tropical forage. Both lysimeters were used throughout the experimental period (February to October 2016), one with exclusive culture and the other with overestimation in the month of May. The crop evapotranspiration (ETc) was calculated with the means of the lysimeter weight variation every 15 minutes, to verify the sensitivity of the water intake (rain + precipitation). After the calculation, the values were summed to have the ETc daily and, later, the average of 4 days. The meteorological data of the stations present at the ESALQ/USP were used to calculate the reference evapotranspiration (ETo) and to determine the coefficient of cultivation (Kc) values. There were significant differences between the water intake of Marandu grass single and overweight. Water productivity in the fall / winter period was higher in over - crop cultivation. Kc values varied between 0.35 and 1.49 (single crop in the summer), between 0.67 and 1.55 (single crop in winter) and between 0.87 and 1.51 (intercropping).

**Keywords**: Weighing Lisimetry; Water consumption; Coefficient of culture; Water productivity

## 1.3. Introdução

Quando a irrigação de pastagens não é feita de maneira adequada, pode levar à aplicação excessiva de água, o que resulta em prejuízos ao ambiente, no consumo desnecessário de energia elétrica e de água, na lixiviação de nutrientes e na compactação do solo, repercutindo na diminuição da produção e da vida útil da pastagem (ALENCAR et al., 2009).

As plantas necessitam de água para sobrevivência e manutenção dos processos fisiológicos, a quantidade de água consumida pela mesma é influenciada primeiramente pelas características morfofisiológicas da espécie (tempo de crescimento e área foliar), disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera (ARTUR; GARCEZ; MONTEIRO, 2014).

Uma determinação correta e precisa dos fluxos de água na interface solo-planta-atmosfera é de interesse fundamental para fins de manejo e para a pesquisa científica básica (SCHRADER et al., 2013). O monitoramento das variações da umidade e do fluxo de água no solo, associados à observação da variação dos elementos climáticos, possibilita conhecer e quantificar os componentes do balanço hídrico e estimar a evapotranspiração efetiva da cultura, e posteriormente, os coeficientes de cultivo (Kc) (DE SOUZA et al., 2011).

A evapotranspiração de cultura (ETc) pode ser determinada com precisão em períodos curtos com sistemas eletrônicos de célula de carga, que são usados em quase todos os lisímetros de pesagem modernos (ALLEN et al., 2011). Na determinação da evapotranspiração de forrageiras tropicais, o uso de lisímetros é eficiente.

Os lisímetros podem ser agrupados em três categorias: (1) Lençol freático constante: o nível do lençol freático é sempre mantido dentro e fora do lisímetro; esse sistema não é pesado, porém fornece dados confiáveis para períodos semanais ou mais longos; (2) Drenagem: também sem pesagem, nos quais as variações na água armazenada no solo são determinadas por métodos de amostragem, por meio da diferença entre as quantidades de água aplicada em sua superfície e drenada pelo fundo do equipamento; são frequentemente usados em áreas de alta precipitação pluvial; e (3) Pesagem: as variações da água do solo são determinadas pela pesagem de toda a unidade com uma balança, contrabalançada e células de carga. Se bem geridos, os lisímetros de pesagem fornecem dados precisos para curtos períodos de tempo (ALLEN et al., 2011).

A lisimetria de pesagem é uma técnica que consiste em medir a variação do peso de um bloco de solo, devido à entrada ou saída de água, por meio de uma célula de carga que monitora a dinâmica de água no solo. Os lisímetros de pesagem são blocos isolados de solo ou tanques cheios de solo e suspensos em um mecanismo de pesagem em que a vegetação é cultivada em condições naturais (ALLEN et al., 2011; CAMPECHE et al., 2011).

Diversas pesquisas têm demonstrado a eficiência na utilização de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração, dentre delas cita-se Carvalho et al. (2007); De Souza, De Lima, Carvalho (2012); De Souza et al. (2011); Flumignan et al. (2012); Lena, Flumignan, de Faria (2011); Lena et al. (2016); Mariano et al. (2015); Nascimento et al. (2011); Silva, Folegatti, Villa Nova (2005).

Ainda existem poucas pesquisas sobre determinação de Kc para forrageiras tropicais. Na literatura, foram encontrados alguns trabalhos sobre Kc de *Panicum maximum*, cv. Tanzânia, Lourenço et al., (2001) obtiveram Kc variando de 0,35 na fase inicial a 1,25 no período final, para o município de Piracicaba, SP. Bueno et al. (2009) propuseram valores médios a 0,75, 0,83 e 1,04 ao longo do ciclo da cultura.

Gargantini et al. (2005) avaliaram as respostas produtivas do capim Mombaça submetido a crescentes lâminas de irrigação e observaram maior produção de forragem com o uso de lâminas de irrigação que variam entre 73% a 114% da ETo, ou seja, um Kc entre 0,73 e 1,14. Ainda para o período entre junho e setembro, recomendaram um Kc de 1,5. Dantas Neto et al. (1996) estudaram o capim Buffel, encontrando uma ETc média de 4,75 mm $d^{-1}$ com um Kc de 0,62.

Estudos com *Urochloa brizantha* cv. Piatã propuseram Kc de 0,83 a 1,33 para quatro ciclos de corte. Para *Panicum maximum* cv. Mombaça, a variação ocorreu com valores maiores, de 0,96 a 1,54, por conta das características da espécie (ANTONIEL et al., 2016).

Embora haja alguns dados de Kc para forrageiras tropicais, são ainda mais raros dados de Kc para o consorcio entre elas e forrageiras de inverno, sendo necessário fazer a comparação com dados das culturas de inverno solteira. No boletim da FAO 56 propuseram valores de Kc para cultura do azevém de 0,95 para fase inicial, 1,05 para o período médio e 1,00 para a fase final, considerando uma altura máxima de 0,3 m.

Não foram encontrados valores de determinação de coeficiente de cultura para aveia preta. Existem trabalhos para a cultura do trigo, a qual se aproximaria mais das características da aveia preta. Lena et al. (2016) estabeleceram como média para o período inicial de formação: 0,7; metade do ciclo: 1,5 e 0,6 para o final com estudo realizado em Londrina/PR. Também estudando trigo em três anos consecutivos, no norte da China, obtiveram valores de Kc variando de 0,35 a 0,8 para o período inicial, 1,01 a 1,04 para o meio do estágio e de 0,53 a 0,98 para o final da formação (GAO et al., 2014).

Silva et al. 2014) determinaram Kc por meio de lisímetro de pesagem para o consorcio de milho e *Urochloa brizantha* com valor máximo de 1,81 aos 50 dias após a emergia das plantas.

Em um trabalho na Califórnia/USA foram determinados valores de Kc para *Thinopyrum ponticum* cv. José, *Leymus triticoides* e *Paspalum vaginatum*, obtendo-se valores médios anuais de 0,98; 0,92; 0,85, e valores médios de verão de 1,08; 1,11 e 1,00, respectivamente (BENES et al., 2012).

Os valores de Kc podem variar ao longo do ano, como relatado nos estudos citados anteriormente, isso por conta da influência dos elementos climáticos e de sua interação com a planta. Meirelles et al. (2011) estudaram *Urochloa brizantha* e verificaram que a evapotranspiração foi influenciada pelo nível de acoplamento da copa da planta com atmosfera. Voltolini et al. (2009) alertam que é preciso conhecer o Kc das forrageiras de acordo com seu estádio fisiológico e região de cultivo por conta da variação dos elementos climáticos, sendo fundamental para melhorar a eficiência da irrigação das pastagens.

Ao estudar o consumo de água e o Kc de qualquer cultura é necessário estabelecer alguns indicadores para avaliar os resultados obtidos com a irrigação. Um desses indicadores é a produtividade da água (PA). É um termo genérico que expressa o desempenho de um sistema produtivo, sendo a proporção de um determinado nível de suporte físico (saída ou resultado) e outro nível consumido (entrada de insumo) (PURCELL; CURREY, 2003). Nesse caso, considera-se como saída a produção de matéria seca e como entrada a água consumida (evapotranspiração) (NEAL; FULKERSON; HACKER, 2011).

A PA pode ser utilizada de diferentes maneiras, de acordo com a decisão a tomar e com as limitações presentes no sistema de produção. Como exemplo, pode-se pensar em duas propriedades rurais, uma com abundância de terra e limitação de água e outra com a situação inversa. No primeiro caso, é necessário maximizar a PA, de modo que cada unidade de água aplicada (mm) produza o máximo resultado possível. No segundo caso, é necessário maximizar a produtividade da área, portanto, a PA pode não ser a máxima. Em ambos os casos, deve-se reconsiderar essas colocações ao pensar em resultados econômicos.

Para maximizar a PA de qualquer forrageira, é necessário maximizar o rendimento por unidade de água. Dantas et al. (2016) compararam a eficiência de uso de água, e relataram que esta foi maior no outono em relação ao inverno, sendo de 8,84 e 6,53 kg $ha^{-1}$ $mm^{-1}$, respectivamente, devido à maior produtividade de forragem nos ciclos de outono. Lopes et al. (2014) realizaram um estudo com *Brachiaria decumbens* e encontraram valores de 44,31 e 21,24 kg $ha^{-1}$ $mm^{-1}$, para as lâminas de 3,84 e 10,46 mm $dia^{-1}$, respectivamente.

O conhecimento dos valores de ETc ao longo do ciclo produtivo é fundamental para medir ou estimar a produtividade potencial das culturas, que é utilizada em modelos de crescimento e produção, e também no planejamento de atividades agrícolas. Dessa forma, os objetivos desse trabalho foram avaliar o consumo de água de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em cultivo solteiro e consorciado com aveia preta e azevém, por meio de lisímetros de pesagem, determinar coeficientes de cultura para diferentes períodos e a produtividade da água das forrageiras em cada ciclo de corte.

## 1.4. Material e Métodos

O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) em duas parcelas com tamanho individual de 144 m², cada uma com um lisímetro de pesagem ao centro, de área igual a 1,17 m². Dessa forma, uma área de aproximadamente 142,8 m² de bordadura. Ao redor das parcelas utilizadas nesse experimento havia outras parcelas com lisímetros, experimentos irrigados com forrageiras tropicais e áreas em pousio também com forrageiras tropicais, porém não irrigadas.

As parcelas experimentais foram preparadas para o plantio de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, passando por preparo convencional do solo (aração e gradagem), correção de pH e da fertilidade do solo, plantio de sementes, controle de plantas invasoras, irrigações e adubações de cobertura com nitrogênio após cada corte de forragem.

Considerando as duas parcelas experimentais, foram realizados 15 ciclos de cortes, sendo três ciclos realizados nos meses de fevereiro a abril de 2016, caracterizando o período

quente do ano (final do verão e início do outono), e os demais ciclos compreendidos de maio a outubro de 2016 (outono, inverno e início da primavera). Quatro ciclos tiveram duração individual de 40 dias e foram de cultivo solteiro de *Urochloa brizantha* cv. Marandu; e cinco ciclos, de cultivo do capim Marandu sobressemeado com aveia preta e azevém, em intervalos de dias variáveis, de acordo com o desenvolvimento das forrageiras de inverno.

Na Figura 16 pode-se visualizar o estabelecimento do capim Marandu nos lisímetros durante o primeiro ciclo produtivo por dias após o corte (DAC) de uniformidade. Inicialmente a área em volta do lisímetro e suas bordas encontravam-se expostas, influenciando a radiação incidente nas plantas e, consequentemente o consumo de água. A partir do segundo corte a forrageira estabeleceu-se na área toda, não apresentando esse comportamento.

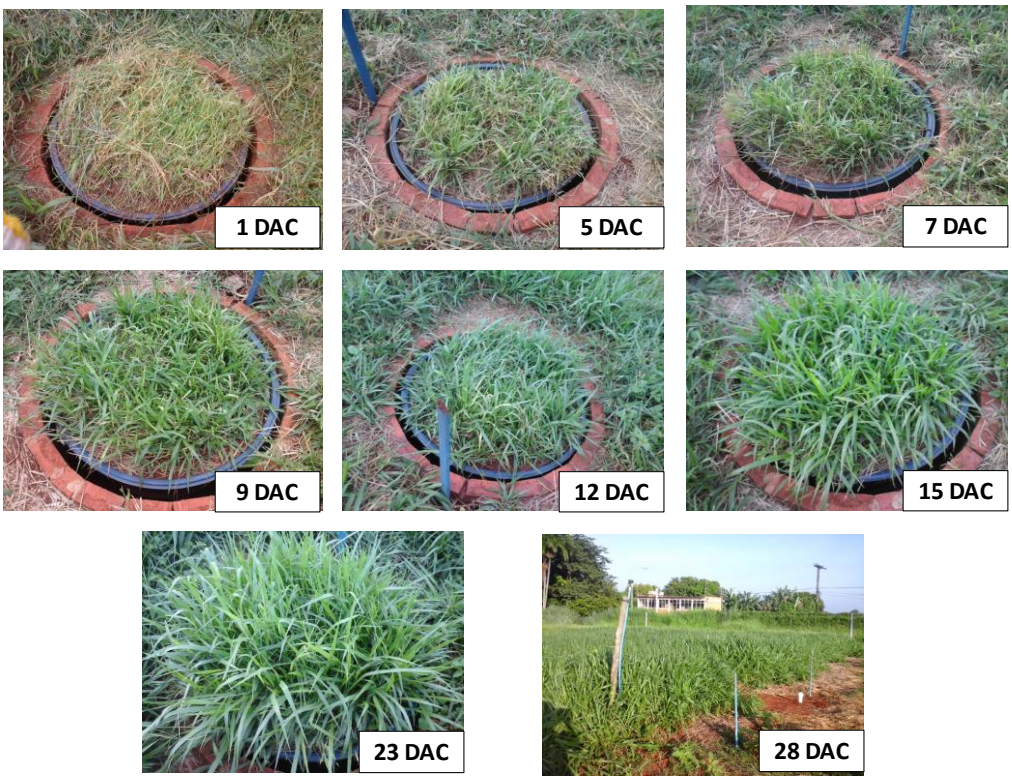



**Figura 16.** Evolução do crescimento do capim Marandu após o corte de uniformidade durante o primeiro ciclo.

As irrigações foram aplicadas em intervalos de 3 a 5 dias, sempre que necessário. Na Figura 17 estão apresentados os eventos de irrigação e os dados de temperatura, precipitação e radiação liquida registrados no Posto meteorológico da ESALQ/USP durante todo o período do experimento.

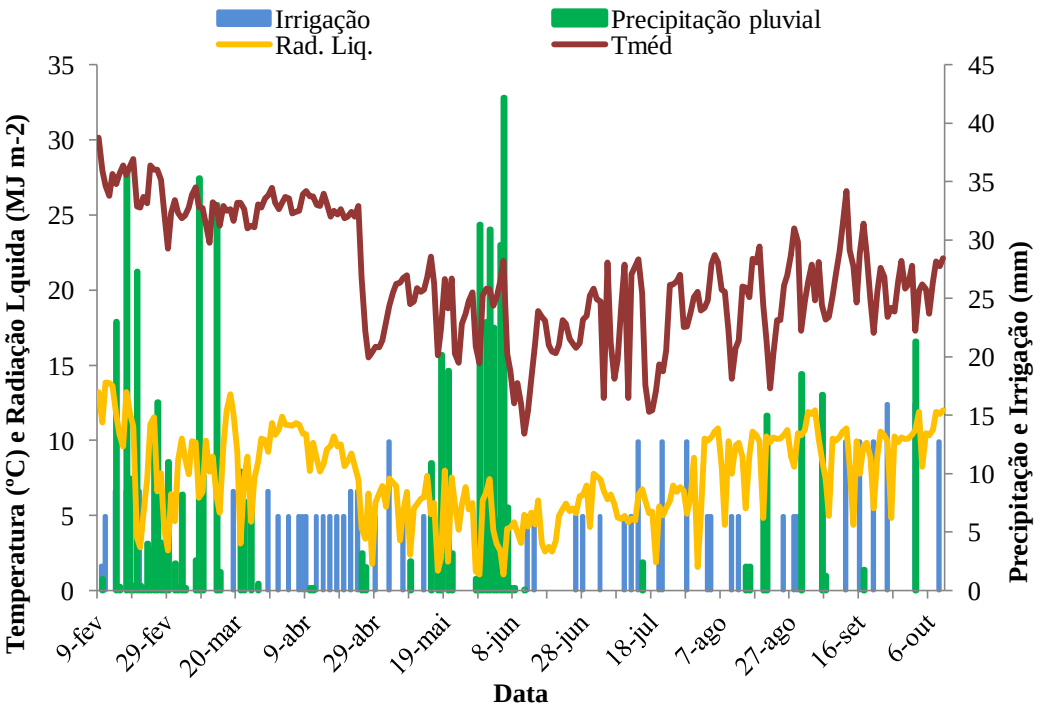



**Figura 17.** Dados meteorológicos e irrigações realizadas durante o período experimental.

Para obter os valores do coeficiente de cultura é necessário o cálculo das evapotranspirações de referência (ETo) e de cultura (ETc). O cálculo da ETo foi feito com o modelo de Penman-Monteith, de acordo com a recomendação do Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998), cuja equação final é apresentada a seguir:

$$\mathrm{ETo} = \frac{0{,}408\ s\ (\mathrm{Rn} - \mathrm{G}) + \dfrac{\gamma\ 900\ u_2\ (es - ea)}{T + 273}}{s + \gamma\ (1 + 0{,}34\ u_2)} \qquad (1)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência em mm dia$^{-1}$;

Rn – Radiação Liquida na superfície da cultura (MJ m$^{-2}$ dia$^{-1}$);

G - fluxo de calor para o solo (MJ m$^{-2}$ dia$^{-1}$);

$\gamma$ - constante psicométrica;

$u_2$ - velocidade do vento a 2 m de altura (m.s$^{-1}$);

es - pressão de saturação de vapor (kPa);

ea - pressão atual de vapor (kPa);

T - temperatura do ar a 2 m (ºC);

s - taxa de variação da pressão de vapor em função da temperatura do ar (kPa ºC$^{-1}$).

A ETc foi obtida por meio de lisímetros de pesagem, com sistemas automáticos de drenagem e registro de dados.

Previamente, foram feitas as calibrações dos sistemas de pesagem do lisímetro e de drenagem automático. Os sinais elétricos das células de carga dos lisímetros (mV) foram convertidos em massa (kg) por meio das curvas de calibração, inseridas na programação do *datalogger*, com processo similar feito para o sistema de drenagem. Os dados foram medidos em intervalos de 10 segundos e armazenados três tipos de médias: 15 minutos, horária e diária.

O *datalogger* utilizado para armazenamento de dados foi o modelo CR1000 (Campbell Scientific® Inc. Logan Utah, USA). Para exportação dos dados ao computador foi utilizado o programa computacional PC200W (Campbell Scientific® Inc. Logan Utah, USA). Com os dados exportados pelo programa, foram organizadas as planilhas no Microsoft Office Excel® com divisão em ciclos de cultivos conforme as datas e duração descritas anteriormente.

Para obter mais precisão ao medir a variação de massa de cada lisímetro e relacioná-la com as entradas (Chuva e Irrigação) e saídas de água (Drenagem), foram utilizadas planilhas contendo as médias a cada 15 min. Foram, então, calculadas as variações de massa entre as medições, excluindo os valores referentes a períodos em que ocorreu precipitação pluvial (P) expressiva, a ponto de causar imprecisão dos dados devido ao tempo necessário para a estabilização do peso dos lisímetros. Aumentos e reduções no peso medido em intervalos de tempo especificados são afetados por flutuações que não podem ser totalmente eliminadas por procedimentos de suavização (SCHRADER et al., 2013). Campeche et al. (2011) também aconselham que os dados nessas condições sejam descartados, devido ao crescimento da variação da massa do sistema, o que dificulta a determinação dos valores de evapotranspiração.

Também foram excluídos dados onde a evapotranspiração apresentava-se alta dentro do intervalo de 15 minutos (acima de 0,20 mm) dado pela presença das massas de ar quente trazidas pelo vento no sentido Norte, Noroeste e Oeste e alguns dias também no sentido Sudoeste (quando a área estava em pousio). Como apresentada pela Figura 18, as áreas que circundam as parcelas experimentais nesse sentido são áreas não irrigadas, em pousio ou com solo descoberto, fatores os quais levam a maior evaporação da água do solo, produzindo massas de ar que são levadas a locais úmidos próximos aumentando a demanda registrada pelo lisímetro.

Para o cálculo da ETc foram utilizados todos os valores diários. Apesar de alguns autores considerarem irrisória a ETc noturna, esta depende das condições de movimento do ar e da energia acumulada pelo sistema durante o dia. Portanto, os valores não devem ser descartados no somatório da ET diária (CAMPECHE et al., 2011).

As variações de massa foram convertidas diretamente em volume (1 kg = 1 L) e divididas pela área do lisímetro (1,17 m²) para serem transformadas em lâminas d'água. Após isso, os dados de consumo foram somados a cada intervalo diário fazendo a comparação com a ETo calculada a fim de obter o coeficiente de cultivo.

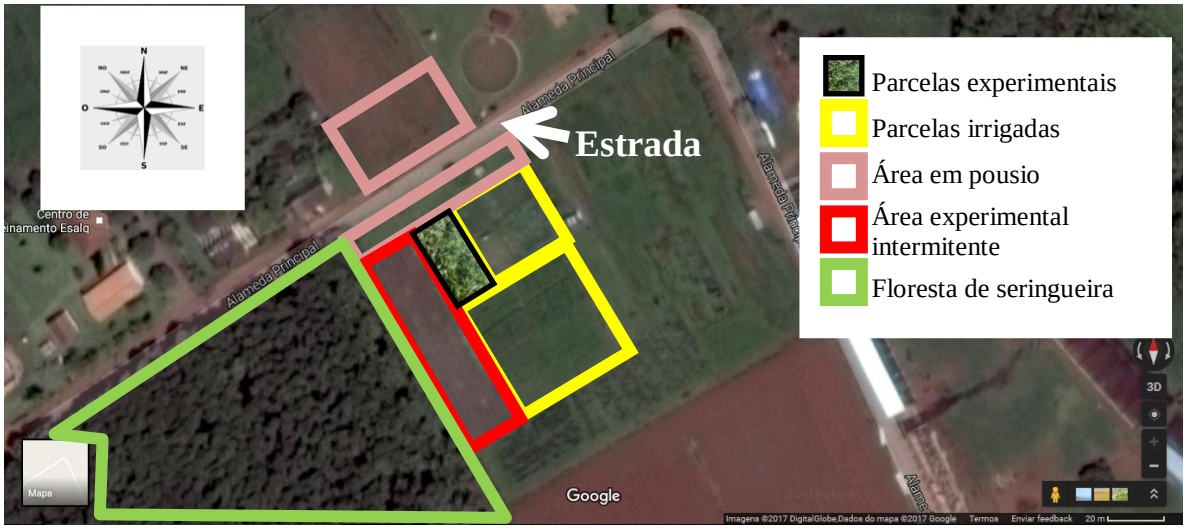



**Figura 18.** Caracterização das parcelas experimentais em relação aos experimentos e áreas ao lado: áreas em pousio; com experimentos irrigados; área experimental intermitente (descoberta até 29 de maio e após isso com cobertura de plantas forrageiras) e floresta de seringueira.

O período de análise começou com o corte de uniformidade, em 10 de fevereiro, e foi finalizado em 11 de outubro, no último ciclo de inverno do capim Marandu solteiro. Durante o período experimental houve interrupção na obtenção de dados dos lisímetros, por conta de uma chuva com raios que danificou algumas células de carga, ficando inativo por um período até a troca das mesmas.

Por conta disso, o lisímetro da Área 1 possui uma lacuna de dados de 22 de maio a 18 julho, o lisímetro da Área 2, de 23 de maio a 9 de junho e também de 8 a 20 de julho. Pereira et al. (2002) afirmam que problemas operacionais do lisímetro podem ocorrer em dias chuvosos ou com a presença de rajadas de vento.

Por meio da ETc foi calculado a de produtividade de água (PA) descrito na Equação 2.

$$PA = \frac{Prod.}{10\ ETc} \qquad (2)$$

Em que:

PA – Produtividade de água, em kg $m^{-3}$;

Prod. – Produtividade de forragem, em kg $ha^{-1}$ de MS;

ETc – Evapotranspiração de cultura, em mm.

A produtividade total de forragem foi determinada pela soma da massa de folhas e de colmos, ao final de cada ciclo de cultivo. Em cada corte, foram tomadas quatro amostras de 0,25 $m^2$ em cada parcela, utilizando-se de um gabarito de aço de 0,5 x 0,5 m. A forragem foi cortada com tesoura de poda, a 0,15 m do nível do solo, armazenada em sacos de papel, pesadas, secas em estufa a 65°C por 72 horas e pesadas novamente, convertendo-se o resultado para produtividade em kg $ha^{-1}$.

Os dados de Produtividade de água foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey pelo programa ASSISTAT 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

## 1.5. Resultados e discussão

Nas Figuras 19 e 20 estão apresentados os dados de ETo e $ETc_{A1}$ e $ETc_{A2}$ determinados durante a fase experimental com o auxílio dos lisímetros de pesagem.

Os maiores valores de ETc foram de 5,18 e 5,19 mm $dia^{-1}$, para os lisímetros A1 e A2 respectivamente. Bueno et al. (2009) estudaram o capim Tanzânia para épocas de analise semelhantes, porém com ciclos mais longos, obtendo a maior média de 6,65 mm $dia^{-1}$. Observa-se que os dados foram superiores aos dos autores citados, possivelmente pelo fato de trabalhar com dados diários diferentemente dos autores citados, que utilizaram médias de dez dias. Em outro estudo feito com capim Tanzânia em Montes Claros/MG, para um ano de ciclo, a evapotranspiração determinada por lisímetro de pesagem variou de 1,98 a 7,21 mm $dia^{-1}$ (BARBOSA; OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2015). Considerando que os menores valores medidos nos lisímetros A1 e A2 foram 1,18 e 1,28 mm $dia^{-1}$ respectivamente, os dados corroboram com os valores encontrados pelos autores citados.

Ambos os lisímetros apresentaram comportamento semelhante em acúmulo de evapotranspiração, porém percebe-se na Figura 21 que a Área 2 teve maior evapotranspiração acumulada em comparação a A1. Tal comportamento já era esperado e foi comprovado neste experimento. A partir do ponto vermelho no gráfico (Figura 21) iniciaram-se os ciclos de inverno, com diferença na composição entres as parcelas. Em A2 foi realizado um ciclo a mais de corte do que em A1, sendo ciclos menores devido ao fato das forrageiras sobressemeadas alcançarem o ponto de colheita antes do capim Marandu em cultivo solteiro.

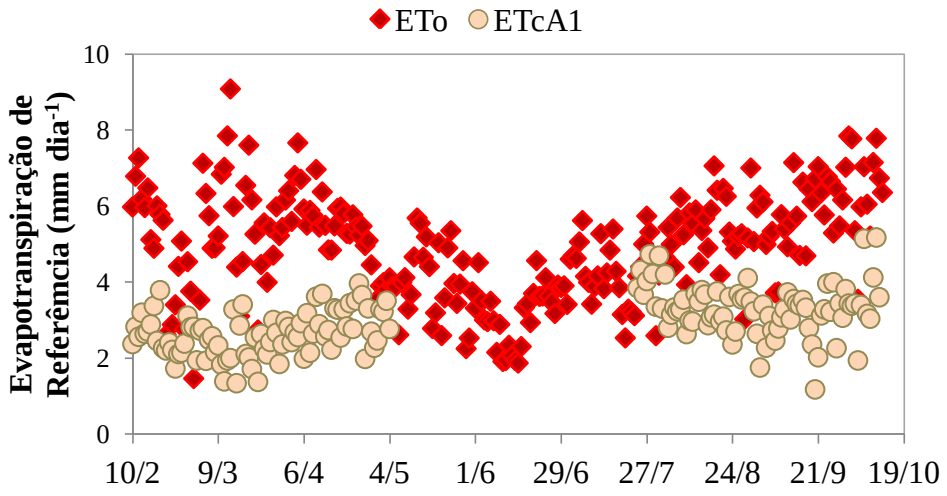



**Figura 19.** Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração de cultura calculada para Área 1.

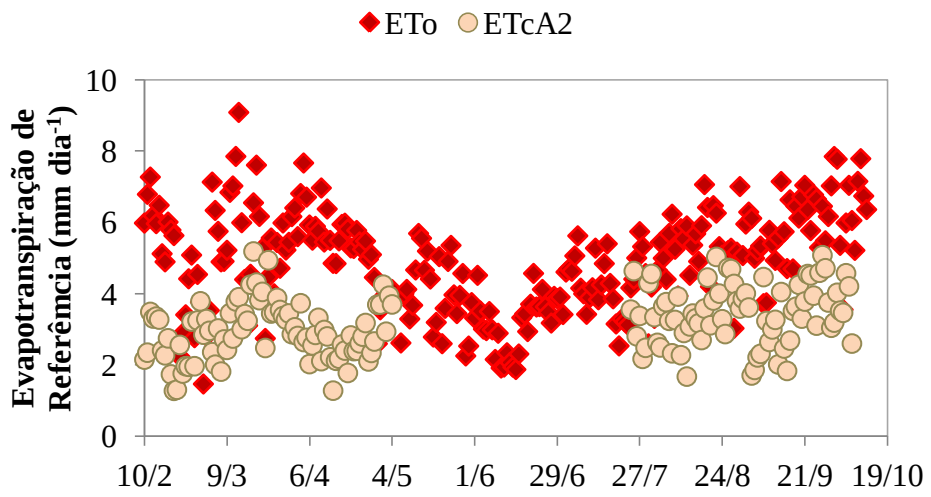



**Figura 20.** Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração de cultura calculada a partir do lisímetro da Área 2.

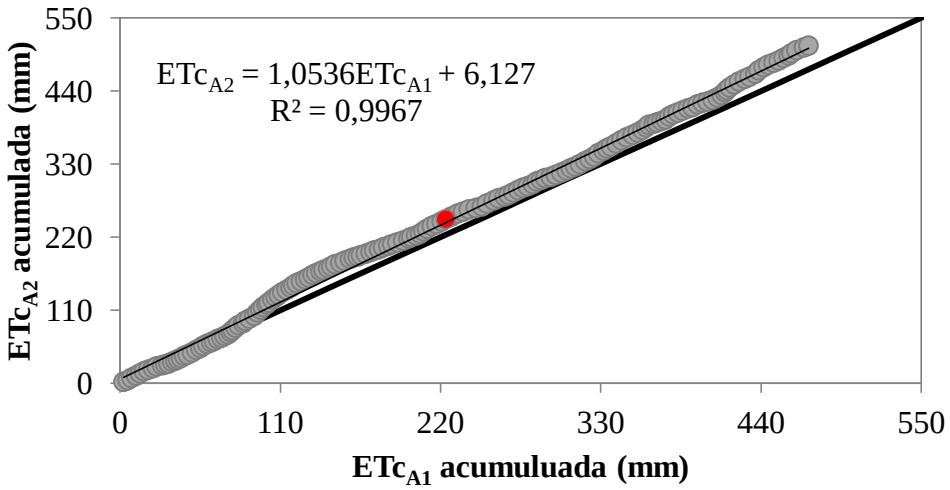



**Figura 21.** Relação de evapotranspiração acumulada para os dois lisímetros, dados presentes de ciclo inteiros.

Comparando a ETc acumulada e utilizando a equação do gráfico apresentado na Figura 21, estimou-se um consumo médio de água 8,5% superior na área A2, indicando que a sobressemeadura aumenta o uso de água no período de outono/inverno.

Além disso, a maior evapotranspiração acumulada para as pastagens sobressemeadas pode ser explicada pela diferença entre o acúmulo médio diário de forragem (AMDF) entre as áreas experimentais, apresentado Figura 22. A maior parte do aumento de AMDF é devida às folhas verdes e, consequentemente, há um aumento da área foliar e do consumo de água no lisímetro de A2.

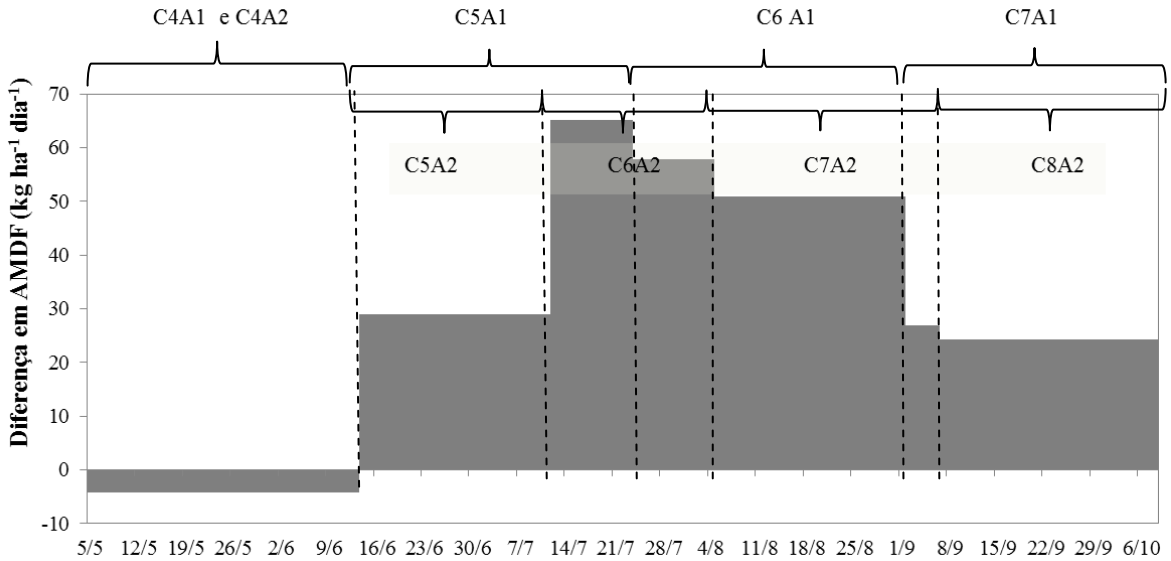



**Figura 22.** Diferença entre os acúmulos médios diários de forragem (AMDF) do sistema de cultivo consorciado em relação ao solteiro, durante o inverno e demonstração temporal de cada ciclo.

No ciclo 4, considerado como o primeiro ciclo de outono-inverno, quando as forrageiras de inverno foram implantadas. Inicialmente o cultivo consorciado teve menor acúmulo em comparação ao cultivo solteiro, sendo que a produtividade total de forragem (PTF) para o capim Marandu solteiro superou a do cultivo consorciado em 171,5 kg $ha^{-1}$ (Tabela 4). As forrageiras de inverno nesse período estavam em estabelecimento, sendo que as plantas de aveia constituíam a maior parte da massa de forragem de inverno e o azevém desenvolveu-se mais lentamente. Tal fato está em concordância com a afirmação de Carvalho et al. (2011), de que o pico de produção da forragem do azevém dá-se mais tardiamente que o da aveia preta, geralmente de Julho a Setembro.

A aveia preta apresenta uma ação alopática sobre a germinação de sementes de algumas espécies. Theisen, Vidal e Fleck, (2000) estudaram o efeito da cobertura do solo com

palhada de aveia preta e concluíram que esta suprimiu a germinação de sementes de *Urochloa plantaginea.* Tokura e Nóbrega (2006) encontraram efeito da aveia preta na redução de várias plantas infestantes. Essa influência pode ser explicada por barreira mecânica contra a germinação. Carvalho, Gustavo e Teixeira (2016) realizaram um experimento com extrato da palhada de várias forrageiras para testes em germinação de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sendo que a aveia-preta não teve influência sobre a taxa de germinação e crescimento das plantas. Porém, Hagemann et al. (2010) observaram que o uso de extratos da parte aérea de diferentes aveias provocaram redução na germinação e crescimento da radícula de azevém e amendoim-bravo.

Acredita-se que a menor produtividade se deu por dois motivos: demora no estabelecimento da aveia-preta e supressão de algumas plantas do capim Marandu quando foi realizada a sobressemeadura, pois após o lançamento das sementes realizou-se um pisoteio que pode ter influenciado na diferencia de padrão produtivo entre A1 e A2.

**Tabela 4.** Produção total de forragem para os ciclos de estudo.

| Ciclo | A1 | | A2 | |
|---|---|---|---|---|
| | Data | PTF (Kg ha$^{-1}$) | Data | PTF (Kg ha$^{-1}$) |
| 4 | 05/05 a 13/06 | 1998,83 | 05/05 a 13/06 | 1827,37 |
| 5 | 14/06 a 23/07 | 1318,70 | 14/06 a 11/07 | 1735,87 |
| 6 | 24/07 a 01/09 | 1617,30 | 12/07 a 04/08 | 2748,90 |
| 7 | 02/09 a 11/10 | 2570,50 | 05/08 a 5/09 | 2554,80 |
| 8 | ------- | ------- | 5/09 a 07/10 | 2476,80 |

Olivo et al. (2010) avaliaram a produção do azevém em período de outono/inverno, tendo observado aumento de produção do mesmo a partir do segundo corte, que foi ainda maior a partir do terceiro ciclo. Tal observação corrobora com o padrão encontrado neste experimento, no qual o terceiro ciclo de sobressemeadura (C6A2) apresentou diferença média de AMDF de PTF 61,48 kg ha$^{-1}$ dia$^{-1}$, ou 1475,52 kg ha$^{-1}$ no ciclo (24 dias).

Considerando essa diferença de AMDF e um bovino com consumo de 11 kg dia$^{-1}$ de MS, uma área de pastagem com capim Marandu com sobressemeadura nessas condições poderia sustentar 5,6 animais ha$^{-1}$ a mais que uma área de cultivo solteiro. Os dados da Tabela 1 permitem observar que tal aumento da taxa de lotação seria de 168%. Na média do período de outono/inverno, a diferença de AMDF entre as áreas sobressemeada e de cultivo solteiro foi equivalente a 28,34 kg ha$^{-1}$, suficiente para sustentar 2,58 animais ha$^{-1}$, que representa um aumento de 60% na taxa de lotação animal.

Nos demais ciclos, a pastagem sobressemeada teve maior acúmulo em relação à pastagem solteira, aumentando bruscamente do quinto ao sexto ciclo, por conta da presença expressiva do azevém e explicando a maior evapotranspiração total nessa área. A diferença do AMDF caiu no sétimo ciclo devido à redução da população de aveia preta.

Nas Figuras 23 e 24 são apresentados os coeficientes de cultura (Kc) determinados com os dados dos lisímetros de pesagem, conforme os ciclos de cultivo possíveis de serem calculados. Os valores mínimos e máximos para ambos os lisímetros foram de 0,23 e 1,09 para A1, e 0,36 e 1,24 para A2. O maior Kc estimado para A1 ocorreu no primeiro e sexto ciclo e para A2, no primeiro ciclo de cultivo.

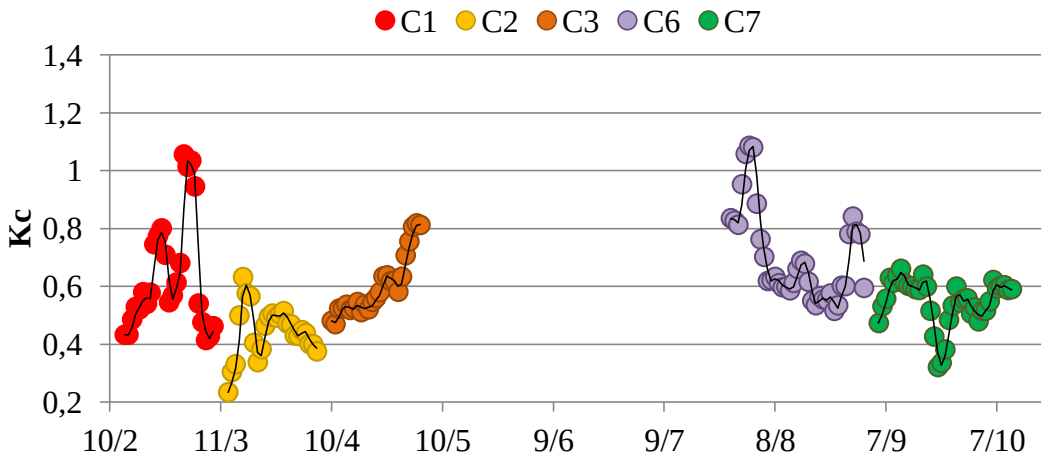



**Figura 23.** Coeficientes de cultura calculados a partir do lisímetro da Área 1, separados por ciclos de cultivo.

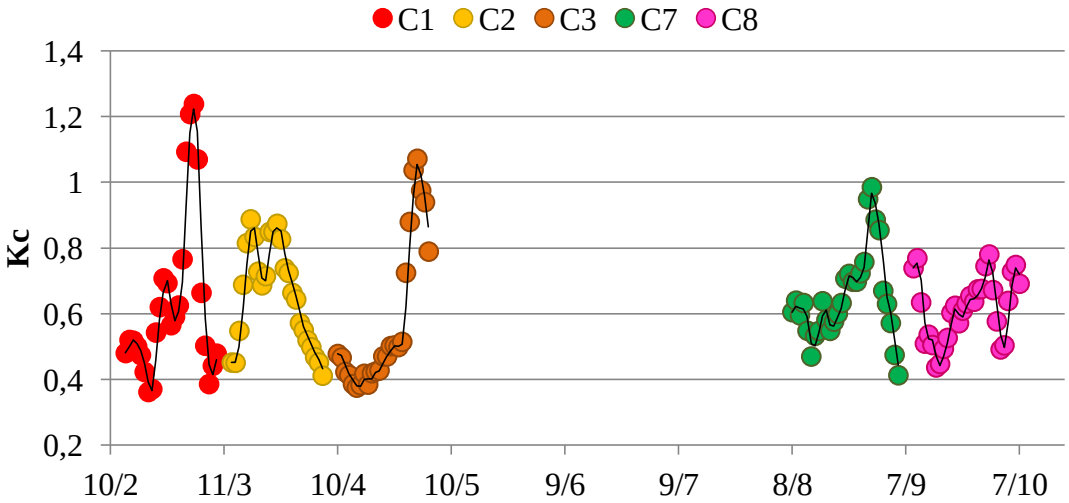



**Figura 24.** Coeficientes de cultura calculados a partir do lisímetro da Área 2 separados por ciclos de cultivo.

Pelos gráficos observa-se que o Kc máximo atingido para cada ciclo ocorreu em diferentes dias e com amplitude variada. Observou-se que o primeiro ciclo da A2 teve seu pico maior que em A1. Comparando com dados experimentais de Kc em forrageiras tropicais obtidos de vários trabalhos, foram citados valores máximos de 1,04 a 1,25 para o capim Tanzânia, 1,04 a 1,54 para o capim Mombaça e 1,33 para *Urochloa brizantha* cv. Piatã (LOURENÇO et al., 2001; GARGANTINI et al., 2005; BUENO et al., 2009; ANTONIEL et al., 2016). Dessa maneira, os valores encontrados nesse experimento estão dentro dessa faixa.

Com relação aos dados obtidos no primeiro ciclo em A2, possivelmente o solo exposto ao redor do lisímetro e a estabilização do solo dentro da caixa lisimétrica estavam em condições diferentes da encontrada em A1. Nota-se claramente, que os ciclos finais ambos lisímetros apresentaram comportamento similares.

Para recomendação do Kc deve-se atentar aos elementos climáticos, uma vez que, pelo comportamento dos gráficos apresentado nas Figuras 23 e 24, com a diminuição da temperatura e a mudança da estação de verão para o outono os ciclos de cultivos atingiram o Kc máximo mais tardiamente. Isso reflete também no manejo, pois no ciclo C1 o corte ideal poderia ser realizado a partir dos 22 dias, quando o capim apresentou a maior demanda por água. Após esse período o Kc tendeu a diminuir, significando que as plantas estavam acumulando menos massa verde e, possivelmente, iniciou-se a senescência de folhas. O mesmo aconteceu no segundo ciclo. No terceiro ciclo o corte aos 28 dias foi ideal, com Kc máximo atingido ao final do ciclo.

Analisando a produtividade de água (kg MS $m^{-3}$), em A1 os ciclos apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 1% de significância ($p<0,01$). O sexto ciclo (C6) ocorreu no fim do inverno e diferiu de todos os ciclos anteriores, caracterizando claramente a estacionalidade de produção e consequente redução de PA. O ciclo seguinte (C7) ainda apresentou efeito da estacionalidade, porém, já teve resultados superiores de PA.

Dentre os ciclos de A2 não houve diferença significativa de PA (Figura 25), ou seja, a sobressemeadura alcançou níveis produtivos por consumo semelhantes aos ciclos de verão e início de outono quando a parcela estava somente ocupada pelo Capim Marandu.

Dessa forma, pode-se recomendar a utilização dos valores de Kc, obtidos em A1 para época de verão e início de outono e os valores obtidos em A2 para os ciclos de outono/inverno, em área irrigadas com uso de sobressemeadura.

Quando as plantas de capim Marandu estavam em processo de estacionalidade de produção o Kc máximo alcançado foi de 1,09 (Figura 23). Nesse mesmo ciclo (C6), a PA foi igual a 1,18 kg $m^{-3}$, isso esclarece que o capim solteiro nessa época é exigente em água,

porém sua utilização não é eficiente por produzir pouca matéria seca em relação à demanda hídrica.

Artur, Garcez e Monteiro (2014) estudaram o a produtividade de água do capim Marandu em experimento a vaso, encontrando valores entre 1,07 e 2,27 kg $m^{-3}$ dependente da dose de Nitrogênio e Fósforo aplicados. Nesse estudo, somente o ciclo 6 não esteve dentro desse intervalo, comprovando novamente a baixa produção durante o ciclo estacional.

Molden et al. (2010) estimaram a produtividade de água (PA) padrão para trigo variando de 0,2 a 1,2 kg $m^{-3}$. Outros autores determinaram a PA para aveia no outono, inverno e primavera em dois anos de cultivo, sendo que os valores foram maiores no outono (1,81 a 2,52 kg $m^{-3}$) e menores na primavera (0,93 a 1,55 kg $m^{-3}$), comprovando novamente que a produção da aveia é mais concentrada na fase inicial após a diminuição da temperatura do ar. Característica diferente foi encontrada no azevém, onde os mesmos autores obtiveram maiores PA no inverno em relação a outras duas estações (NEAL; FULKERSON; HACKER, 2011).

Rawnsley et al. (2009) estudaram diferentes lâminas de irrigação na cultura do azevém perene na Tasmânia, e observaram uma produtividade de água igual a 1,10 kg $m^{-3}$ para a lâmina considerada 100% da evapotranspiração.

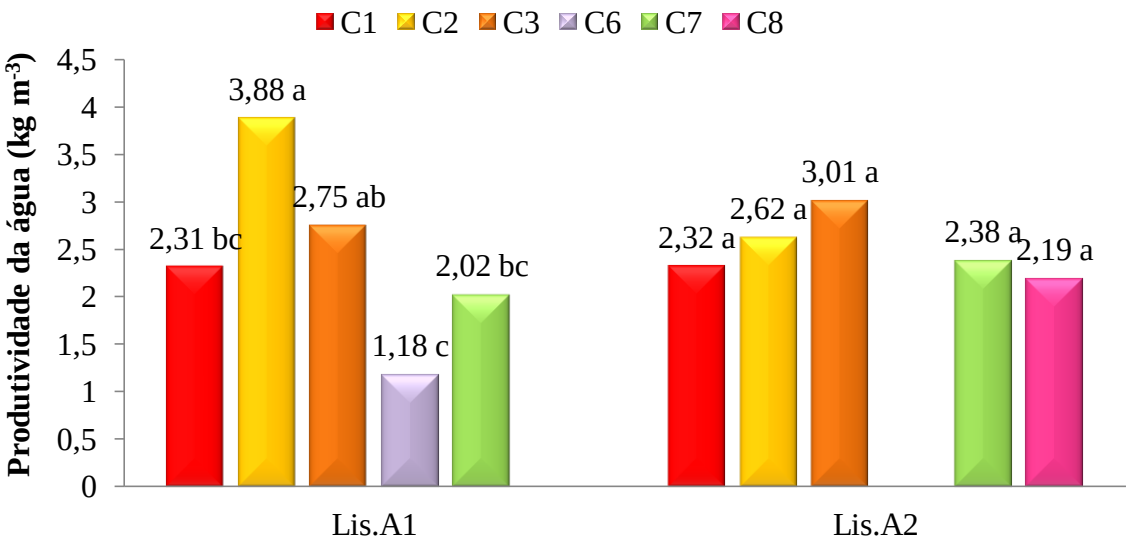



**Figura 25.** Produtividade da água nos lisímetros A1 e A2, em diferentes ciclos de crescimento. Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).

## 1.6. Conclusões

O capim Marandu com sobressemeadura de aveia preta e azevém apresentou maior consumo de água em relação ao capim Marandu solteiro durante o período estacional.

No lisímetro da área 2, não houve diferença significativa da produtividade de água entre o período do consórcio de capim Marandu com aveia preta e azevém e o período do cultivo solteiro.

O Kc para o capim Marandu para o período de verão e início de outono variou de 0,23 a 1,24. Para o período de inverno em pastagem tropical solteira foram encontrados valores de Kc de 0,32 a 1,09, para o capim Marandu com sobressemeadura, de 0,41 a 0,99.

## Referências

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

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.

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

ARTUR, A. G.; GARCEZ, T. B.; MONTEIRO, F. A. Water use efficiency of marandu palisadegrass as affected by nitrogen and sulphur rates. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 10–17, 2014.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. DE. Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) do capim Tanzânia no norte de Minas Gerais. **Irriga**, v. Edição Esp, n. IRRIGA e INOVAGRI, p. 11–20, 2015.

BENES, S. E.; ADHIKARI, D. D.; GRATTAN, S. R.; SNYDER, R. L. Evapotranspiration potential of forages irrigated with saline-sodic drainage water. **Agricultural Water Management**, v. 105, p. 1–7, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.11.019>.

BUENO, M. R.; TEODORO, R. E. F.; ALVARENGA DE, C. B.; GONÇALVES, M. V. Determinação do coeficiênte de cultura para o capim tanzânia. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, p. 29–35, 2009.

CAMPECHE, L. F. M. de S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte; Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 519–525, 2011.

CARVALHO, W. P. De; GUSTAVO, L.; TEIXEIRA, V. Alelopatia de resíduos de plantas de cobertura no controle de braquiária cv . Marandu. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, n. 2, p. 60–69, 2016.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ5, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, Calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agricola**, v. 27, n. 2, p. 363–372, 2007.

CARVALHO, P. C. de F.; SANTOS, D. T. dos; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A. de; NABINGER, C. Forrageiras de Clima Temperado. In: FONCESA, D. M. DA; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas Forrageiras**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. p. 537.

DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; MATOS, J. de A.; GUERRA, H. O. C. Necessidades hídricas e eficiência de uso de água pelo capim Buffel. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 25–28, 1996.

DANTAS, G. D. F.; FARIA, R. T. DE; SANTOS, G. O.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 469–481, 2016.

DE SOUZA, A. P.; DE LIMA, M. E.; DE CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 7, n. 1, p. 142–149, 2012.

DE SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; DA SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; DE CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 15–22, 2011.

FLUMIGNAN, D. L. .; DIOTO, A. V. .; FOLEGATTI, M. V. .; LENA, B. P. .; ATARASSI, R. T. Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso: I) Construção e calibração. **XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola / X Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola**, 2012.

GAO, Y.; YANG, L.; SHEN, X.; LI, X.; SUN, J.; DUAN, A.; WU, L. Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): Crop coefficients, water-use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 1–10, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.010>.

GARGANTINI, P. E.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Irrigação e adubação nitrogenada em capim Mombaça na região oeste do estado de São Paulo. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, **Anais**...2005.

HAGEMANN, T. R.; BENIN, G.; LEMES, C.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N.; PAGLIOSA, E. S.; BECHE, E. Potencial alelopático de extratos aquosos foliares de aveia sobre azevém e amendoim-bravo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 509–518, 2010.

LENA, B. P.; FARIA, R. T. de; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G. dos. Performance of SMA-C model on crop evapotranspiration estimation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1894–1901, 2016. Disponível em: <http://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/5A9AFF358703>.

LENA, B. P.; FLUMIGNAN, D. L.; DE FARIA, R. T. Evapotranspiração e coeficiente de

cultivo de cafeeiros adultos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 905–911, 2011.

LOPES, M. N.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G. da; FILHO, J. G. L. R.; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim-braquiária manejado, sob lâminas de irrigação e idadades de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 490–500, 2014.

LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D.; SORIA, L. G. T.; PINHEIRO, V. D. Coeficiente de cultura (Kc) do capim Tanzânia (Panicum maximum Jacq) irrigado por pivô central. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: SBZ, 2001.

MARIANO, D. C.; FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L. de; LENA, B. P.; JOHANN, A. L. Construction and calibration of a bar weighing lysimeter. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 271, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/19368>.

MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a Brachiaria brizantha pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 2, p. 206–213, 2011.

MOLDEN, D.; OWEIS, T.; STEDUTO, P.; BINDRABAN, P.; HANJRA, M. A.; KIJNE, J. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 528–535, 2010.

NASCIMENTO, E. F. do; CAMPECHE, L. F. de S. M.; BASSOI, L. H.; SILVA, J. A.; LIMA, A. C. M.; PEREIRA, F. A. de C. Construção e calibração de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo em videura de vinho cv. Syrah. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 271–287, 2011.

NEAL, J. S.; FULKERSON, W. J.; HACKER, R. B. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 5, p. 759–774, 2011.

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

PEREIRA, A. R.; SANTIADO, A. V.; MAGGIOTO, S. R.; FOLEGATTI, M. V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 51–56, 2002.

PURCELL, L. .; CURREY, A. Gaining acceptance of water use efficiency framework, terms and definitions. **Land Water Australia**, 2003.

RAWNSLEY, R. P.; CULLEN, B. R.; TURNER, L. R.; DONAGHY, D. J.; FREEMAN, M.; CHRISTIE, K. M. Potential of deficit irrigation to increase marginal irrigation response of perennial ryegrass (Lolium perenne L.) on Tasmanian dairy farms. **Crop and Pasture Science**, v. 60, n. 12, p. 1156–1164, 2009.

SCHRADER, F.; DURNER, W.; FANK, J.; GEBLER, S.; PÜTZ, T.; HANNES, M.; WOLLSCHLÄGER, U. Estimating Precipitation and Actual Evapotranspiration from

Precision Lysimeter Measurements. **Procedia Environmental Sciences**, v. 19, p. 543–552, 2013. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029613003319>.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C. **Área foliar e coeficiente milho-braquiária irrigado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2014. v. 316

SILVA, L. D. B. DA; FOLEGATTI, M. V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 705–712, 2005.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, p. 71–78, 2002.

THEISEN, G.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Redução da infestação de brachiaria plantaginea em soja pela cobertura do solo com palha de aveia-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 753–756, 2000.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. January, p. 379–384, 2006.

VOLTOLINI, T. V.; MISTURA, C.; SANTOS, B. R. C. dos; BEZERRA, A. P. A.; SIMÕES, W. L.; SOUZA, R. A.; PEREIRA, L. G. R. Produção de ruminantes em pastagens irrigadas. In: II Simpósio de Produção Animal do Vale do São Francisco, **Anais**...2009.

# 2. ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA PARA *Urochloa brizantha* CV. MARANDU COM SONDA FDR EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO.

## 2.1. Resumo

Comumente os lisímetros de pesagem são utilizados para determinação da evapotranspiração das culturas, sendo considerando um método eficiente e conceituado em diversas localidades do mundo. Entretanto, um dos grandes entraves para a determinação das necessidades hídricas das culturas pelos lisímetros de pesagem está no alto custo de investimento, instalação e manutenção, o que o torna inviável à caracterização ampla em diferentes localidades. As sondas capacitivas são aparelhos com alto custo de investimento, porém possuem a vantagem da mobilidade, podendo ser utilizadas em várias áreas com apenas um modulo de coleta. Dessa maneira, são necessários estudos para verificação do uso dessa técnica na determinação de consumo de água pelas plantas forrageiras. O objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de uma sonda FDR para estimativa do consumo de água de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em dois sistemas de cultivo. O trabalho foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) durante ciclos de corte do capim Marandu. Os dados de umidade do solo foram coletados a campo por meio da sonda capacitiva Diviner®, e foram utilizados para calcular a variação do armazenamento de água no solo, bem como para fazer o balanço hídrico das culturas. Os dados de coeficiente de cultura (Kc) estimados pelas sondas capacitivas foram correlacionados com os determinados nos lisímetros e, de modo geral, as correlações foram significativas ($p<0,01$). Entretanto, as estimativas feitas com a sonda diferiram daquelas feitas com os lisímetros, subestimando ou superestimando valores de Kc, de acordo com o ciclo de crescimento estudado. A sonda FDR foi eficiente na obtenção de dados para calcular a produtividade de água, porém as estimativas foram maiores que as obtidas com os lisímetros.

**Palavras-chaves:** Sonda capacitiva; Consumo de água; Coeficiente de cultura

## 2.2. Abstract

Weighing lysimeters are commonly used to determine the crops evapotranspiration, being considered an efficient, well reputed method in several places around the world. However, one of the major obstacles to the determination of crops water needs by weighing lysimeters is the high cost of investment, installation and maintenance that turn them not feasible for a broad use in different locations. Capacitive probes are devices with high investment costs, but they have the advantage of mobility, and can be used in several areas with only one collection module. Thus, there is a need for studies to verify the accuracy of this technique in the determination of crop water consumption by forage plants. The objective of this work was to evaluate the use of a FDR probe to estimate the crop water consumption of *Urochloa brizantha* cv. Marandu under two cropping systems. The work was carried out at the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (ESALQ / USP), during the cutting cycles of Marandu grass (*U. brizantha*). Soil moisture data were collected in the field by using the Diviner® capacitive probe, and were used to calculate variations on the soil water storage, as well as to make the crops water balance. The crop coefficient (Kc) data estimated by the capacitive probes were correlated with the determined lysimeters, and generally, the correlations were significant ($p <0.01$). However, the probe estimates were different to the

lysimeters estimates, underestimating or overestimating the Kc values, according to the crop growing cycle considered. The FDR probe for determination was efficient on the data collection for calculating the water productivity, but the estimates were higher than those obtained with the lysimeters.

**Keywords:** Capacitive probe; Water consumption; Crop coefficient

## 2.3. Introdução

Medir ou estimar o consumo de água das plantas é o ponto básico para o manejo de irrigação, que pode ser realizado por vários métodos. Entre eles, há os que acompanham a variação da umidade do solo na zona radicular, os quais se apresentam como alternativa à determinação realizada por lisímetros, por esses apresentarem alto custo de implantação e um elevado esforço de manutenção (HOFFMANN et al., 2016).

A análise do armazenamento de água nos solo pode ser realizada por métodos diretos e indiretos (PRIMO et al., 2015). A determinação gravimétrica é um exemplo de método direto, e dentro dos indiretos podem ser citados: dispersão de nêutrons, capacitância, reflectometria no domínio do tempo (TDR), reflectometria no domínio da frequência (FDR) e a medição do potencial hídrico da água do solo (ANDRADE JUNIOR; SILVA; DANIEL, 2007; ALLEN et al., 2011). A FDR baseia-se na constante dielétrica do solo (K) e tem sido bastante utilizada na pesquisa por conta da sua precisão (SILVA; ANDRADRE JÚNIOR; SOUZA, 2008).

O método mais acessível a todos os usuários é a determinação direta com amostragens de solo (gravimetria), sendo preciso e confiável. Entretanto, apresenta algumas limitações, como o tempo de obtenção dos resultados, uma vez que a retirada das amostras acontece 1 ou 2 dias após um evento de precipitação ou irrigação (estabilização da drenagem no solo) e após isso as amostras precisam ser secas em estufas por 24 horas (ALLEN et al., 2011).

A grande vantagem dos métodos indiretos é que eles estimam a umidade a partir de propriedades físicas do solo, o que permite muitas leituras em um mesmo local sem a destruição do solo devido à retirada de amostras (SOUZA et al., 2016). Ao utilizar uma sonda FDR, o sensor utilizado é introduzido em tubos instalados verticalmente no perfil do solo, sem movimentação do perfil do solo fora do tubo (EVETT et al., 2012).

O princípio básico de funcionamento dá-se por meio de um campo elétrico de alta frequência formado pelo sensor. Esse campo elétrico é alterado conforme a quantidade de moléculas de água presente no meio (FRANCISCO et al., 2014). Apresenta a vantagem da mobilidade em relação aos lisímetros, pois apenas o tubo de acesso é fixo e o módulo de

coleta é móvel, podendo ser utilizado em diversos locais. A sonda Diviner 2000® é um exemplo de sensor FDR.

Entretanto, esse método apresenta algumas características que podem levar a erros de estimativa. Dentre elas, a variabilidade espacial e vertical da densidade do solo com o crescimento da zona radicular da cultura e diferenças no molhamento do solo devido à variação da precipitação pluvial ou da irrigação, que pode levar a superestimativas de adição de água (EVETT; TOLK; HOWELL, 2006). Além disso, podem ser encontrados outros problemas relacionados à instalação e ao uso dos equipamentos. Por exemplo, o pisoteio de plantas ao redor do tubo de acesso. Isso pode levar à alteração na infiltração de água no solo nesse local, obtendo uma estimativa não representativa evapotranspiração (ALLEN et al., 2011).

Existem vários trabalhos com calibração das sondas FDR para utilização em diversos tipos de solo, a fim de utilizar a técnica para manejo de água com sistema de irrigação em trabalhos de pesquisa (ANDRADE JUNIOR; SILVA; DANIEL, 2007; SILVA et al., 2007; LIMA FILHO; COELHO FILHO; COELHO, 2013; SOUZA et al., 2013; FRANCISCO et al., 2014; PRIMO et al., 2015). Entretanto, essa tecnologia pode ser aproveitada para estudos de consumo de água das plantas, de modo a gerar padrões acessíveis de aplicação e, inclusive, estimar coeficientes de cultura. Esse tipo de sonda apresenta alto custo de investimento e raramente é utilizado em meios externos à pesquisa.

Silva et al. (2012) utilizaram a sonda capacitiva Diviner para calcular a evapotranspiração de duas variedades de cana-de-açúcar no município de Campinas, SP. Oliveira et al. (2016) estudaram cana-de-açúcar e calcularam a extração diária de água pelas plantas na época de maturação da cultura, relacionando-a com a profundidade efetiva de raízes.

Além da caracterização da utilização de água pelas plantas, as sondas FDR podem ser utilizadas para monitorar a utilização dos recursos hídricos para conversão em biomassa pela planta no processo fotossintético (STEDUTO; HSIAO; FERERES, 2007). Essa relação é calculada pelo termo denominado de Produtividade de Água (PA), representando um parâmetro ótimo de avaliação (RAGAB, 2014).

A comparação do uso da técnica de FDR por meio do balanço hídrico de água no solo com outros métodos de determinação visa identificar o potencial do uso da sonda capacitiva como método de determinação do consumo de água pelas plantas. Nesse sentido esse trabalho tem como objetivo avaliar o uso de uma sonda FDR para estimar o consumo de água de

*Urochloa brizantha* cv. Marandu em dois sistemas de cultivo, solteiro e consorciado com forrageiras de inverno.

## 2.4. Material e métodos

O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) no município de Piracicaba/SP. Utilizaram-se duas parcelas com tamanho unitário de 144 m², e dentro de cada parcela foram instalados três tubos de acesso para coleta de dados com a sonda capacitiva. Ao centro de cada parcela há um lisímetro de pesagem, que foi utilizado para comparação de resultados (Figura 26).

Uma das parcelas foi composta por *Urochloa brizantha* cv. Marandu durante todo o período analisado (7 de abril a 11 de outubro) e a segunda parcela foi composta pela mesma cultura, porém foi realizada a sobressemeadura com aveia preta e azevém no dia 4 de maio. Entre esse intervalo de analises foram realizados 5 ciclos de corte do capim Marandu solteiro, com duração individual de 40 dias, na área 1 (A1), e 6 ciclos de período variável na segunda parcela (A2), conforme o crescimento das forrageiras sobressemeadas (28, 40, 28, 24, 32 e 32 dias). Detalhes referentes aos ciclos estão apresentados na Figura 27.

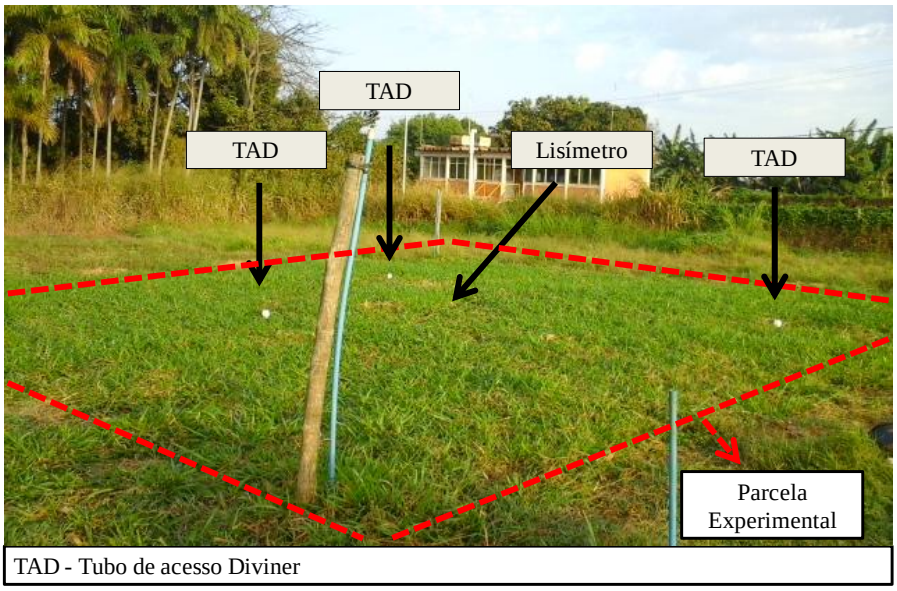



**Figura 26.** Representação de uma parcela experimental: tubos de acesso para as sondas (TAD) e o lisímetro.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho eutroférrico latossólico (SANTOS et al., 2013a). Até a profundidade de 0,4 m (maior concentração de raízes), o solo apresenta teores médios de 32,5% de areia, 18,95% de silte e 48,55% de argila.

A área experimental foi irrigada pelo método de aspersão convencional, conforme as necessidades da cultura, determinada pelo consumo registrado no lisímetro de pesagem. Ao todo foram aplicados 315 e 335 mm de água via irrigação nas áreas A1 e A2, respectivamente, e houve uma precipitação pluvial acumulada de 352,8 mm (Figura 27).

A sonda capacitiva utilizada foi a FDR modelo Diviner® (Sentek), com haste de 1,6 m de comprimento. Neste estudo, foram instalados tubos de acesso Diviner (TAD), feitos de PVC e com diâmetro específico para a sonda, conforme as recomendações do fabricante. Cada tubo instalado teve comprimento de 0,9 m, com capacidade de leitura até a profundidade de 0,7 m.

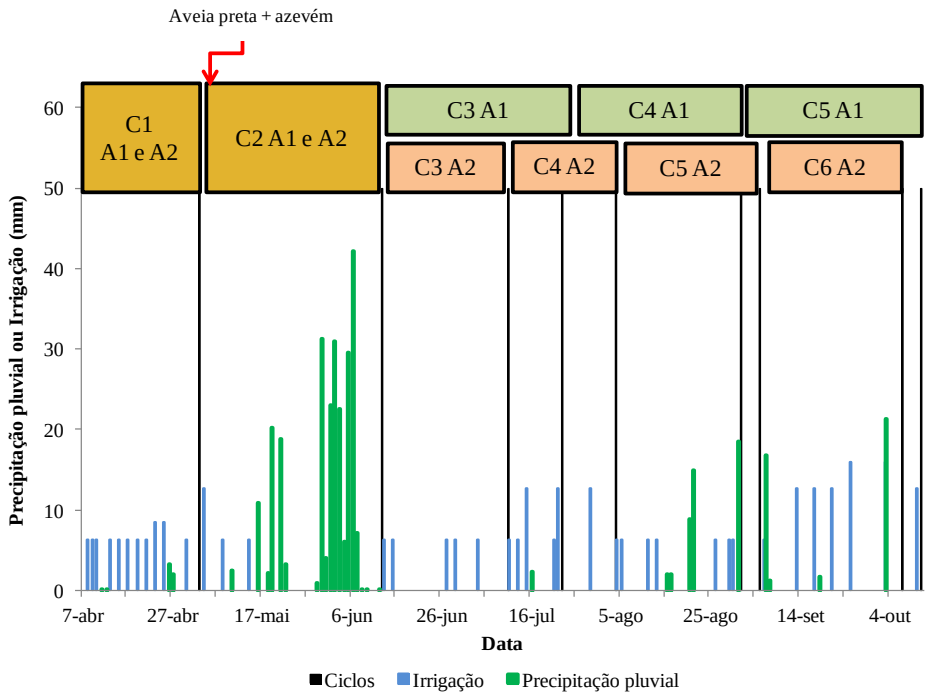



**Figura 27.** Irrigação e Precipitação pluvial durante o experimento e demonstração dos ciclos de cultivo.

Antes da calibração, a sonda capacitiva foi normalizada por conta de existirem diferenças de leitura entre os equipamentos fabricados. Esse procedimento baseia-se em medir os pontos máximo e mínimo de frequência de oscilação que podem ser gerados pela sonda no solo. O ponto máximo dá-se quando o meio apresenta somente água e o mínimo quando só existe ar, gerando assim uma Fw (*Water Frequency*) e Fa (*Air Frequency*) (SENTEK, 2011).

Inserida no solo, a sonda emitirá uma frequência de oscilação do solo (Fs), que é convertida a frequência relativa (*Scaled Frequency* – SF) por meio da programação do aparelho, conforme demonstra a Equação 1.

$$SF = \frac{(Fa - Fs)}{(Fa - Fw)} \quad (1)$$

Em que,

SF - Frequência Relativa, adimensional;
Fa - Frequência de oscilação do ar, em MHz;
Fs - Frequência de oscilação do solo, em MHz;
Fw - Frequência de oscilação da água, MHz

A calibração da sonda foi feita para o solo da área experimental conforme recomendação do fabricante, em cinco momentos com umidades do solo distintas, variando de 10 a 50% da umidade à base de volume. A conversão de SF em umidade volumétrica (θ) encontra-se na Equação 2.

$$\theta = 50{,}417\ SF^{3{,}07882} \quad (2)$$

Em que,

θ - Umidade volumétrica (%)
SF - Frequência Relativa, adimensional

Inicialmente, as leituras com a sonda Diviner foram realizadas diariamente a fim de verificar o intervalo ideal entre leituras. Com a observação dos resultados, concluiu-se que as variações de umidade permitiam a coleta de dados em intervalos de quatro dias que foram adotados como padrão.

Após a conversão dos dados de SF para θ (Equação 3), foi calculada a evapotranspiração da cultura por meio do balanço de água no solo, representado na Equação 3, adaptada a partir da citação de Evett et al. (2012).

$$ETc = -\Delta S + P + I - R + F \quad (3)$$

Em que,

ETc – evapotranspiração da cultura, em mm $dia^{-1}$

ΔS – variação do armazenamento de água no solo, em mm $dia^{-1}$

P – precipitação pluvial, em mm $dia^{-1}$

I – irrigação, em mm $dia^{-1}$

R – escoamento superficial, em mm $dia^{-1}$

F – fluxo de água no solo, em mm $dia^{-1}$

O escoamento superficial foi desprezado, uma vez que as parcelas experimentais possuíam baixa declividade e as aplicações das lâminas de irrigação foram calculadas adequadamente a fim de evitar esse escoamento. O fluxo de água no solo acontece quando em

determinada profundidade há aumento da umidade sem nenhuma entrada (precipitação ou irrigação), dado então pelo fluxo lateral de água ou ascensão capilar (EVETT et al., 2012).

Considerou-se a umidade em uma camada de 0,7 m de solo, devido à profundidade de medição possibilitada pelos tubos de acesso. Portanto, a umidade que passou abaixo dessa profundidade foi considerada como drenagem profunda no balanço de água no solo.

Foram utilizados os dados do Posto Meteorológico da ESALQ para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) com o modelo de Penman-Monteith, de acordo com a recomendação dada no Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Com os valores acumulados de ETo e ETc por ciclo foram propostos valores de Kc para as diferentes fases dos ciclos do capim Marandu solteiro e sobressemeado.

Com os dados de ETc e produtividade final de cada ciclo das áreas foi calculada a produtividade de água (PA) descrita na Equação 4.

$$PA = \frac{\text{Prod.}}{10\ \text{ETc}} \tag{4}$$

Em que:

PA – Produtividade de água, em kg $m^{-3}$;

Prod. – Produtividade de forragem, em kg $ha^{-1}$ de MS;

ETc – Evapotranspiração de cultura, em mm.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey com o auxílio do programa ASSISTAT 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

## 2.5. Resultados e discussão

Em virtude da perda de dados oriundos dos lisímetros de pesagem, foram comparados os ciclos que apresentavam dados de coeficiente de cultura (Kc) estimados por meio do lisímetro de pesagem e pelas três repetições de coleta da sonda FDR ($TAD_1$ a $TAD_6$). Dessa forma, para a área 1 ($A_1$) foram avaliados os ciclos 1, 4 e 5 (Tabela 5), e para área 2 ($A_2$), os ciclos 1, 5 e 6 (Tabela 6).

**Tabela 5**. Teste de correlação simples entre as variáveis por ciclo de cultivo para a área 1.

| Ciclo | C1 A1 | | C4 A1 | | C5 A1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Correlação | Coef. Corr (r) | Signif | Coef. Corr (r) | Signif | Coef. Corr (r) | Signif |
| $Lis_{A1}$ x $TAD_1$ | 0,7690 | ** | 0,0020 | ns | 0,5032 | ** |
| $Lis_{A1}$ x $TAD_2$ | 0,6518 | ** | -0,1098 | ns | 0,3601 | * |
| $Lis_{A1}$ x $TAD_3$ | 0,7991 | ** | -0,0020 | ns | 0,6002 | ** |
| $TAD_1$ x $TAD_2$ | 0,8434 | ** | 0,6779 | ** | 0,9402 | ** |
| $TAD_1$ x $TAD_3$ | 0,8195 | ** | 0,8036 | ** | 0,8928 | ** |
| $TAD_2$ x $TAD_3$ | 0,6570 | ** | 0,8126 | ** | 0,8384 | ** |

ns - não significativo * - significativo ao nível $\alpha$ = 5%
** - significativo ao nível $\alpha$ = 1%

**Tabela 6.** Teste de correlação simples entre as variáveis por ciclo de cultivo para a área 2.

| Ciclo | C1 A2 | | C5 A2 | | C6 A2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Correlação | Coef. Corr (r) | Signif | Coef. Corr (r) | Signif | Coef. Corr (r) | Signif |
| $Lis_{A2}$ x $TAD_1$ | -0,5318 | ** | -0,1145 | ns | -0,1995 | ns |
| $Lis_{A2}$ x $TAD_2$ | 0,0536 | ns | -0,0449 | ns | 0,1109 | ns |
| $Lis_{A2}$ x $TAD_3$ | 0,8291 | ** | 0,0104 | ns | 0,2189 | ns |
| $TAD_1$ x $TAD_2$ | 0,7310 | ** | 0,8296 | ** | 0,9155 | ** |
| $TAD_1$ x $TAD_3$ | -0,1675 | ns | 0,8597 | ** | 0,6820 | ** |
| $TAD_2$ x $TAD_3$ | 0,3255 | ns | 0,9731 | ** | 0,6770 | * |

ns - não significativo
* - significativo ao nível alfa igual a 5%
** - significativo ao nível alfa igual a 1%

Foi realizado o teste de correlação simples entre os valores de Kc determinados pelo lisímetro e os determinados com a sonda FDR em cada tubo de acesso Diviner ($TAD_1$ a $TAD_3$ em $A_1$; $TAD_4$ a $TAD_6$ em $A_2$), comparando os resultados por meio do teste t de Student para verificar se os valores determinados em ambos os métodos possuíam comportamento linear e significativo.

Na área $A_1$, a correlação dos valores de Kc obtidos no lisímetro ($Lis_{A1}$) e nos tubos de acesso do Diviner ($TAD_1$ a $TAD_3$) foi significante nos ciclos $C_1$ ($\alpha$ = 1%) e $C_5$ ($\alpha$ = 1% e 5%). Neste ciclo, os valores determinados no $TAD_3$ foram mais próximos aos determinados pelos lisímetros. Para $C_4$, a comparação entre lisímetros e sonda não apresentou correlação significativa. Independentemente do ciclo, as interações entre os pontos de leitura das sondas foram significativas ($\alpha$ = 1%), mostrando que o comportamento entre elas é semelhante.

A correlação feita em $A_2$ (Tabela 6) mostrou que, para os ciclos 5 e 6 não houve correlação significativa entre os valores determinados nos pontos de acesso da sonda e do lisímetro. Somente no ciclo 1 (C1) houve significância a 1% entre o lisímetro e $TAD_4$ e $TAD_6$.

Semelhantemente ao que ocorreu em $A_1$, as leituras feitas nos TAD apresentaram correlação significativa entre si, exceto no ciclo $C_1$, quando o tubo $TAD_3$ não apresentou correlação significativa com os demais. Tal fato pode ter ocorrido devido à acomodação do solo em torno desse tubo de acesso, que pode ter levado a falhas. Em virtude dos fatos apresentados, pode-se afirmar que a utilização de sondas capacitivas para estimativa de Kc precisa ser avaliada em cada situação, e que a instalação dos TAD deve ser realizada com muito cuidado.

Os resultados também podem ser afetados por conta da presença de animais escavadores na área experimental (tatus, lebres, capivaras etc.), o que é uma limitação ao uso da sonda FDR. Portanto, ao utilizar a sonda FDR deve haver uma recomendação explícita de instalação de três ou mais repetições (TAD) e de verificação da presença desses animais.

Levando em consideração as interações anteriormente apresentadas (lisímetros x TAD), foram calculadas as médias dos valores de Kc obtidos nos TAD das sondas e os dados foram submetidos a análise de variância (Tabela 7) e o teste de Tukey (Tabela 8). Esta foi realizada considerando um delineamento experimental em esquema fatorial 2 x 2 x 5 (2 áreas, 2 métodos de análise, e 5 valores de Kc ao longo de cada ciclo), com três repetições caracterizadas pelos ciclos de corte ($C_1$, $C_4$ e $C_5$ em $A_1$; C1, $C_5$ e $C_6$ em $A_2$). A análise de variância mostrou significância ($\alpha$ = 1%) para a comparação de médias entre as áreas, métodos e interação entre áreas e métodos de análise.

**Tabela 7.** Quadro da análise de variância para os valores de coeficientes de cultura (Kc) determinados em duas parcelas, dois métodos em 5 períodos ao longo dos ciclos.

| FV | GL | SQ | QM | F | | p |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Área (F1)* | 1 | 0,40959 | 0,40959 | 8,71940 | ** | 0,00520 |
| *Método (F2)* | 1 | 1,62488 | 1,62488 | 34,59070 | ** | <.0001 |
| *Perid Kc (F3)* | 4 | 0,19267 | 0,04817 | 1,02540 | ns | 0,00520 |
| *Int. F1xF2* | 1 | 0,40979 | 0,04098 | 8,72370 | ** | 0,40600 |
| *Int. F1xF3* | 4 | 0,23641 | 0,05910 | 1,25820 | ns | 0,30240 |
| *Int. F2xF3* | 4 | 0,45044 | 0,11261 | 2,39730 | ns | 0,0662 |
| *Int. F1xF2xF3* | 4 | 0,03901 | 0,00975 | 0,20760 | ns | 0,93270 |
| Tratamentos | 19 | --- | --- | --- | --- | <.0001 |
| Resíduo | 40 | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Total* | 59 | --- | --- | --- | --- | --- |

** Diferenças significativas entre tratamentos pelo teste F (p = 1%).

**Tabela 8**. Comparação de média entre as determinações de coeficiente de cultura oriunda dos lisímetro e da sonda capacitivas nas duas parcelas experimentais (A1 e A2).

| Área/Método | Lisímetro | Sonda | Médias |
|---|---|---|---|
| A1 | 0,6156 aB | 0,7794 bA | 0,6975 b |
| A2 | 0,6155 aB | 1,1100 aA | 0,8629 a |
| Médias | 0,6156 b | 0,9447 a | 0,78013 |

Letras minúsculas (colunas) e maiúsculas (linha) indicam ausência de diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV = 27,78%.

Por meio dos dados coletados, foram determinados os valores de coeficiente de cultura inicial ($Kc_{ini}$), médio ($Kc_{med}$) e final ($Kc_{fin}$), determinados por meio dos dois métodos estudados, cujos resultados estão na Tabela 9.

Houve uma grande variação nos resultados obtidos com a sonda em relação aos lisímetros (Tabela 9). Na sua maioria, as determinações via sonda capacitiva são superestimadas em relação aos lisímetros e em apenas 4 pontos foram subestimadas. Na área $A_1$, as discrepâncias diminuíram com o avanço dos ciclos. As menores diferenças foram encontradas no final do ciclo.

**Tabela 9.** Coeficientes de cultura inicial, médio e final, determinados por lisímetro de pesagem (L) e sonda FDR (S) com a diferenças das estimativas nas duas áreas (A1 e A2).

| Área | $A_1$ | | | | | | | | | Médias das diferenças |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ciclos | $C_1$ | | | $C_4$ | | | $C_5$ | | | |
| Método | L | S | Dif% | L | S | Dif% | L | S | Dif% | (%) |
| $Kc_{ini}$ | 0,52 | 0,56 | 7,7% | 0,85 | 0,658 | -22,5% | 0,59 | 1,21 | 105,1% | 30,08% |
| $Kc_{med}$ | 0,57 | 0,69 | 21,1% | 0,61 | 1,119 | 83,4% | 0,49 | 0,74 | 51,0% | 51,82% |
| $Kc_{fin}$ | 0,71 | 1,05 | 47,9% | 0,64 | 0,613 | -4% | 0,56 | 0,59 | 5,4% | 16,36% |

| Área | $A_2$ | | | | | | | | | Médias das diferenças |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ciclos | $C_1$ | | | $C_5$ | | | $C_6$ | | | |
| Método | L | S | Dif% | L | S | Dif% | L | S | Dif% | (%) |
| $Kc_{ini}$ | 0,42 | 0,77 | 83,3% | 0,58 | 1,29 | 122,4% | 0,57 | 0,49 | -14,0% | 63,90% |
| $Kc_{med}$ | 0,45 | 1,29 | 186,7% | 0,69 | 1,19 | 72,5% | 0,59 | 1,18 | 100,0% | 119,71% |
| $Kc_{fin}$ | 0,83 | 0,94 | 13,3% | 0,72 | 0,39 | -45,8% | 0,64 | 0,97 | 51,6% | 6,33% |

Por meio da comparação da determinação de evapotranspiração com o uso de lisímetro e a razão de Bowen (termopar e Resistance Temperature Detector (RTD)), autores constataram a subestimativa da razão de Bowen em relação aos lisímetros independente da forma de entrada dos dados (HENAREJOS; MARTÍNEZ; RUIZ, 2000). Outro estudo comparou o uso das sondas capacitiva em relação a sonda de nêutrons, verificaram que a

sonda capacitiva é mais sensível a mudança de umidade quando o volume de solo entre ponto de gotejamento e sensor avaliado é maior (MOUNZER et al., 2007).

Por meio dos dados de evapotranspiração e produtividade dos ciclos, foi calculada a produtividade de água (PA), sendo comparada com PA calculada pela estimativa de consumo do lisímetro de pesagem (Figura 28) utilizando esquema fatorial 2 x 2 x 3 (2 áreas, 2 métodos e 3 ciclos). Os ciclos foram comparados considerando o ciclo CA igual aos ciclos $C_1$; CB, igual aos ciclos $C_4$ em $A_1$ e $C_5$ em $A_2$; e CC, igual ao ciclo $C_5$ em $A_1$ e $C_6$ em A2.

O teste apresentou diferença significativa ($p<0,01$) entre os métodos de análise e entre os ciclos de cultivos (Figura 28.a) e também para a interação áreas (A) x métodos de determinação (Figura 28.b) e A x ciclos (C) (Figura 28.c).

Percebe-se que a determinação de consumo de água pela sonda FDR foi maior que a determinação via lisímetro de pesagem.

Em $A_1$, o CA (ciclo 1) apresentou maior PA, uma vez que o ciclo foi compreendido entre 7/04 e 04/05, período no qual o capim Marandu não havia entrado em estacionalidade produtiva; em $A_2$ não houve diferença significativa entre os ciclos, por conta de a sobressemeadura de aveia preta e azevém compensar a perda produtiva do capim Marandu no período de outono/inverno.

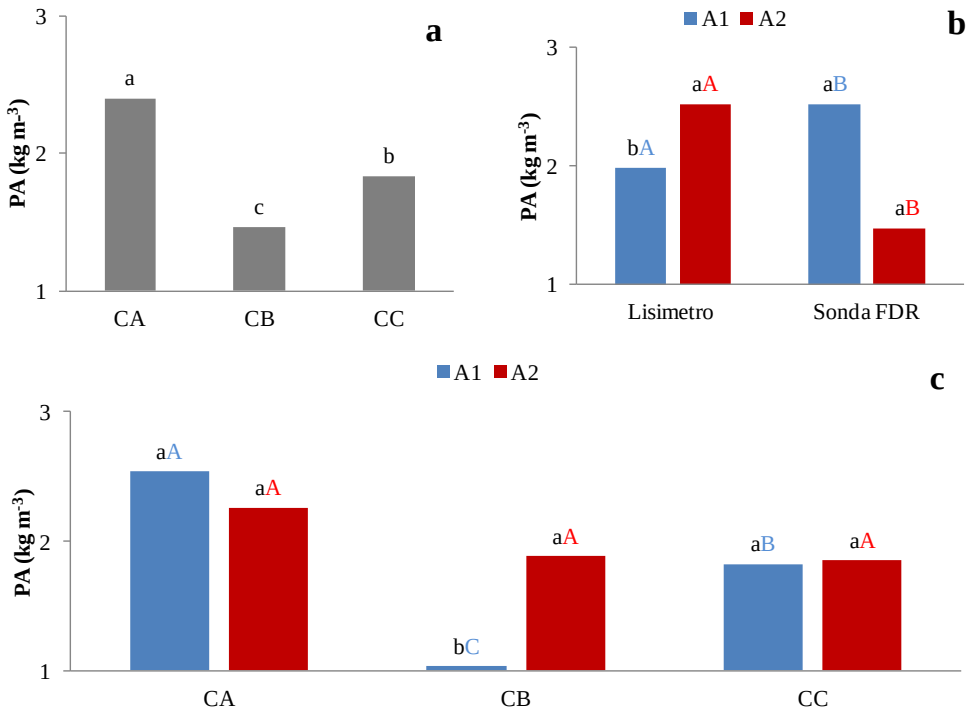



**Figura 28.** Produtividade de água (PA) determinada com sonda FDR e lisímetros de pesagem. a) diferença entre os ciclos de corte; b) Interação significativa A x M; c) Interação significativa A x C, letras minúsculas comparam as áreas, letras maiúsculas

comparam a PA entre os métodos ou ciclos. Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).

## 2.6. Conclusões

É possível estima coeficiente de cultua para o capim Marandu por meio de sondas capacitivas, porém fazem-se necessários a verificação e análise conjunta dos dados com outros métodos.

As sondas capacitas são equipamentos que podem auxiliar no cálculo de extração total de água pelas plantas, a fim de calcular produtividade de água em ciclos de cultivo.

## Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 2, n. 4, p. 303–307, 2007.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1–9, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002>.

EVETT, S. R.; TOLK, J. a.; HOWELL, T. a. Soil Profile Water Content Determination. **Vadose Zone Journal**, v. 5, n. 3, p. 894, 2006.

FRANCISCO, J. P.; JOSÉ, J. V.; FERNANDES, R. D. M.; DIOTTO, A. V.; MARQUES, P. A. A.; FOLEGATTI, M. V. Acurácia e Calibração de Sonda de Capacitância em Um Nitossolo Vermelho Distrófico e Em Um Latossolo Vermelho Amarelo. In: II Inovagri International Meeting - 2014, April, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: 2014. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/221-ii-inovagri-2014/1633-ii-inovagri-2014-a258.html>.

HENAREJOS, D. E.; MARTÍNEZ, J. M. M.; RUIZ, A. Estudio comparativo del empleo de termopares y RTD en la estimación de la evapotranspiración mediante balance de energía. **ACTAS DE HORTICULTURA**, n. 60, p. 719–722, 2000.

HOFFMANN, M.; SCHWARTENGRÄBER, R.; WESSOLEK, G.; PETERS, A. Comparison of simple rain gauge measurements with precision lysimeter data. **Atmospheric Research**, v. 174-175, p. 120–123, 2016.

LIMA FILHO, A. F.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Comunicação Científica Calibração de uma sonda FDR para determinação do conteúdo de água de um Latossolo Amarelo Material e Métodos. **Magistra**, v. 25, n. 3/4, p. 285–292, 2013.

MOUNZER, O.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; ABRISQUETA, I.; TAPIA, L. M.; VERA, J.; ABRISQUETA, J. M. Comparación de las medidas de humedad del suelo con diferentes sensores con fines de programación del riego localizado en frutales. **VIII Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada del Suelo. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo**, v. 8, p. 281–283, 2007.

OLIVEIRA, L. A. A.; NAZARIO, A. A.; SOUZA, D. P. de; SANTORO, B. de L.; MATSURA, E. E. Utilização da FDS para monitoramento da umidade do solo no período da maturação de cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado. In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016, Florianopolis. **Anais**... Florianopolis: 2016.

PRIMO, J. T. de A.; DA SILVA, T. G. F.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; DE MOURA, M. S. B.; DE SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20–29, 2015.

RAGAB, R. A note on water use efficiency and water productivity. **Water4Crops**, p. 1–11, 2014. Disponível em: <http://www.water4crops.org/water-use-efficiency-water-productivity-terminology/>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013.

SENTEK. **Calibration manual: for sentek soil moisture**. [s.l: s.n.]

SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B. de; MELO, F. de B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 6, p. 636–640, 2007.

SILVA, A. L. B. O.; PIRES, R. C. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; ROLIM, G. S. Consumo de água de variedades de cana-de-açucar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: Inovagri International Meeting - 2012, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: 2012.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, p. 71–78, 2002.

SOUZA, D. P. de; SANCHES, A. C.; MENDONÇA, F. C.; CARNEVSKIS, E. L.; SARETTA, E. Evapotranspiração do capim Marandu determinada por lisimetro de pesagem: fase inicial. In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Florianopolis. **Anais**... Florianopolis: 2016.

SOUZA, C. F.; CÉLIA, R.; PIRES, M.; MIRANDA, B. D. E.; CLAUDIO, E. A.; VARALLO, T. Calibração de sonda FDS e TDR para estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 597–606, 2013.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science**, v. 25, n. 3, p. 189–207, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-007-0064-1>.

.

# 3. PARÂMETROS FITOTÉCNICOS DE *Urochloa brizantha* CV. MARANDU EM DIFERENTES CICLOS DE CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO.

## 3.1. Resumo

Com a adoção crescente da irrigação de pastagens no Brasil, são necessários estudos que caracterizem as respostas produtivas das forrageiras tropicais em condições ótimas de crescimento em diferentes períodos do ano, devido às diferenças de comportamento entre pastagens irrigadas e não irrigadas. Além disso, ainda há pouca disponibilidade de estudos fitotécnicos sobre o consórcio de forrageiras tropicais com mais de uma espécie de clima temperado na parte tropical do Brasil, em que ocorre o período estacional. Este trabalho teve por objetivo a caracterização de parâmetros produtivos e fitotécnicos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sob dois sistemas de cultivo, solteiro e consorciado com aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) ao longo 7 a 8 ciclos de corte. O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, em duas parcelas experimentais com área individual de 144 m². A irrigação foi aplicada por meio de um sistema de aspersão instalado com espaçamento 12x12 m, com aspersores funcionando na pressão média de 300 kPa e com uniformidade de aplicação previamente aferida (CUC = 87%). Foram determinados os seguintes parâmetros produtivos: produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folhas (PF), produtividade de colmos (PC), produtividade de material morto (PMM), porcentagens de massa de folhas (% MSF), colmos (% MSC) e material morto (% MSMM), razão folha-colmo (RFC), acúmulos médios diários de forragem (AMD) e de folhas (AMDF), e o índice de área foliar (IAF). A análise estatística foi feita por meio de comparações múltiplas, com o auxílio do software ASSISTAT 7.7, e com um teste de comparação de médias. Os resultados demonstraram que a produção máxima do capim Marandu foi de 2500 kg MS $ha^{-1}$ (verão) e 1300 kg MS $ha^{-1}$ (inverno). O capim Marandu apresentou maior porcentagem de folhas no período estacional, com pequeno índice de área foliar final (IAFfinal). O AMD chegou a 90,8 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$ no verão. Quando em sobressemedura, não houve diferença significativa entre os ciclos na PTF e no IAF. O AMDF atingiu o máximo de 114,54 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$.

**Palavras-chaves**: Pastagens irrigadas, Sobressemeadura, Produtividade, Índice de área foliar

## 3.2. Abstract

With the increasing adoption of pasture irrigation in Brazil, there is a need for studies to characterize the productive responses of tropical forages under optimal growth conditions in the different seasons of the year, due to the behavior differences between irrigated and non-irrigated pastures. In addition, there is still little availability of studies about crop consortium of tropical and temperate climate forages, with more than one temperate species, on the Brazilian tropical part, where there is a seasonal growth period. This work aimed to characterize the productive and phytotechnical parameters of *Urochloa brizantha* cv. Marandu developed under two cropping systems, single and intercropped with black oats (*Avena strigosa*) and ryegrass (*Lolium multiflorum*) during 7 to 8 forage-cutting cycles. The experiment was carried out in the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (ESALQ/USP), under a completely randomized statistical design, in two experimental plots with individual area of 144 $m^2$. The irrigation was applied by a sprinkler system spaced by 12 x 12 m, with

sprinklers working at a mean pressure of 300 kPa, under a previously measured water distribution uniformity (CUC = 87%). The following productive parameters were determined: total forage yield (PTF), leaf yield (PF), stems yield (PC), dead material yield (PMM), percentages of leaf mass (% MSF), stems (% MSC) and dead material (% MSMM) ), leaf stem$^{-1}$ ratio (RFC), accumulations of daily mean leaf (AMDF) and leaf, and the leaf area index (IAF). The statistical analysis approach was done by multiple comparisons, using the ASSISTAT software 7.7, and a means comparison test. The results showed that the maximum dry matter forage yields of Marandu grass was 2500 kg DM ha$^{-1}$ (summer) and 1300 kg DM ha$^{-1}$ (winter). Marandu grass had a higher leaf percentage during the forage seasonal period, presenting a little final leaf area index (IAFfinal). The AMD reached up to 90.8 kg ha$^{-1}$ day$^{-1}$ in the summer. When it was intercropped with the temperate forage crops, there was no significant difference between the growth cycles, referring to PTF and LAI. The AMD reached a maximum of 114.54 kg ha$^{-1}$ day$^{-1}$.

**Keywords:** Irrigated pastures, Over-seeded cultivation, Productivity, Leaf area index

## 3.3. Introdução

Dentro do grupo das plantas forrageiras há muitas espécies que se comportam de maneira diferente em relação à disponibilidade de água no solo, podendo ser cultivadas com a utilização da irrigação ou com déficit hídrico, dependo das condições climáticas, locais e fisiológicas da própria planta (GHOSH et al., 2015).

Algumas dessas espécies ganharam destaque comercial por proporcionarem maior produtividade animal, facilidade de cultivo e maior resistência a fatores de estresse bióticos e abióticos. Nas regiões tropicais, as gramíneas de origem africana (*Panicum*, *Urochloa*, *Pennisetum*) são as mais usadas em pastagens tropicais em cultivo solteiro. Em clima temperado destacam-se as leguminosas alfafa e trevo, e gramíneas dos gêneros *Lolium*, *Bromus*, *Dactylis* e *Phalaris* (VALLE; JANK; RESENDE, 2009)

As forrageiras tropicais apresentam um padrão sazonal de produção, que é maior durante as estações primavera e verão, e menor nas estações outono e inverno. Isso acontece porque essas forrageiras entram no período estacional.

Vários autores demonstraram o comportamento das forrageiras tropicais nesse período, com alteração na produtividade e nas características morfofisiológicas (SORIA et al., 2003; SBRISSIA; DA SILVA, 2008a, 2008b; GIACOMINI et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; ZANCHI et al., 2009; ALENCAR et al., 2010, 2013). Essas alterações são influenciadas por elementos climáticos, como déficit hídrico, luminosidade, radiação solar e temperaturas inferiores à temperatura basal (tb) ideal para cada espécie forrageira (ALENCAR et al., 2010; GOBBI et al., 2011).

Em cultivos não irrigados e durante o período seco, as plantas forrageiras fecham os estômatos para evitar a perda excessiva de água para o meio, modificando todo o seu metabolismo e, consequentemente, produzindo menos biomassa. A mudança na área foliar das pastagens também é influenciada diretamente pelo nível de água no solo (ZANCHI et al., 2009).

A baixa produção durante o período com temperatura baixas, menor fotoperíodo e precipitação pluvial baixa ou inexistente pode ser atenuada com a aplicação de diversas técnicas de manejo, dentre elas a irrigação. Essa técnica não evita a estacionalidade da produção de forragem, porém assegura um aumento da produção e da taxa de lotação da pastagem, em comparação às pastagens não irrigadas (LOPES et al., 2014). Além disso, permite a utilização de tecnologias complementares para aumento da oferta de forragem na pastagem.

A maior produtividade e a mudança nos padrões fitotécnicos com a utilização da irrigação foram enfatizadas em diversos estudos (RIBEIRO et al., 2009; SANTOS et al., 2013b; SANCHES et al., 2015; ANTONIEL et al., 2016). Além disso, outra técnica que assegura a produção no período estacional é a sobressemeadura de espécies de forrageiras de clima temperado nas pastagens tropicais. Tal técnica aumenta a oferta de forragem devido à adaptação das forrageiras de inverno ao clima frio. Embora seja uma tecnologia consagrada em várias áreas de pastagens irrigadas, pouco foi estudado sobre o consumo de água e o manejo da irrigação em pastagens sobressemeadas.

Meirelles et al. (2011) analisaram o índice de área foliar (IAF) de *Urochloa brizantha* no período chuvoso, no estado de Goiás, observando que o IAF foi baixo no início da estação chuvosa (0,4 $m^2$ $m^{-2}$) e que após 20 dias com precipitações regulares, a forrageira respondeu rapidamente e o IAF aumentou para 1,1 $m^2$ $m^{-2}$, aproximadamente três vezes o IAF anterior.

Sbrissia; Da Silva (2008a) compararam três métodos de determinação de IAF para o capim Marandu e encontraram valores de 5,0; 4,7; 4,1; 3,7 e 4,1 para as estações de verão; outono; inverno; início da primavera e final da primavera, respectivamente.

Lopes et al. (2014) estudaram a aplicação de diferentes lâminas de irrigação em *Urochloa decumbens*, verificando comportamento crescente na taxa de alongamento foliar e de colmo conforme aumentou a lâmina d'água aplicada. Os autores observaram que o crescimento das lâminas foliares foi de 4,87 e 5,57 cm perfilho$^{-1}$ dia$^{-1}$, com aplicação de 3,84 e 10,46 mm dia$^{-1}$, respectivamente, e observaram que o alongamento de colmos não é uma característica desejada na produção, havendo a necessidade de avaliação de lâminas d'água

para evitar isso. Também se infere que a irrigação pode acelerar o ciclo fenológico das forrageiras, encurtando o tempo em que elas atingem o momento de corte ou pastejo.

Ribeiro et al. (2009) estudaram a influência da irrigação nos capins Mombaça e Napier nas épocas seca e chuvosa e observaram que, na época seca, a irrigação provocou aumentos na porcentagem de lâminas foliares, altura e densidade de perfilhos; na época chuvosa, a irrigação só influenciou a altura de plantas.

Mediante tais fatos, são necessários estudos com irrigação de forrageiras tropicais e seus efeitos sobre o crescimento e a produção de forragem, em várias localidades e diferentes períodos do ano. Este estudo objetivou a caracterização produtiva e biométrica de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em dois sistemas de cultivo irrigados em diferentes épocas do ano.

## 3.4. Material e métodos

O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) em duas parcelas experimentais com área total de 288 m². O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho eutroférrico latossólico (SANTOS et al., 2013a) possuindo na camada até 0,4 m: 32,5 % de areia, 18,95% de Silte e 48,6 de argila.

As características químicas do solo foram determinadas antes da montagem do experimento, no Laboratório de Fertilidade do Solo da ESALQ/USP. A camada 0-0,4 m apresentou as seguintes características: pH = 5,1; $P_{(resina)}$ = 52 mg $dm^{-3}$; K = 0,69 $cmol_c$ $dm^{-3}$; Ca = 2,6 $cmol_c$ $dm^{-3}$; Mg = 1,4 $cmol_c$ $dm^{-3}$; H+Al = 3,65 $cmol_c$ $dm^{-3}$; Al = 0,2 $cmol_c$ $dm^{-3}$; V = 54%.

Foram realizados o preparo convencional do solo (aração e gradagem), o controle de plantas invasoras, a correção de pH com calagem e a adubação de estabelecimento, conforme recomendação de Raij et al. (1996).

A espécie forrageira utilizada foi *Urochloa brizantha* cv. Marandu, semeada a lanço. Após a germinação e o estabelecimento da cultura, o experimento foi iniciado com um corte de uniformização a 0,20 m do solo, com roçadeira costal. As duas parcelas experimentais foram conduzidas de maneira diferente; inicialmente, em ambas havia somente o capim Marandu, depois uma permaneceu em cultivo solteiro e a outra recebeu a sobressemeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*).

Os três primeiros ciclos de cultivo tiveram intervalo de 28 dias entre cortes, e neles foram realizadas avaliações de consumo de água para cada corte, conforme metodologia proposta por Pequeno et al. (2015). Com a mudança dos elementos climáticos, o intervalo entre cortes foi alterado para 40 dias na parcela com capim Marandu em cultivo solteiro. Na

segunda parcela (com sobressemeadura), a colheita foi realizada após a pastagem atingir 95% de interceptação Luminosa (IL), situação na qual espera-se que o alongamento de pseudocolmo seja reduzido, visto que esse tipo de manejo reduz o acúmulo de pseudocolmos e a deposição de material senescente (MAGALHÃES et al., 2011).

O primeiro corte do período consorciado da Área 2 (Marandu + aveia + azevém) seguiu a recomendação para as espécies forrageiras tropicais e deu-se quando as plantas iniciaram o estádio de elongação do colmo, ocorrido com 35 dias após a emergência. Os cortes de rebrotação seguiram com intervalos variáveis entre 24 e 32 dias (PRIMAVESI et al., 2001). No Quadro 2 são apresentados os períodos de cada ciclo de corte nas duas áreas utilizadas.

**Quadro 2.** Identificação dos ciclos de corte.

| | **Datas** | |
|---|---|---|
| **Identificação do Ciclo** | **A1** | **A2** |
| **1º Ciclo** | 11/02 a 09/03 | |
| **2º Ciclo** | 10/03 a 06/04 | |
| **3º Ciclo** | 7/04 a 04/05 | |
| **4º Ciclo** | 05/05 a 13/06 | 05/05 a 13/06 |
| **5º Ciclo** | 14/06 a 23/07 | 14/06 a 11/07 |
| **6º Ciclo** | 24/07 a 01/09 | 12/07 a 04/08 |
| **7º Ciclo** | 02/09 a 11/10 | 05/08 a 5/09 |
| **8º Ciclo** | ------- | 6/09 a 07/10 |

* Células sombreadas mostram os ciclos no cultivo consorciado (Área 2).

A parcela foi adubada com ureia após cada corte, nas doses de 80 kg $ha^{-1}$ no período de verão e início de outono, e de 50 kg $ha^{-1}$ durante o inverno.

A determinação do acúmulo de fitomassa foi feita por meio de amostras, cortadas manualmente e com o auxílio de um quadro com área de 0,25$m^2$ (0,5 x 0,5m), tal como mostrado nas Figuras 29 a e b. O quadrado foi lançado aleatoriamente por 4 vezes na parcela experimental, cortando-se a forragem presente no seu interior com tesoura de poda, até a altura predefinida como resíduo (0,15 m). As amostras de forragem coletadas foram subdivididas em folhas (F), bainhas + colmos (BC) e material morto (Mm), pesadas e, em seguida, colocadas em uma estufa de ventilação forçada a 65ºC por 72 horas, e pesadas novamente.

Após este procedimento, foram estimados os seguintes componentes produtivos (todos em kg $ha^{-1}$): produtividade total de forragem (PTF), produtividade folha (PF), produtividade de colmo (PC) e produtividade de material morto (PM); e a porcentagem de matéria seca (%

MS) dos mesmos componentes. Também foram calculados o acúmulo médio diário de forragem (AMDF, em kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$) e a relação folha-colmo.

O índice de área foliar (IAF, em m $m^{-2}$) foi estimado ao final de cada ciclo pelo método destrutivo, coletando-se aleatoriamente as folhas de 10 perfilhos por parcela, pesando-as e passando-as em um integrador de área foliar modelo LI-3100C (Li-Cor®) (Figura 29c e d). Após esse procedimento, as amostras foram colocadas em uma estufa de ventilação forçada a 65ºC por 72 horas e pesadas novamente. Com tais dados calculou-se a área foliar especifica e o IAF.

Os dados meteorológicos utilizados foram coletados no Posto Meteorológico da ESALQ, situado em área próxima à área experimental. Na Figura 30 são apresentadas as variações da Temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin), Radiação Liquida e o fotoperíodo durante o período experimental.

As parcelas foram irrigadas por aspersão convencional, utilizando aspersores com mecanismo setorial e vazão de 590 L $h^{-1}$. A distribuição da irrigação durante os ciclos está apresentada na Figura 31, na qual se pode ver a quantidade em porcentagem de chuva no ciclo e irrigação.

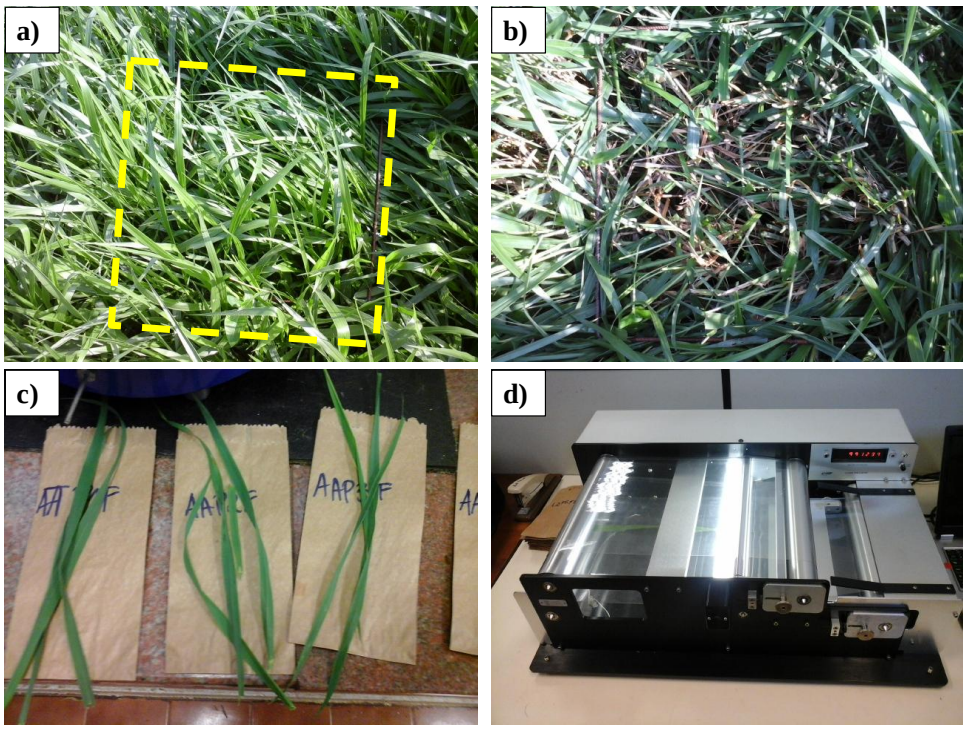



**Figura 29.** a) Quadro amostrador de forragem; b) resíduo pós corte com tesoura; c) folhas separadas; d) utilização do integrador de área foliar.

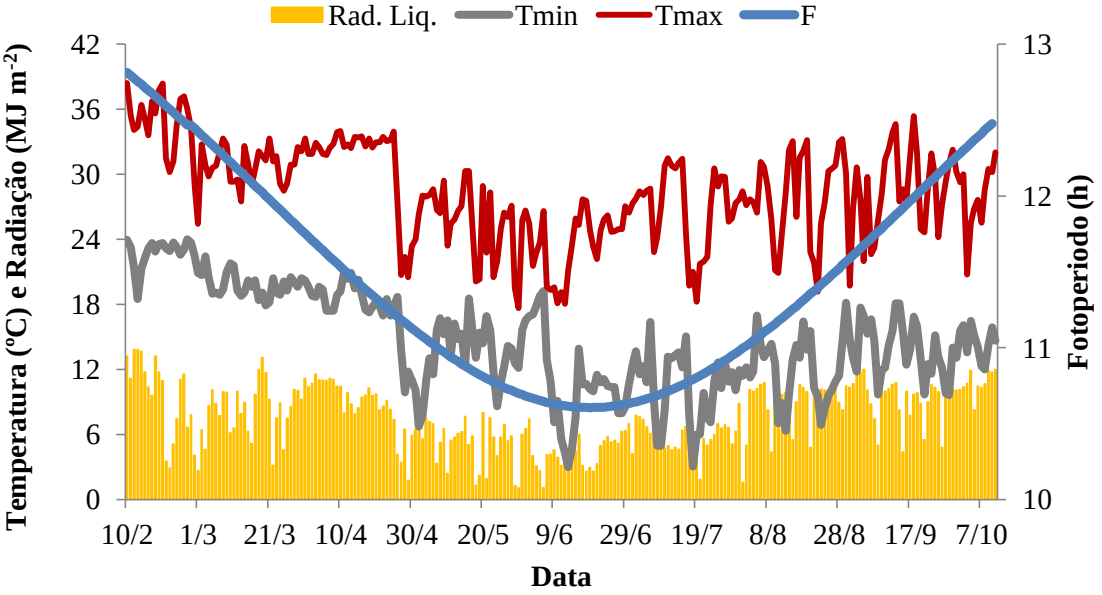



**Figura 30.** Temperaturas máxima e mínima (Tmin e Tmáx), radiação líquida (Rad. Líq.) e fotoperíodo (F) durante o período estudado.

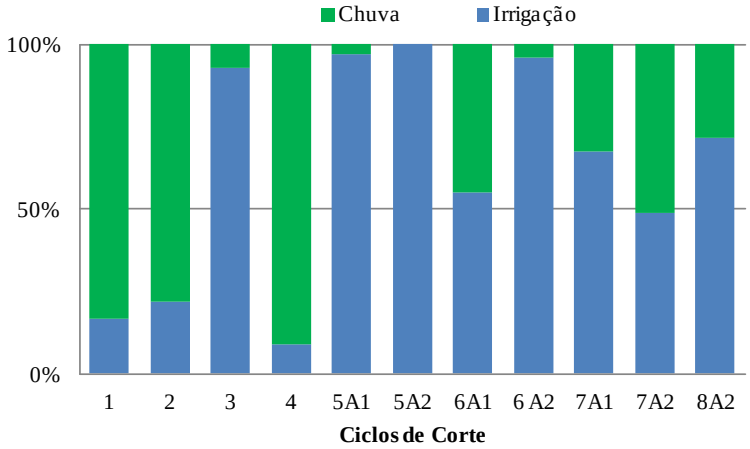



**Figura 31.** Precipitação pluvial e irrigação utilizada para o desenvolvimento dos ciclos de cultivo.

A análise estatística dos resultados foi realizada considerando os ciclos de cultivo como tratamentos, sendo analisados separadamente os ciclos em que o capim Marandu permaneceu em cultivo solteiro (Área A1) e a comparação do período de sobressemeadura (Área A2). Na análise estatística foi utilizado o programa computacional ASSISTAT 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2002), para realização da análise de variância e do teste de comparação de médias. O delineamento estatístico considerado foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos (Área A1) e cinco tratamentos (Área A2).

### 3.5. Resultados e discussão

A análise dos dados foi realizada de maneira separada para as áreas, considerando o

sistema de cultivo 1 a parcela em que o capim Marandu foi conduzido em sistema solteiro (Sistema 1, área A1, 7 ciclos de corte) e a parcela em que houve os ciclos sobressemeados (Sistema 2, área A2, 5 ciclos de corte).

**Sistema de cultivo 1: Capim Marandu solteiro**

Dentre as variáveis analisadas, a produtividade de material morto (PM) não apresentou diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$) entre os ciclos (Figura 32). Nas demais variáveis, produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folha (PF) e de colmo (PC), o ciclo 5 foi o que apresentou as menores médias em produção, por ocorrer quando as temperaturas, radiação liquida e o fotoperíodo não estavam em condições ótimas para o desenvolvimento das forrageiras tropicais. Nos ciclos C4 e C6, anterior e posterior a ele, não houve diferenças significativas em relação a C5, confirmando a influência que as temperaturas mínimas e a diminuição da radiação exercem sobre o desenvolvimento do capim Marandu.

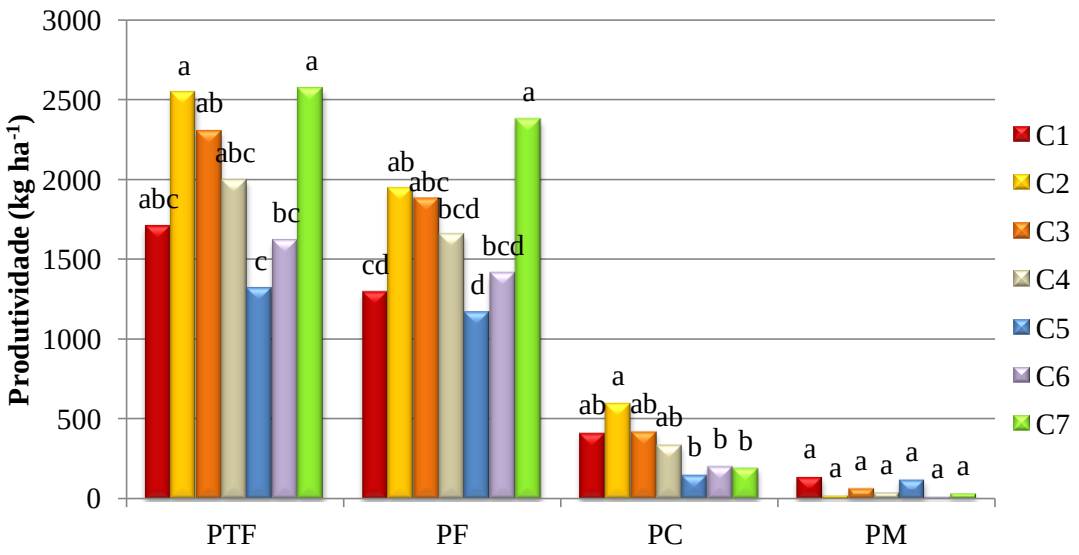



**Figura 32.** Produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folha (PF), produtividade de colmo (PC) e demonstração das médias para produtividade de material morto (PM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). Coeficientes de variação: 19,6% (PTF), 16,47% (PF), 45,42% (PC), 116,7% (PM).

Do ciclos C2 a C5 houve uma queda produtiva de aproximadamente 48%, semelhante ao que observaram Soria et al. (2003), uma queda de 40% na produção do capim Tanzânia com a diminuição de temperatura, radiação e evapotranspiração. Alencar et al. (2013)

realizaram um estudo com o capim Marandu e obtiveram uma diferenças produtivas de 49,5 a 53,9% do outono/inverno para a primavera/verão, dependendo da dose nitrogenada aplicada. Barbosa et al. (2007) fizeram comparação semelhante e obtiveram uma queda de cerca de 60% entre os mesmos períodos.

No primeiro ciclo de rebrota, a produção de folhas foi menor que nos demais, exceto o ciclo C5, pois não houve diferença significativa entre ambos. Müller et al. (2002) revelam que o corte de uniformização realizado com as plantas na fase reprodutiva demanda um maior período de descanso para as mesmas se recuperarem. Isto ocorre porque as plantas emitem perfilhos basais, pois o corte foi realizado quando as hastes se alongam e isso leva à elevação dos meristemas. Dessa maneira, provavelmente o intervalo estabelecido entre cortes (28 dias) não foi suficiente para permitir que as plantas atingissem a máxima capacidade produtiva.

Os elementos climáticos exercem influência principalmente sobre a produção e o crescimento dos colmos. Com temperaturas altas, os colmos alongam-se mais rapidamente e, assim, na comparação da porcentagem de matéria seca (Figura 33), a concentração de colmos na amostra era maior no primeiro ciclo e reduziu-se ao longo dos demais ciclos. De modo oposto, a porcentagem de folhas aumentou ao passar dos ciclos, ou seja, no período estacional as plantas forrageiras priorizam a produção de folhas. Menores taxas de alongamento do pseudocolmo no período seco foram observadas por Magalhães et al. (2011) no capim Tanzânia, e Antoniel et al. (2016) também encontraram menor produtividade total no primeiro ciclo de cultivo dos capins Piatã e Mombaça.

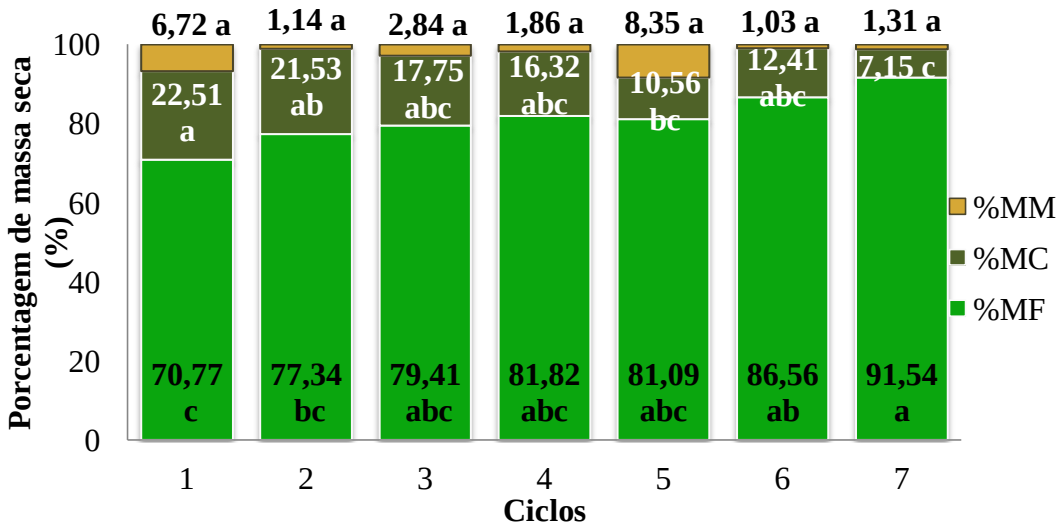



**Figura 33.** Porcentagens de massa seca de folha (%MF), de colmo (%MC) e de material morto (%MM). Coeficiente de variação: 6,65% (%MF), 32,64%(%MC), 103,61% (%MM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).

Carnevalli et al. (2006) estudaram o capim Mombaça com momento de corte ao atingir 95% da interceptação luminosa, o que resultou na proporção de folhas : colmos : material morto igual a 70,9% : 14,7% : 18%, e quando o corte foi realizado com IL = 100%, essa proporção modificou-se para 60% : 20% : 20%.

A porcentagem de material morto não apresentou diferença significativa entre os ciclos e foi menor do que o encontrado por Barbosa et al. (2007), que obtiveram cerca de 20% de MM para o capim Tanzânia. Bertolote et al. (2008) encontraram valores menores, em torno de 11% para o mesmo capim. O capim Marandu cobre todo o solo, o que faz com que o volume de material morto seja menor que nos capins de hábito cespitoso (touceiras). Santos et al. (2013b) obtiveram até 5% de material morto em experimento com capim Marandu.

Para o parâmetro IAF (Figura 34), os ciclos 1 e 5 apresentaram valores significativamente diferentes e menores que os obtidos nos ciclos 2, 3 e 7. Os valores de IAF em C1 e C5 não foram significativamente diferentes dos obtidos em C4 e C6, devido à menor produção de folhas nesses ciclos. Em C7 houve 91,54% de folhas, o que acarretou em um IAF alto e, consequentemente, uma RFC alta. Possivelmente, essa característica foi influenciada pelo aumento do fotoperíodo nessa época, levando as plantas a produzirem mais folhas.

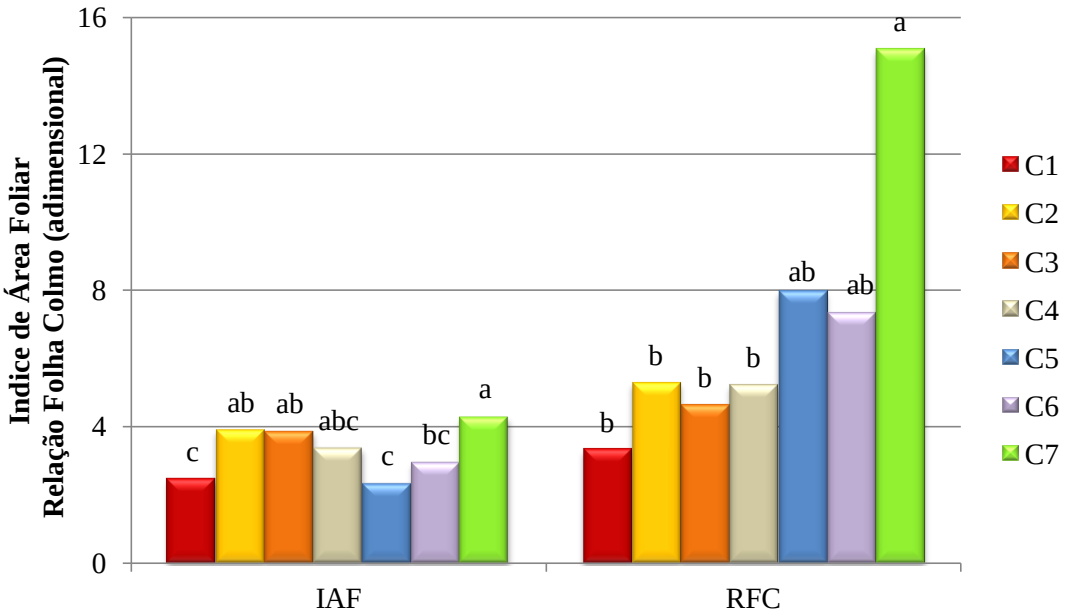



**Figura 34.** Índices de área foliar (IAF) e relação folha-colmo (RFC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). Coeficientes de variação: 15,67% (IAF), 54,93% (RFC).

Giacomini et al. (2009) não encontraram diferenças significativas entre os valores de IAF nas diferentes estações do ano, porém, os intervalos entre cortes de outono/inverno foram

210 a 215 dias, bem maiores que os considerados neste experimento. Esse longo período de descanso só deve ser considerando quando as pastagens estão em estacionalidade produtiva, quando se utiliza a técnica do diferimento de pastagens. Rodrigues et al. (2006) estudaram algumas cultivares do gênero *Cynodon* ssp. e obtiveram aumento de produção de massa com intervalos maiores, porém o aumento foi dado pelo crescimento de colmos, o qual diminui a relação folha-colmo.

Borges et al. (2011) realizaram um estudo sobre interceptação luminosa com diversas forrageiras e obtiveram IAF igual a 8 para o capim Marandu no final do inverno, sem diferença significativa em relação ao período de verão. O IAF mais alto encontrado pelos autores ocorreu no ciclo compreendido entre o final inverno e o início da primavera.

Gomide et al. (2009) observaram redução do IAF com a aproximação do outono e obtiveram um IAF de 3,1 no período estacional, próximo ao encontrado neste estudo, em que o IAF nos ciclos C4 a C6 oscilou entre 3,37 e 2,33, com média de 2,89 e sem diferença significativa entre eles.

Pela relação folha-colmo percebe-se que durante o período com temperatura e fotoperíodo não favoráveis à produção de forragem, o capim Marandu não faz alongamento de colmo, ficando com altura reduzida, produzindo menos massa e com grande proporção de folhas na forragem, o que leva ao aumento da RFC.

Em todos os ciclos, os valores da RFC foram maiores que o encontrado por Lopes et al. (2014) para *Urochloa decumbens* (RFC = 0,896 considerando ciclo com 28 dias). Os autores não encontraram relação entre a RFC e as lâminas de irrigação aplicadas.

O acúmulo médio diário de forragem total (AMDFT), de folhas (AMDF) e de colmos (AMDC) comportou-se de maneira semelhante para todas as características (Figura 35). Em C2, C3 e C7 verificaram-se os maiores valores de AMDFT e AMDF. Müller et al. (2002) estudaram a taxa de acúmulo de forragem do capim Mombaça no período de primavera, encontrando taxas crescentes conforme a idade da planta, variando de 50 a 150 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$. Os valores de AMDFT por ciclo variaram dentro do intervalo de 33 a 90 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$. Como nesse estudo foi realizado apenas uma corte no final de cada ciclo, não se sabe ao certo se o comportamento do capim Marandu é semelhante ao Mombaça.

Com base em todas as análises estudadas, nas condições desse experimento, pode-se separar os ciclos em duas fases bem claras, excetuando-se o C1, que apresentou menor produção por conta da influência do corte de uniformização para estabelecimento e crescimento dos perfilhos. Nos cortes seguintes, C2, C3 e C7 ocorreram na época quente do ano, em que as forrageiras tropicais expressam o máximo desenvolvimento.

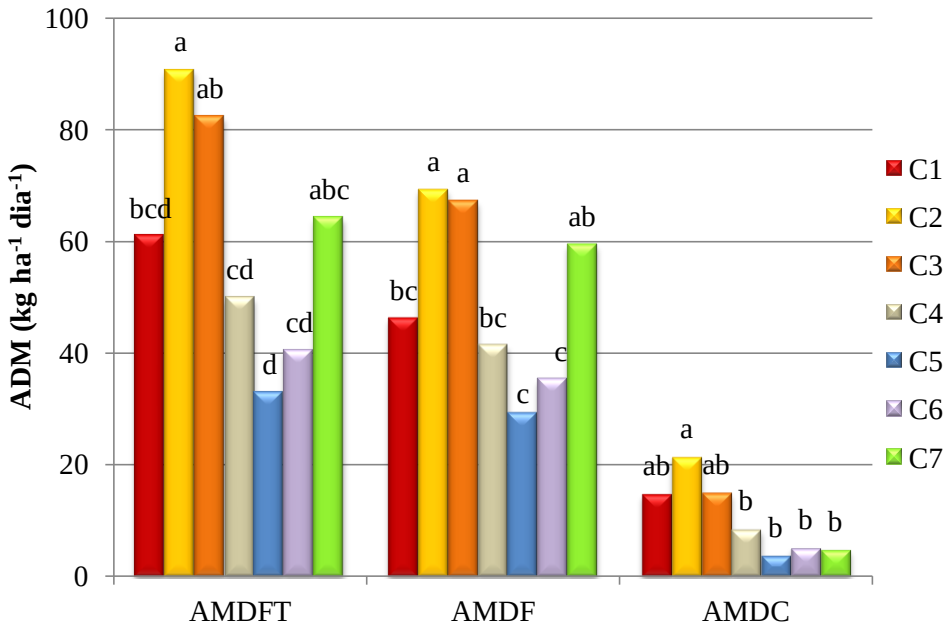



**Figura 35.** Ciclos de acúmulo médio diário de forragem total (AMDFT) folha (AMDF) e de colmo (AMDC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). Coeficientes de variação: 21,22% (AMDFT), 17,47% (AMDF), 48,99% (AMDC).

Os ciclos restantes (C4 a C6) ocorreram na época fria que caracteriza o período estacional, no qual há limitação ao crescimento por temperatura e fotoperíodo. A irrigação atenuou a influência desses elementos climáticos, pois a forrageira ainda atingiu uma produção média de 1645 kg $ha^{-1}$.

**Sistema de cultivo 2: capim Marandu sobressemeado com aveia preta e azevém**

O sistema de cultivo 2 começou com a sobressemeadura de aveia preta e azevém e os cortes foram realizados em intervalos variáveis de tempo, conforme o desenvolvimento das forrageiras de inverno. Na Figura 36 estão apresentados os resultados do teste de Tukey para as variáveis produtividade total de forragem (PTF) e produtividades de folhas (PF), de colmos (PC) e de material morto (PM).

Não houve diferença significativa entres os ciclos para as variáveis PTF, PF e PM. Somente a produção de colmos apresentou diferenças significativas entre os ciclos. Observando as figuras 36 e 37, a produção de folhas em C4 foi composta principalmente pelo capim Marandu. Esse cenário mudou após o primeiro corte das forrageiras de inverno; a partir de C5 elas produziram mais folhas que o capim Marandu, representando 57% da produção total. A separação botânica entre aveia preta e azevém não foi realizada, porém, sabe-se que a

produção do azevém é mais tardia em comparação à aveia preta (OLIVO et al., 2010; CARVALHO et al., 2011), o que indica a predominância dessa aveia em C5 e aumento da participação do azevém a partir de C6.

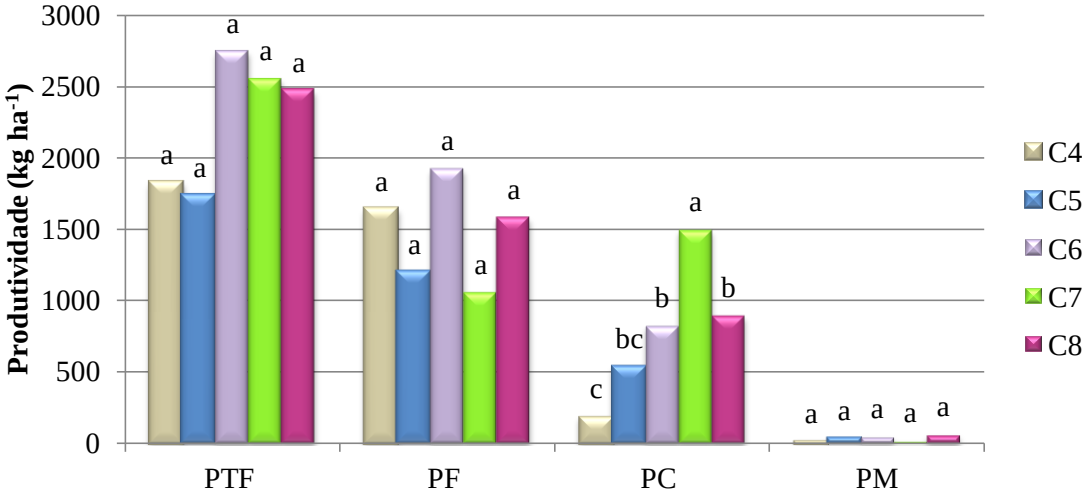



**Figura 36.** Produtividade de colmos (PC), produtividade total de forragem (PTF), produtividade de folha (PF), e produtividade de material morto (PM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). Coeficientes de variação: 26,43% (PTF), 29,14%(PF), 22,22% (PC), 90,80% (PM).

A média produtiva dos cinco ciclos de corte da pastagem sobressemeada foi de 11343,74 kg MS $ha^{-1}$. Nos quatro ciclos do capim Marandu solteiro compreendidos no mesmo período, a média produtiva foi de 7505,33 kg MS $ha^{-1}$, um aumento de 51% (3838,40 kg MS $ha^{-1}$) na oferta de forragem. Considerando-se que o período foi de 156 dias e supondo um consumo de forragem de 9 Kg MS $UA^{-1}$ $dia^{-1}$, o sistema com irrigado e com sobressemeadura sustentaria 2,73 UA $ha^{-1}$ a mais que o sistema de cultivo solteiro irrigado.

O aumento da oferta de forragem devido às forrageiras de inverno explica o aumento da porcentagem de folhas de C7 para C8. A partir de C7 houve a predominância do azevém e as plantas de aveia e azevém entraram em estágio reprodutivo antes de a colheita ser realizada. Quando isso ocorre, há diminuição das folhas, o que pode ser verificado nas figuras 37 e 38 (produção de folhas), e pelo indicie de área foliar (IAF) na Figura 39. Em C8, o aumento da temperatura mínima levou à inibição do crescimento das plantas de azevém, demorando mais para formação de pendão, e explicando a maior porcentagem de folhas.

DUCHIN et al. (2013) estudaram o cultivo de aveia preta com azevém em Santa Catarina e observaram que o azevém proporcionou um ciclo a mais de corte em comparação à aveia, com maior produção nos dois últimos ciclos, por apresentar rápido alongamento no caule. Os mesmos autores observaram que a aveia preta aumentou sua produção do primeiro

ao terceiro ciclo, e a seguir manteve o mesmo patamar. Esse comportamento foi observado quando ambas foram cultivadas separadamente. Quando em consórcio, a maior produção aconteceu no 5º ciclo, chegando a 2022 kg ha$^{-1}$.

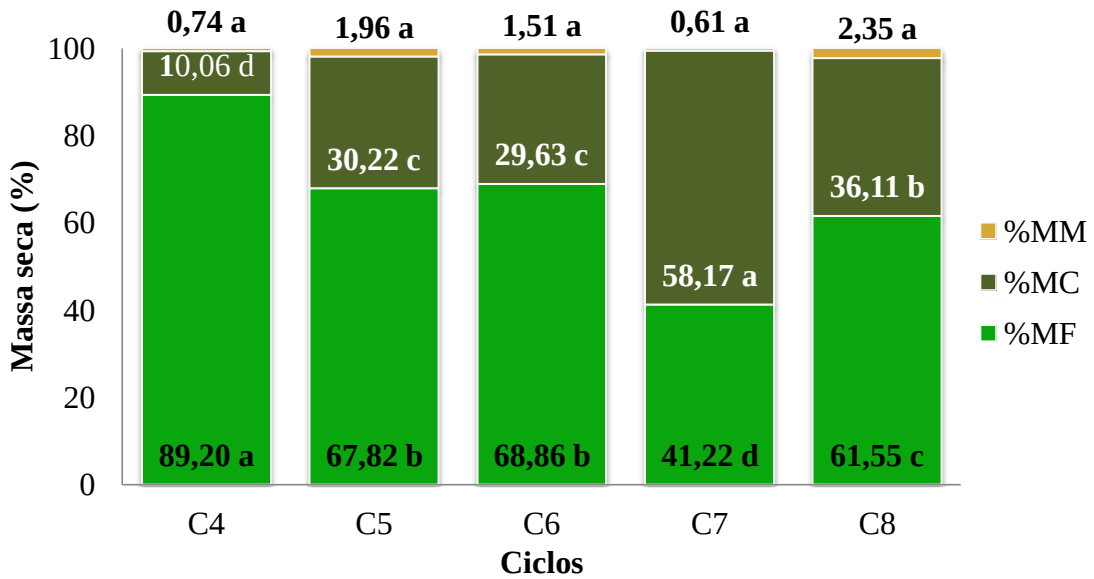



**Figura 37.** Porcentagens de massa seca de folhas (%MF), de colmos (%MC) e de material morto (%MM). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 2,34% (%MF), 5,80%(%MC), 69,49% (%MM).

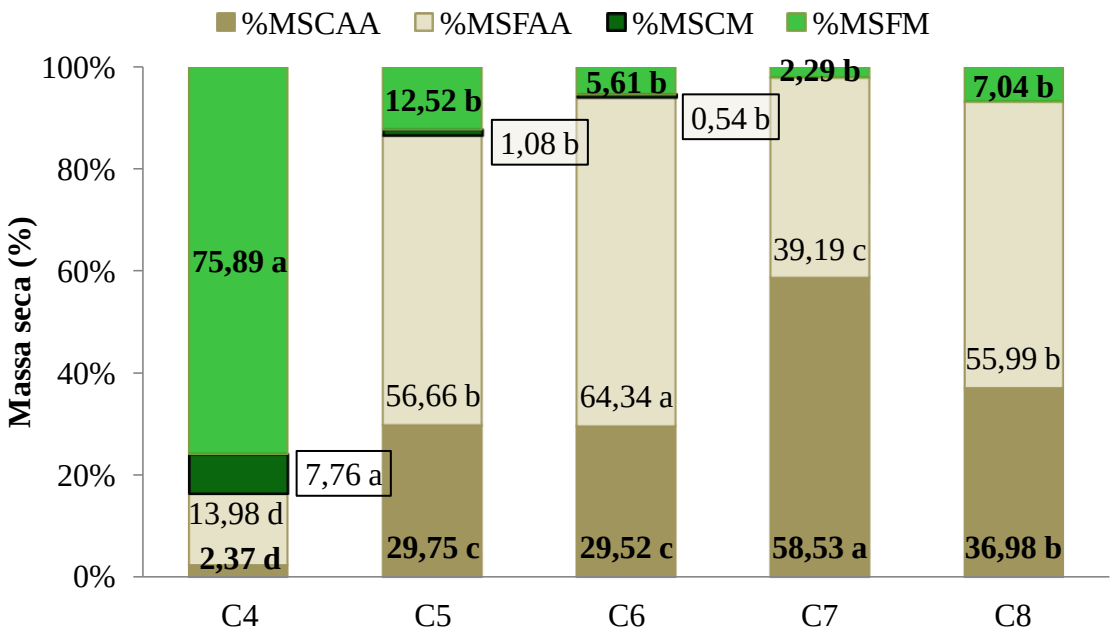



**Figura 38.** Porcentagem de massa seca de folhas e colmos do capim Marandu (%MSFM e %MSCM), e da mistura de aveia preta e azevém (%MSFAA e %MSCAA). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 24,53%(%MSFM); 32,28% (%MSCM); 7,41% (%MSFAA); 5,90% (%MSCAA).

Sanches et al. (2015) avaliaram a sobressemeadura de aveia em pastagens de Tifton 85 e observaram que a produção foi composta por 57% de folhas e 29% de colmos. Na média dos ciclos C5 a C8 deste experimento, a produção foi composta por 59,9% de folhas e 38,53% de colmos. Desconsiderou-se o primeiro ciclo de corte, no qual houve predominância do capim Marandu, pois suas folhas são maiores que as do capim Tifton e isto dificulta a comparação entre essas forrageiras.

Pela Figura 38 percebe que as plantas sobressemeadas suprimiram o desenvolvimento do capim Marandu, sendo a área composta em sua maioria por aveia preta e azevém. Bertolote et al. (2008) obtiveram uma relação de presença do capim Tanzânia sobressemeado com aveia preta de 70% e 30 % para capim Tanzânia e aveia preta, respectivamente.

O IAF não apresentou diferença significativa entre os ciclos de corte, atingindo o máximo valor de 7 (Figura 39).

A relação folha-colmo (RFC) apresentou diferenças significativas entre os cortes (teste de Tukey, p≤0,01), sendo maior em C4, quando 75,89% da produção era correspondente à massa de folhas do capim Marandu. Nos ciclos seguintes a relação foi menor, próxima a 2, Sanches et al. (2015) obtiveram valor médio de RFC 2,5 em pastagem de capim Tifton sobressemeada com aveia.

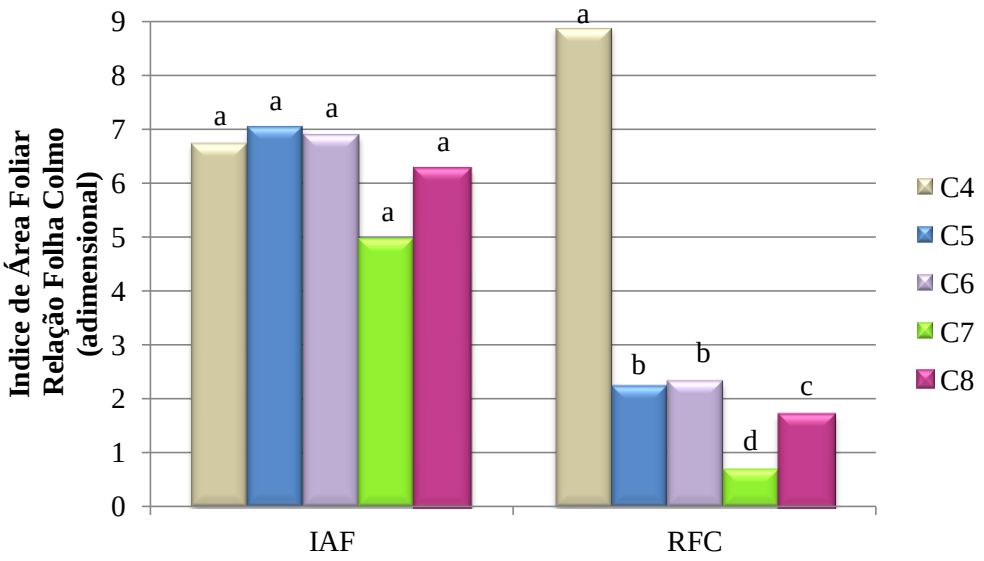



**Figura 39.** Relação folha-colmo (RFC) e índices de área foliar (IAF). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p≤0,01). Coeficiente de variação: 25,73% (IAF), 5,52% (RFC).

A análise de AMDFT e AMDF (Figura 40) revelou que maior acúmulo ocorreu em C6, mas sem diferenças significativas com C7 e C8. O ciclo C6 teve duração de 24 dias, com alta produção de folhas em poucos dias. O maior acúmulo de colmos deu-se em C6 e C7.

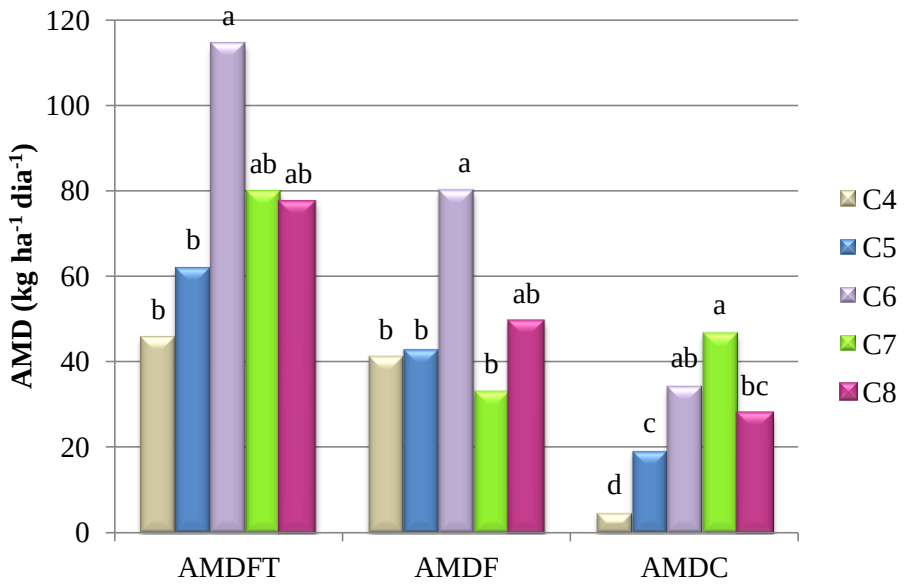



**Figura 40.** Acúmulo médio diário de forragem total (AMDFT), de folhas (AMDF) e de colmos (AMDC). Resultados com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). Coeficiente de variação: 28,96% (AMDFT), 31,73% (AMDF), 24,75% (AMDC).

### 3.6.Conclusões

Capim Marandu solteiro:

Nas condições desse experimento, para o capim Marandu, o primeiro ciclo de cultivo após o corte de estabelecimento produziu menor quantidade de forragem. Os ciclos seguintes apresentaram comportamento normal de produção, sendo maior no verão (2500 kg MS $ha^{-1}$) e decrescendo até o inverno (1300 kg MS $ha^{-1}$).

A maior parte da produção de forragem foi composta por folhas, mas a porcentagem de folhas é menor em épocas com temperatura maiores (cerca de 70%). Durante o período estacional, o capim Marandu apresentou maior porcentagem de folhas, representando 80% da produção total de forragem. Por consequência, a relação folha-colmo (RFC) foi maior durante o inverno.

O índice de área foliar final ($IAF_{final}$) foi menor no inverno (2,34). O acúmulo médio de forragem total (AMDFT) foi maior nos ciclos com temperaturas maiores, chegando a 90,8 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$.

Capim Marandu sobressemeado durante o período estacional:

Não houve diferença significativa entre os ciclos na produção total de forragem e de folhas, que chegou a 1924 kg MS $ha^{-1}$ de folhas. A produção de colmos apresentou diferenças

significativas entre ciclos, sendo menor no início do período estacional (final de outono e início de inverno) e aumentando nos ciclos seguintes.

A produção de forragem no primeiro ciclo no sistema consorciado de capim Marandu com aveia preta e azevém diferiu dos demais, pois a presença do capim foi maior que nos demais ciclos, nos quais ocorreu o inverso.

A relação folha-colmo foi diretamente proporcional à participação do capim Marandu na produção de forragem, portanto foi maior no período de mais altas temperaturas. O $IAF_{final}$ para esse consorcio não teve diferenças significativas entre cortes, com valores entre 5 e 7.

O acúmulo médio de forragem total atingiu 114,54 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$ e o acúmulo médio de folhas chegou a 80,16 kg $ha^{-1}$ $dia^{-1}$ no ciclo de maior produção do azevém.

## Referências


ALENCAR, C. A. B. de; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DE OLIVEIRA, R. A.; DA CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 21–27, 2010.

ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; DE OLIVEIRA, R. A.; ARAÚJO, R. A. S. Adubação nitrogenada e estações anuais na produção de capins irrigados no leste mineiro sob corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, p. 413–425, 2013.

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

BARBOSA, R. A.; DO NASCIMENTO, D.; EUCLIDES, V. P. B.; DA SILVA, S. C.; ZIMMER, A. H.; TORRES, R. A. D. A. Capim-tanzânia submetido a combinaçõeses entre intensidade e frequencia de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 329–340, 2007.

BERTOLOTE, L. E. M.; CAMPANA, M.; OLIVEIRA, P. P. A.; JOZIVALDO PRUDÊNCIO GOMES DE MORAIS, R. G. Produção de forragem e qualidade de genótipos de aveia sobressemeadas em capim-tanzânia. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, **Anais**...2008.

BORGES, B. M. M. N.; SILVA JUNIOR, L. C. da; LUCAS, F. T.; DA SILVA, W. J. Relação entre o fluxo luminoso interceptado em diferentes épocas no índice de área foliar de diferentes forrageiras. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 32, n. 4, p. 1589–1594, 2011.

CARNEVALLI, R. a.; DA SILVA, S. C.; BUENO, a. a. O.; UEBELE, M. C.; BUENO, F. O.; HODGSON, J.; SILVA, G. N.; MORAIS, J. P. G. Herbage production and grazing losses in Panicum maximum cv. Mombaca under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v. 40, n. 3, p. 165–176, 2006.

CARVALHO, P. C. de F.; SANTOS, D. T. dos; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A. de; NABINGER, C. Forrageiras de Clima Temperado. In: FONCESA, D. M. DA; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas Forrageiras**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. p. 537.

DUCHINI, P. G.; GUZATTI, G. C.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; SBRISSIA, A. F. Tiller size/density compensation in temperate climate grasses grown in monoculture or in intercropping systems under intermittent grazing. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 4, p. 655–665, 2014.

GHOSH, P. K.; PALSANIYA, D. R.; RAI, A. K.; KUMAR, S. Strategies for Higher Nutrient Use Efficiency and Productivity in Forage Crops. In: RAKSHIT, A.; SINGH, H. B.; SEN, A. (Ed.). **Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances**. New Delhi: Springer India, 2015. p. 329–342.

GIACOMINI, A. A.; SILVA, S. C. Da; SARMENTO, D. O. D. L.; ZEFERINO, C. V.; SOUZA JÚNIOR, S. J.; TRINDADE, J. K. Da; GUARDA, V. del'Alamo; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Do. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 733–741, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162009000600003&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; FRÓES, A.; NETO, G.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.

GOMIDE, C. A. de M.; REIS, R. A.; SIMILI, F. F.; MOREIRA, A. L. Atributos estruturais e produtivos de capim-marandu em resposta à suplementação alimentar de bovinos e a ciclos de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 526–533, 2009.

LOPES, M. N.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G. da; FILHO, J. G. L. R.; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim-braquiária manejado, sob lâminas de irrigação e idadades de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 490–500, 2014.

MAGALHÃES, M. D. A.; MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M. da; OLIVEIRA, I. M. de; FREITAS, F. P. de; FARIA, D. J. G.; OLIVEIRA, R. A. de; JÚNIOR, J. I. R. Influência da irrigação , da densidade de plantio e da adubação nitrogenada nas características morfogênicas , estruturais e de produção do capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2308–2317, 2011.

MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a Brachiaria brizantha pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 2, p. 206–213, 2011.

MÜLLER, M. S.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; OVEJERO, R. F. L. Produtividade do Panicum maximum cv . Mombaça, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 427–433, 2002.

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

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CHINELLATO, A.; GODOY, R. Indicadores de determinação de cortes de cultivares de aveia forrageira. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 79–89, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000100014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

RAIJ, B. van; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de são paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronomico de Campinas: Fundação IAC, 1996.

RIBEIRO, E. G.; FONTES, C. A. A.; PALIERAQUI, J. G. B.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DA SILVA, R. C. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1432–1442, 2009.

RODRIGUES, L. R. de A.; RODRIGUES, T. de J. D.; REIS, R. A.; SOARES FILHO, C. V. Produção de massa seca e composição química de cinco cultivares de Cynodon. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 28, n. 3, p. 251–258, 2006.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FASOLIN, J. P.; SOARES, M. R. C.; GOES, R. H. T. B. De. 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.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013a.

SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G. da; ARAUJO, L. C. de; PEZZOPANE, J. R. M.; VALLE, C. B. do; PEZZOPANE, C. de G. Response mechanisms of Brachiaria brizantha cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 11, p. 767–773, 2013b.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212–220, 2008a.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 35–47, 2008b.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, p. 71–78, 2002.

SORIA, L. G. T.; COELHO, R. D.; HERLING, V. R.; PINHEIRO, V. Resposta do capim Tanzânia a aplicação do nitrogênio e de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 430–436, 2003.

VALLE, C. B. DO; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 460–472, 2009.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. J. G.; VON RANDOW, C.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335–348, 2009.

# 4. CORRELAÇÕES ENTRE COEFICIENTE DE CULTURA E PARÂMETROS CLIMÁTICOS E BIOMÉTRICOS NA PRODUÇÃO DE *Urochloa brizantha* CV. MARANDU EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO.

## 4.1. Resumo

Estudos sobre a demanda de água, utilização de lâminas de irrigação e produção sob irrigação deficitária vêm sendo realizados frequentemente com diversas espécies de plantas cultivadas. Estes estudos são muito importantes, mas atualmente há a necessidade de avaliar parâmetros estimados a partir de interações entre a água, o clima e variáveis biométricas das culturas. Para as plantas forrageiras, alguns desses parâmetros biométricos são bastante estudados, porém a interação deles com a demanda hídrica não está bem fundamentada. Assim, objetivou-se estudar e avaliar correlações existente entre o coeficiente de cultura (Kc) de *Urochloa brizantha* cv. Marandu com elementos climáticos (graus dias-GD) e parâmetros biométricos (altura do dossel forrageiro - ADF, índice de área foliar - IAF e interceptação luminosa-IL). O estudo foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) no período de 10 de fevereiro a 11 de outubro de 2016, no qual houve vários ciclos de corte de forragem. A estimativa do Kc foi realizada por lisimetria de pesagem. IAF e IL foram medidos com aparelhos específicos e a ADF, com fita métrica. Os dados meteorológicos utilizados foram provenientes da estação próxima a área experimental. As correlações entre ADF x IAF x IL do capim Marandu solteiro e consorciado apresentam ajustes de regressão que podem ser utilizados na estimada de Kc, por meio das equações ajustadas de Kc x IAF x ADF ou IAF x GD.

**Palavras-chaves:** Índice de área foliar, Graus-dias de desenvolvimento, Coeficiente de cultura

## 4.2. Abstract

Studies on water demand, use of irrigation water depths and crop production under deficit irrigation have often been carried out, with several crop species. These studies are very important, but currently, there is a need for evaluating estimated parameters derived from interactions of water, climate and crop biometric variables. For fodder crops, some of these biometric parameters are well studied, but their interaction with the crop water demand is not well founded. Thus, this work aimed to evaluate correlations evolving the crop coefficient (Kc) of *Urochloa brizantha* cv. Marandu, climate elements (basal temperature and degrees days - GD), and biometric parameters (crop canopy height - ADF, leaf area index – IAF, and light interception - IL). The study was carried out at the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture (ESALQ) from February, 10$^{th}$ to October 11$^{th}$, 2016, with several forage-cut cycles within this period. Kc estimation was performed by weighing lysimetry. IAF and IL were determined with specific devices, and crop canopy height, by tape measure. The meteorological data used came from a station near the experimental area. The correlations between ADF x IAF x IL for Marandu grass, single cropped and consorted, presented regression adjustments that may be used for estimating Kc, by the adjusted equations of Kc x IAF x ADF or IAF x GD.

**Keywords:** Leaf area index; Degrees-days of development; Crop coefficient

## 4.3. Introdução

A sazonalidade produtiva das forrageiras tropicais é uma característica genética estudada por diversas áreas de conhecimento na pesquisa nacional brasileira. Técnicas de manejo são adotadas no campo para amenizar a redução da produção de forragem. Dentre elas, destaca-se a sobressemeadura de espécies adaptadas a regiões de climas temperados em pastos com forrageiras tropicais durante o período estacional, que é amplamente utilizada, principalmente na região sul do país (DUCHINI et al., 2014).

Outra técnica de manejo que pode ser associada à sobressemeadura é a irrigação. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o período de outono-inverno habitualmente tem baixa ocorrência de precipitação pluvial, o que tornaria inviável o desenvolvimento das gramíneas forrageiras temperadas. Nesse caso, a irrigação viabiliza a sobressemeadura.

Para a utilização adequada da irrigação fazem-se necessários estudos que estimem o consumo de água de espécies forrageiras, tanto em cultivo exclusivo quanto cultivadas em consórcios com outras espécies. Além disso, o consumo de água das plantas deve ser relacionado com as características de desenvolvimento das mesmas, pois a estrutura do dossel de plantas na pastagem é resultado de seu crescimento, comandado pelo acúmulo de fotoassimilados e regulado por elementos climáticos e pelo manejo (SILVEIRA et al., 2016).

Geralmente os coeficientes de cultivos (Kcs) vêm relacionados com os dias após o plantio ou germinação (DE SOUZA et al., 2011; LENA; FLUMIGNAN; DE FARIA, 2011; SANTOS et al., 2014; BARBOSA; OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2015; LENA et al., 2016). Essa abordagem para as forrageiras tropicais é imprecisa e pouco utilizada, uma vez que o ciclo de pastejo é definido pelas características da própria planta.

Dentro das características da planta, a área foliar é um importante indicador das condições de desenvolvimento da cultura em relação aos fatores ambientais. Sofre grande interferência de elementos climáticos como a radiação solar, a temperatura, a luminosidade e o vento, e também é influenciado pela disponibilidade hídrica. A partir disso, foi definido o índice de área foliar (IAF), que representa a área de folhas presentes em uma área de solo. O IAF passou a ser considerado elemento-chave para a compreensão da vegetação em ecossistemas (BRÉDA, 2003).

Outro fator que pode ser utilizado para comparação é a interceptação luminosa (IL), que é estimada pela diferença entre a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa incidente e aquela transmitida através da copa ou dossel para o solo (BLACK; ONG, 2000).

Avaliações de cobertura do solo demonstram a dinâmica do crescimento de plantas forrageiras, possibilitando a identificação das características das plantas associadas aos efeitos do ambiente (ALENCAR et al., 2010). Gimenes et al (2011) observaram que após a pastagem atingir IL = 95% houve maior acúmulo de colmos, indicando que o momento de entrada dos animais ou do corte da forragem já havia passado.

Ainda dentro das variáveis da planta, a altura do pasto ou do dossel forrageiro (ADF), em caso de consórcio, pode ser utilizada como variável de manejo em condições de campo, a fim de facilitar o planejamento e o controle do processo de pastejo de forma prática, bem como da verificação do potencial produtivo (ALENCAR et al., 2010; GIMENES et al., 2011). Dantas et al. (2016) estudaram aplicação de diferentes lâminas de irrigação em *Urochloa brizantha* cv. Marandu durante o período de outono/inverno. Pela medição de altura constataram que as aplicações de lâminas de irrigação acima de ETo foram as que obtiveram maiores alturas do capim e maior produtividade de forragem. Tais trabalhos mostram que a altura do dossel forrageiro pode ser utilizada com variável resposta no estudo com gramíneas forrageiras.

A comparação do Kc também pode ser realizada com elementos climáticos. Entre eles, a temperatura do ar é um dos mais utilizados por ser de fácil medição e pela abundância de dados, disponíveis em estações meteorológicas de distintas regiões. Forrageiras tropicais são plantas $C_4$, estimuladas ao crescimento por luz e umidade, porém, também são inibidas quando esses fatores não estão presentes em quantidades adequadas (MORENO et al., 2014). Portanto, é muito importante estudar a interação entre temperatura do ar e consumo de água. Tal estudo pode ser realizado com o auxílio do cálculo de graus-dias (GD), que expressam o número de unidades térmicas necessárias para que uma cultura complete uma fase específica de desenvolvimento.

Avaliar a existência de correlação entre as variáveis IAF x ADF; IAF x IL; Kc x IAF; Kc x ADF; Kc x IL; Kc x GDD em diferentes períodos traz um conhecimento prático e facilmente aplicável em áreas de pastagens tropicais. Desta forma, o objetivo desse trabalho é caracterizar a evolução do Kc ao longo dos períodos de crescimentos do capim Marandu (*Urochloa brizantha*) e tentar correlacionar essa evolução com o índice de área foliar (IAF), a altura do dossel forrageiro (ADF), a interceptação luminosa (IL) e os graus-dias (GD).

## 4.4. Material e métodos

O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), localizada no município de Piracicaba/SP. Foram utilizadas duas parcelas experimentais medindo 12 m x 12 m, e no centro de cada uma foi instalado um lisímetro de pesagem de pequeno porte. Este foi constituído por uma caixa de PVC com área igual a 1,17 m², com sistema automático de pesagem, com células de carga, e registro dos dados em um *datalogger*.

Por meio dos registros das variações de peso dos lisímetros e das entradas de água (irrigação e precipitação pluvial), foram calculados os valores da evapotranspiração de cultura (ETc). Esta foi relacionada com a evapotranspiração de referência (ETo), estimada por meio do modelo de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998) para estimar os valores de coeficiente de cultura (Kc) ao longo dos ciclos de crescimento das forrageiras.

O preparo do solo das parcelas incluiu aração, gradagem, controle de plantas invasoras, correção do pH e da fertilidade do solo. A semeadura de *Urochloa brizantha* cv. Marandu foi realizada a lanço e após a germinação aplicaram-se adubações de cobertura com nitrogênio.

O experimento começou com um corte de uniformização no dia 10 de fevereiro de 2016. A partir desse momento, em cada área foram realizados ciclos de corte sucessivos até 11 de outubro do mesmo ano. No período em que a temperatura do ar não foi limitante (final do verão e inicio do outono), os cortes foram realizados a cada 28 dias; nos demais ciclos (maio a outubro de 2016), foram conduzidos diferentemente. Na área 1 (A1), com o cultivo solteiro de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, os ciclos tiveram duração individual de 40 dias; na segunda área (A2) o capim Marandu foi sobressemeado com aveia preta e azevém, e os ciclos tiveram duração variável e definida pelo desenvolvimento das forrageiras de inverno. Na Figura 41 estão ilustradas as duas áreas. Em ambas, foram realizadas adubações com nitrogênio após cada corte.

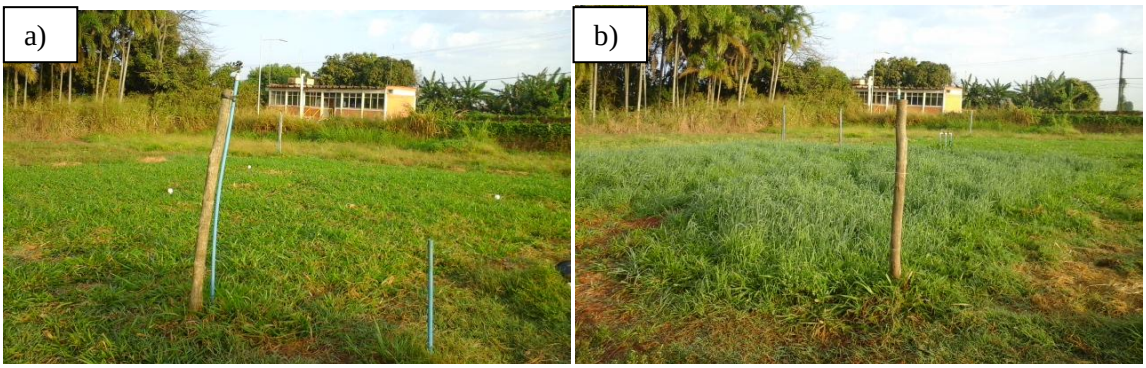



**Figura 41.** a) Parcela do capim Marandu solteiro aos 9 dias após o corte; b) Parcela do capim Marandu sobressemeado com aveia preta e azevém 23 dias após o corte. Data: 03/08/2016.

Os parâmetros biométricos avaliados foram: índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e altura do dossel forrageiro (ADF). O IAF foi medido com o auxílio do LAI 2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR®), com medições realizadas em intervalos de 4 dias, sempre em horários com pouca radiação solar (antes do nascer ou ao pôr do sol). Inicialmente, a coleta de dados foi realizada em 8 pontos por parcela, e cada coleta foi composta por uma medida acima e cinco coletas dentro do dossel forrageiro, com o aparelho na posição horizontal (Figura 42 a e b), somando-se 40 medições. Após uma análise, verificou-se que era suficiente fazer a coleta em 10 pontos por parcela, com uma medição acima da copa e duas dentro do dossel, totalizando 20 medições.

As medições da altura do dossel forrageiro (ADF) também foram realizadas em intervalos de quatro dias entre coletas, medindo-se a altura a partir do solo até a curvatura da última folha recentemente expandida, em seis pontos por parcela. Para isso foi utilizada uma régua confeccionada com uma trena graduada colada em um tubo de PVC (Figura 43).

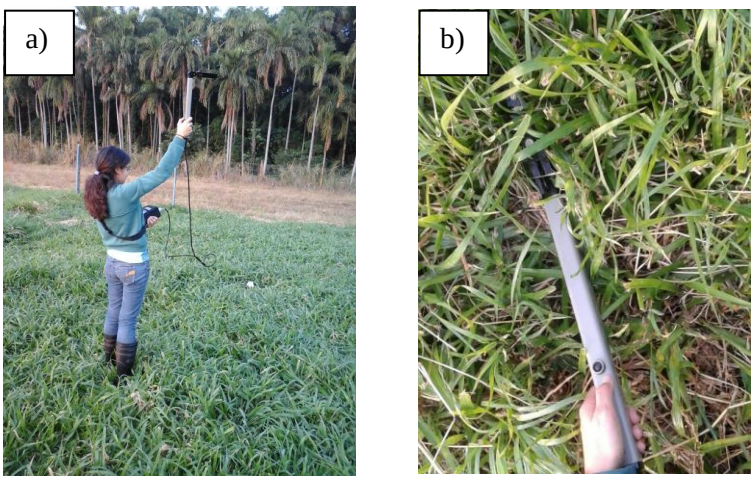



**Figura 42.** Medições de IAF: a) acima do dossel; b) dentro do dossel.

**Figura 43.** Medição da altura do dossel forrageiro.

Os graus-dia (GD) foram calculados conforme proposto por Snyder, (1985), de acordo com a condição de ocorrência: 1- Temperatura basal inferior da cultura (tb) menor que a temperatura mínima do dia (Equação 1); 2- Temperatura basal inferior maior que a temperatura mínima do dia (Equação 2).

Ocorrência 1: tb < Tmin

$$GD_1 = \frac{(TM + Tm)}{2} - Tb \quad (1)$$

Ocorrência 2: tb > Tmin

$$GD_2 = \frac{\left[(M - tb)\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + (W \cos \theta)\right]}{\pi} \quad (2)$$

Em que,

M - Temperatura média diária, em ºC;
TM - Temperatura máxima diária, em ºC;
Tm - Temperatura mínima diária, em ºC;
tb - Temperatura base inferior, em ºC;
TB - Temperatura base superior, em ºC;

$$W - W = \frac{TM - Tm}{2}$$

$$\theta - \theta = \text{arcsen}\left(\frac{Tb - M}{W}\right)$$

$$\varphi - \varphi = \text{arcsen}\left(\frac{TB - M}{W}\right)$$

Os dados de temperatura utilizados foram provenientes do Posto metodológico da ESALQ próximo à área experimental. Considerando somente a temperatura-base inferior (tb) de 15ºC (VILLA NOVA et al., 2007), como demonstrado na Figura 44.

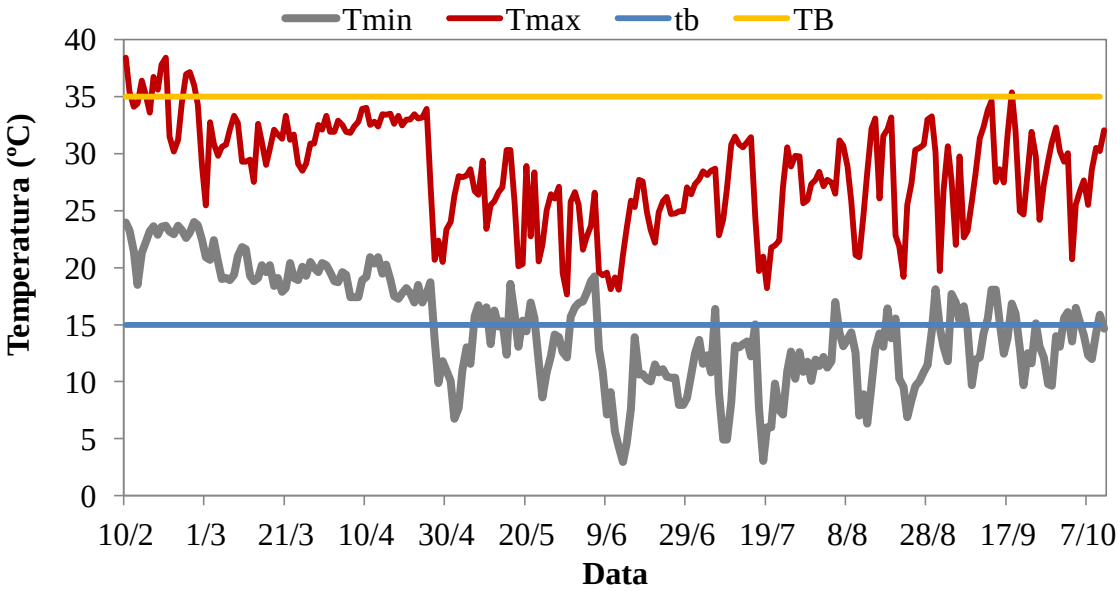



**Figura 44.** Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmáx) ao longo do período experimental, e temperaturas basais inferior (tb) e superior (TB).

### 4.5. Resultados e discussão

Primeiramente foram correlacionados os dados biométricos do capim Marandu, altura do dossel forrageiro (ADF) com índice de área foliar (IAF) e interceptação luminosa (IL). Neste caso, a altura foi considerada como fator de entrada para as equações por ser a mais fácil de se obter dentre as três variáveis.

Os dados disponíveis para esses três parâmetros compreendiam o período de 7 de abril a 11 de outubro, do terceiro ciclo (C3) em diante. As correlações foram ajustadas da seguinte maneira: C3 com os dados das duas parcelas juntos (cultivo solteiro), caracterizando o final do verão e o início de outono; C4 a C7 da parcela 1 (A1 cultivo exclusivo) e C4 a C8 da parcela 2 (A2, cultivo consorciado em sobressemeadura de aveia e azevém).

Na Figura 45 estão apresentadas todas as correlações propostas. Os gráficos *a*, *b*, *d* e *e* demonstram que pastagens solteiras possuem um comportamento diferente das consorciadas.

Ao observar a relação ADF x IAF, a resposta é linear para o capim Marandu solteiro; quando o capim faz alongamento de caule, logo após aumenta o IAF.

Para a relação IL x IAF, ambos aumentam até um limite da interceptação luminosa. Isso acontece porque a IL varia até o ponto onde a massa de forragem cobre totalmente o solo (33 e 26 cm). Trindade et al. (2007) relataram IL igual a 95% com alturas do capim Marandu de 27,6 cm na primavera e 21,8 cm no verão. Ainda com o capim Marandu, Dantas et al. (2016) mediram alturas do dossel forrageiro ao atingir IL = 95%, observando valores de 33 cm e 27 cm no início e no final do outono, respectivamente, e de 25 a 22 cm no inverno. Tais

valores estão próximos aos encontrados neste estudo quando o dossel forrageiro atingiu IL = 95%.

Acima de IL = 95%, as forrageiras continuaram a crescer. Silveira et al. (2016) também observaram esse comportamento no capim Mulato (*Urochloa brizantha* x *Urochloa ruziziensis*), quando o capim aumentou de 27,6 para 39,3 cm (verão), de 29,9 para 43 cm (final de inverno e começo da primavera), e de 30,2 para 42,8 cm (fim da primavera).

A aveia preta e o azevém apresentam folhas com largura fina e menor comprimento em comparação com o capim Marandu. Além disso, são plantas eretas e esses fatores levaram a menores valores de IAF no dossel do cultivo consorciado (máximo = 5,65), em comparação ao cultivo solteiro (máximo=7,46), tal como apresentado na Figura 45.

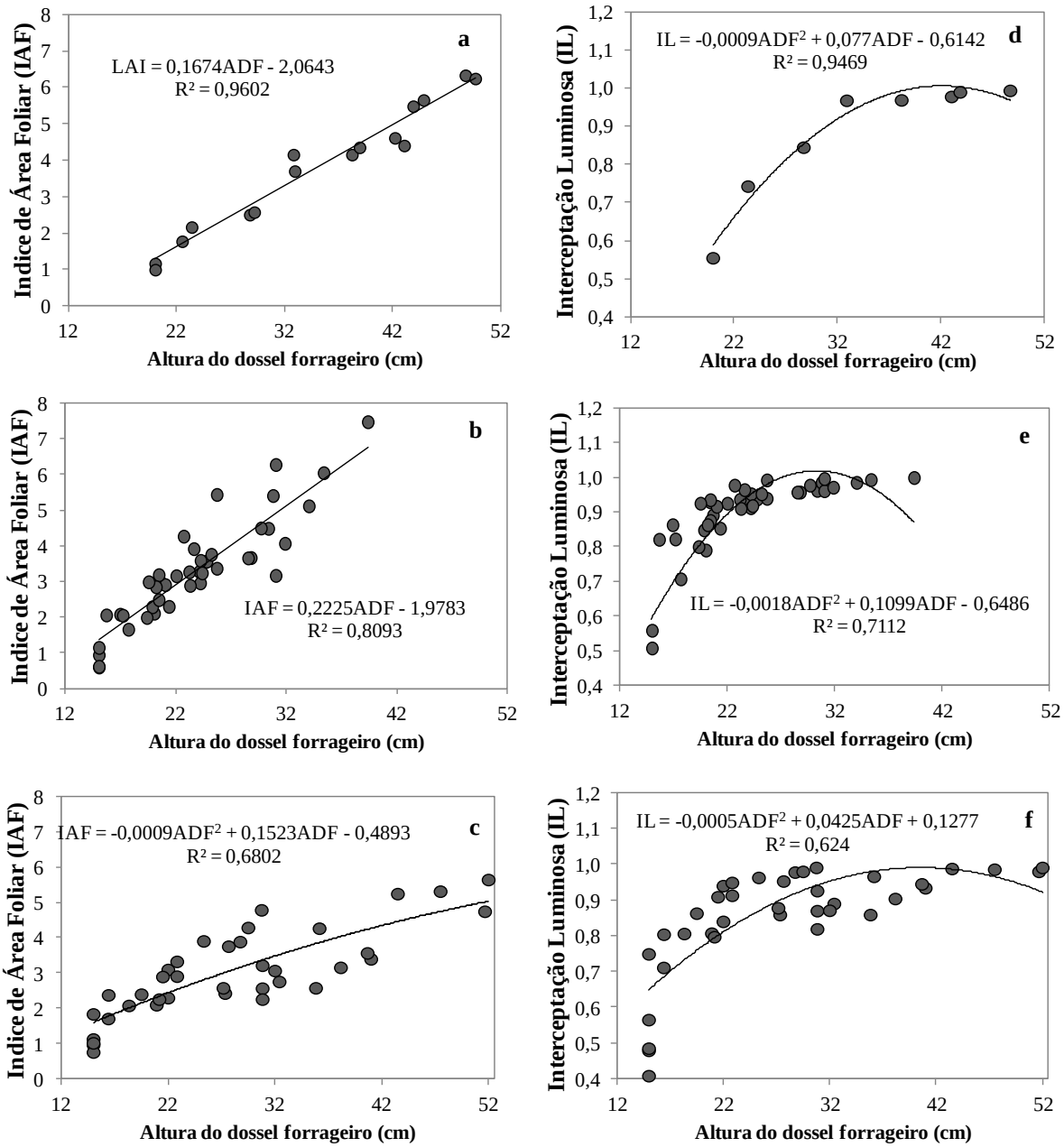


**Figura 45.** Correlação entre índice de área foliar (IAF) e altura do dossel forrageiro (ADF) para: a) final de verão e início de outono, b) cultivo solteiro do capim Marandu, 5 de maio a 11 de outubro; c) cultivo consociado capim Marandu + aveia preta + azevém, 5 de maio a 7 de outubro; Correlação entre Interceptação Luminosa (IL) e altura do dossel forrageiro (ADF) para: d) final de verão e início de outono, e) cultivo solteiro do capim Marandu, 5 de maio a 11 de outubro; f) cultivo consociado capim Marandu + aveia preta + azevém, 5 de maio a 7 de outubro.

Embora o IAF tenha apresentado menores valores no cultivo consorciado, sabe-se que esse valor para as plantas como aveia preta e azevém é alto. Pode-se se afirmar que essa superestimativa origina-se do aparelho analisador, o qual considera toda a superfície da planta presente, podendo ser folhas, colmos ou material morto (SBRISSIA; DA SILVA, 2008a). A porcentagem de colmos dessas duas espécies é grande; a aveia pode chegar a ter cerca de 50% de colmos em consorcio com azevém (AGUINAGA et al., 2008). Juntas, elas podem chegar a 70% de colmos (DUCHINI, 2013)

A altura do dossel a IL = 95% ficou entre 24 e 34 cm, dependo do ciclo. Marchesan et al. (2015) estudaram o consorcio azevém + aveia e observaram uma altura de 33,58 cm ao atingir IL = 95%. O padrão de aumento de ADF no consórcio é semelhante ao capim Marandu solteiro relatado anteriormente, porém, nele o aumento se dá pela emissão de pendões florais.

A Figuras 46, 47 e 48 mostram as correlações entre os coeficientes de cultura (Kc), estimados por meio dos dois lisímetros em A1 e A2, e IAF, ALT e IL no ciclo 3 (C3). Dentre esses, os dados que geraram o melhor ajuste foram de Kc x IAF ($R^2$ = 0,96; 0,70 e 0,67), seguidos por ADF ($R^2$ = 0,96; 0,54 e 0,58). Considerando-se as curvas de ajustes anteriores do mesmo ciclo C3 (Figura 45 a, d), é possível estimar o Kc a partir da altura do dossel forrageiro, utilizando as equações de regressão.

Silva et al. (2014) afirmam que o Kc e IAF das culturas são indicadores importantes, pois refletem a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente. Os autores supracitados, analisaram o consorcio de milho com capim Marandu criando um modelo de regressão polinomial de terceira ordem para estimativa de IAF e Kc a partir do tempo (dias) após a emergência. Nesse estudo, foram utilizados modelos polinomiais de segunda ordem para obtenção de resultados satisfatórios.

Diversos trabalhos foram realizados para gerar interações entre graus-dias e outros fatores, dentre esses a área foliar (SOUZA et al., 2010), a interceptação luminosa (MORENO et al., 2014), o coeficiente de cultura (MOURA et al., 2010; SILVA et al., 2012) e a

profundidade efetiva de raízes (GURSKI et al., 2016). Em todos os trabalhos, a interação foi significativa e apresentou altos coeficientes de determinação.

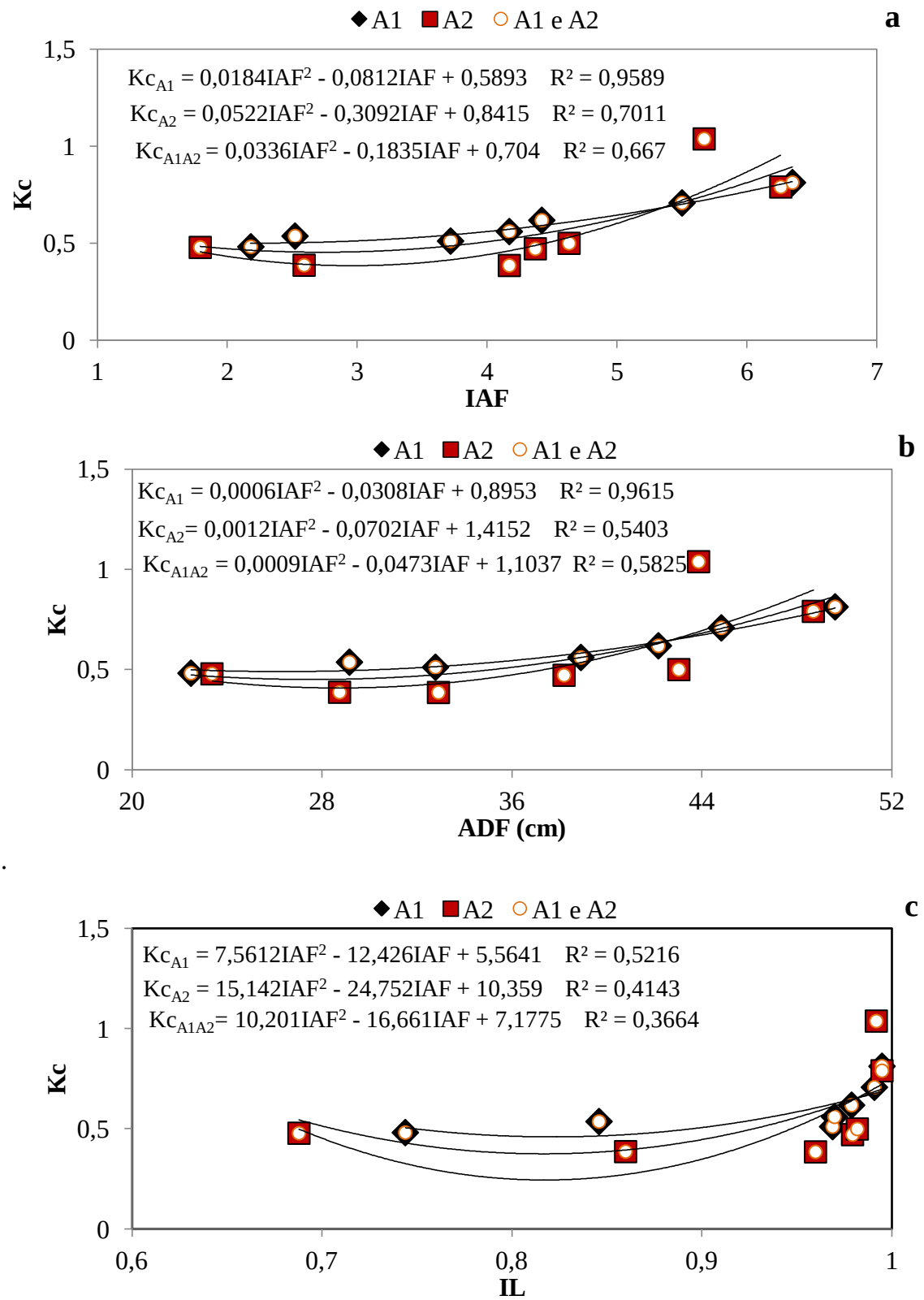



**Figura 46. a)** Coeficiente de cultura (Kc) em função do índice de área foliar (IAF); **b)** Kc em função da altura do dossel forrageiro (ADF); **c)** Kc em da interceptação luminosa (IL) com

equação da interação para área 1 (A1), área 2 (A2) e ambas as áreas (A1 e A2), período compreendido no final do verão e inicio do outono.

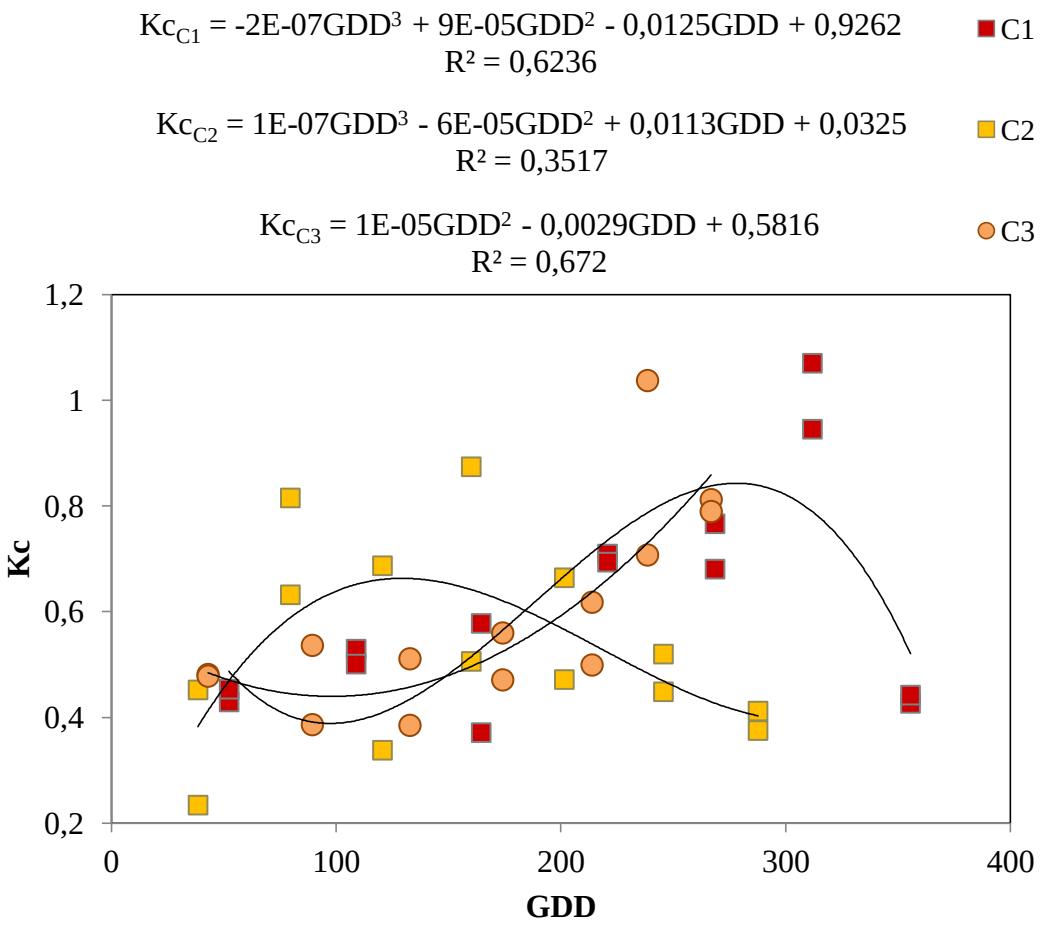



**Figura 47.** Coeficiente de cultura (Kc) em função de graus dias de desenvolvimento (GDD) com equação da interação para ciclo 1 (C1), ciclo 2 (C2) e ciclo 3 (C3), período compreendido de 10 de fevereiro a 4 de maio de 2016.

A interação GD x Kc foi realizada por meio da soma acumulada a cada 4 dias dos dados diários calculados de graus-dias, estes então foram correlacionados com os de coeficiente de cultura (Kc) gerando as curvas de regressão estão ilustradas na Figura 47.

Os três ciclos apresentaram comportamentos diferentes, em C o Kc máximo foi atingido em acúmulos de GDD próximos 312, já nos ciclos C2 e C3 o Kc foi variável, atingindo valores máximo entre 160 a 200 para C2 e 239 a 267 para C3 aproximadamente.

No período que compreendeu os ciclos estacionais (maio a outubro) das duas parcelas estudadas, foram estimados Kcs para os ciclos C6 e C7 da A1 e C7 e C8 de A2. Os ajustes para as correlações de Kc versus IAF, IL e ADF desses ciclos foram analisados e

apresentavam correlações ($R^2$) baixas. Por conta disso, optou-se pela correção dos valores de IAF e GDD apresentados na Figura 48.

Todas as correlações ajustaram-se a padrões de regressão não linear (potência) com $R^2$ ajustados acima de 0,66. Pela Figura 48 percebe-se que os ciclos de sobressemeadura (gráfico c) necessitaram de menor acúmulo de GDD em comparação a parcela do capim solteiro. Isso ocorreu porque os ciclos foram conduzidos com menor tempo (dias).

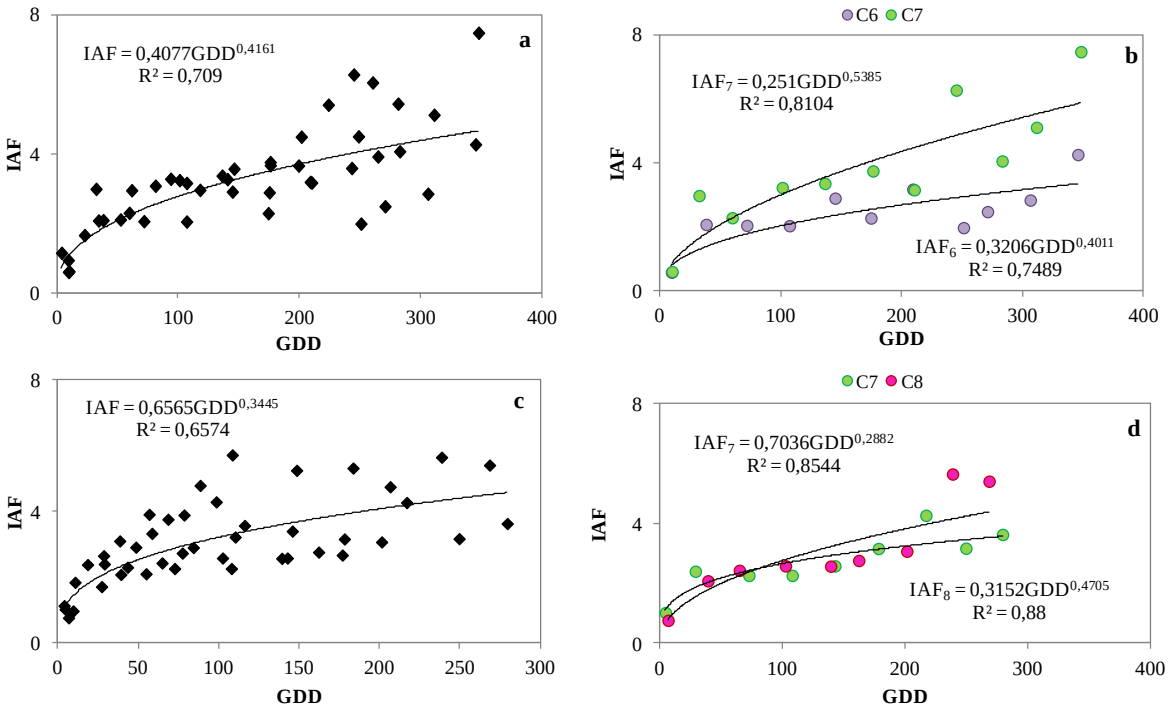



**Figura 48.** Graus-dia de desenvolvimento (GDD) x Índice de área foliar (IAF) em a) Cultivo solteiro de capim Marandu, período de 5 de maio a 11 de outubro; b) Cultivo solteiro de capim Marandu, ciclos C6 e C7; c) Cultivo consorciado de capim Marandu + aveia preta e azevém, período de 5 de maio a 7 de outubro; d) Cultivo consorciado de capim Marandu + aveia preta e azevém, ciclos C7 e C8.

Ferreira Junior et al. (2014) também correlacionaram IAF e GDD para a cultura da cana-de-açúcar, obtendo coeficiente de correlação acima de 0,98 e podendo, assim, estimar o IAF diário ao longo do ciclo.

Os modelos IAF x GDD devem ser utilizados com os modelos de regressão de Kc x GDD apresentados na Figuras 49, uma vez que a determinação direta de Kc pelos fatores biométricos não foi precisa nesses ciclos.

Independentemente do modo de cultivo do capim Marandu (solteiro ou consorciado), os modelos de Kc x GDD apresentaram $R^2$ ajustado baixo. Para o ciclo 7 da área A1 não houve modelo ajustável. Na área A2 (Figura 49), os valores máximos de Kc foram encontrados com GDD entre 200 e 217. Silva et al. (2012) e De Souza et al. (2015) utilizaram

a equação sigmoidal Gaussiana com três parâmetros, obtendo altos coeficientes de determinação. Nesse caso, poderiam ser testados outros modelos a fim da verificação do melhor ajuste.

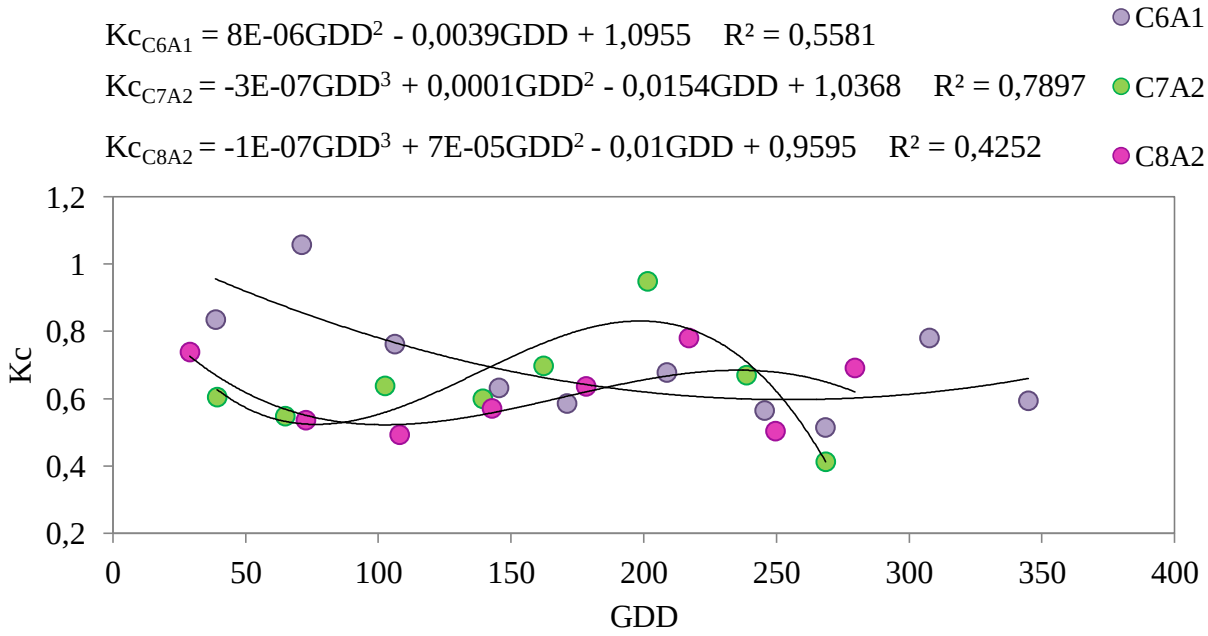



**Figura 49**. Coeficiente de cultura (Kc) em função de graus dias de desenvolvimento (GDD) com equação da interação para ciclo 6 (C6) da parcela A1 e ciclo 7 (C7) e ciclo 8 (C8) da A2.

## 4.6.Conclusões

As correlações entre altura do dossel forrageiro (ADF), índice de área foliar (IAF) e interceptação luminosa (IL) do capim Marandu solteiro e consorciado apresentaram ajustes de regressão aplicáveis, os quais podem ser utilizados na estimada de Kc por meio das equações ajustadas de Kc x IAF x ADF para o período compreendido no final de verão e início do outono.

Tais relações também podem ser aplicadas para o modelo IAF x GDD e na estimativa de Kc por meio de GDD.

## Referências

AGUINAGA, A. A. Q.; CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; PILAU, A.; AGUINAGA, A. J. Q.; GIANLUPP, G. D. F. Revista Brasileira de Zootecnia Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 9, p. 1523–1530, 2008.

ALENCAR, C. A. B. de; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DE OLIVEIRA, R. A.; DA CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 21–27, 2010.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998. Disponível em: <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. DE. Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) do capim Tanzânia no norte de Minas Gerais. **Irriga**, v. Edição Esp, n. IRRIGA e INOVAGRI, p. 11–20, 2015.

BLACK, C.; ONG, C. Utilisation of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 104, n. 1, p. 25–47, 2000.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2403–2417, 2003.

DANTAS, G. D. F.; FARIA, R. T. DE; SANTOS, G. O.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 469–481, 2016.

DE SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; DA SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; DE CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 15–22, 2011.

DE SOUZA, L. S. B.; DE MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; DA SILVA, T. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151–160, 2015.

DUCHINI, P. G. **Dinâmica do acúmulo de do perfilhamento em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou em consórcio**. 2013. Universidade do estado de Santa Catarina, 2013.

DUCHINI, P. G.; GUZATTI, G. C.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; SBRISSIA, A. F. Tiller size/density compensation in temperate climate grasses grown in monoculture or in intercropping systems under intermittent grazing. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 4, p. 655–665, 2014.

FERREIRA JUNIOR, R. A. F.; SOUZA, J. L. De; ESCOBEDO, J. F.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; NETO, R. A. D. A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 08, p. 798–804, 2014.

GIMENES, F. M. A. de; DA SILVA, S. C.; FIALHO, C. A.; GOMES, M. B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M. T. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 751–759, 2011.

GURSKI, B. C.; SOUZA, J. L. M. DE; EVANGELISTA, A. W. P.; JERSZURKI, D.; ARMINDO, R. A. Modelos para estimativa diária da profundidade efetiva do sistemate radicular da cana-de-açúcar, feijoeiro e milho. **Irriga**, v. Edição Esp, n. Irrigação, p. 155–167,

2016.

LENA, B. P.; FARIA, R. T. de; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G. dos. Performance of SMA-C model on crop evapotranspiration estimation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1894–1901, 2016. Disponível em: <http://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/5A9AFF358703>.

LENA, B. P.; FLUMIGNAN, D. L.; DE FARIA, R. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros adultos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 905–911, 2011.

MARCHESAN, R.; PARIS, W.; TONION, R.; MARTINELLO, C.; MOLINETE, M. L.; PAULA, F. L. M.; ROCHA, R. Valor nutricional de cultivares de azevém consorciados ou não com aveia sob dois resíduos de pastejo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n. 3, p. 254–263, 2015. Disponível em: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711432015254>.

MORENO, L. S. B.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; ALVES, R. R. Base temperature determination of tropical Panicum spp. grasses and its effects on degree-day-based models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 186, p. 26–33, 2014.

MOURA, C. R. W.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, R. A. de. Coeficiente de cultura da alface hidropônica baseado no conceito de graus-dia. **Ceres**, v. 57, n. 2, p. 224–233, 2010.

SANTOS, W. D. O.; SOBRINHO, J. E.; DE MEDEIROS, J. F.; DE MOURA, M. S. B.; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido Brasileiro. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 559–572, 2014.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212–220, 2008.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C. **Área foliar e coeficiente milho-braquiária irrigado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2014. v. 316

SILVA, A. L. B. O.; PIRES, R. C. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; ROLIM, G. S. Consumo de água de variedades de cana-de-açucar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: Inovagri International Meeting - 2012, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: 2012.

SILVEIRA, M. C. T. da; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; RODRIGUES, C. S.; PENA, K. da S.; DE SOUZA, S. J.; BARBERO, L. M.; LIMÃO, V. A.; EUCLIDES, V. P. B.; DA SILVA, S. C. Forage sward structure of Mulato grass (Brachiaria hybrid ssp.) subjected to rotational stocking strategies. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 6, p. 864–873, 2016.

SNYDER, R. L. Hand calculating degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 35, n. 1-4, p. 353–358, 1985.

SOUZA, F. E. F. de; CHIG, L. A.; COSTA, R. H. de A. M.; LENZA, J. B.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Relação entre acúmulo de graus-dia e de unidades fototérmicas e crescimento vegetativo do maracujazeiro roxo (Passiflora edulis sims). **UNICiências**, v. 14, n. 1, p. 39–51, 2010.

TRINDADE, J. K. da; SILVA, S. C. da; SOUZA JÚNIOR, S. J. de; GIACOMINI, A. A.; ZEFERINO, C. V.; GUARDA, V. D. A.; CARVALHO, P. C. de F. Composição morfológica da forragem de capim-marandu consumida por bovinos de corte em pastejo rotativo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 883–890, 2007.

VILLA NOVA, N. A.; TONATO, F.; PEDREIRA, C. G. S.; MEDEIROS, H. R. De. Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 545–549, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000200039&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

# 5. CONCLUSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos nesse trabalho, conclui-se que o estudo das características produtivas do capim Marandu integrado com a demanda de água pela cultura necessitam de estudos adicionais comparativos a esse, principalmente para estimativa do coeficiente de cultua (Kc) por lisímetros de pesagem em outros períodos de cultivos.

A determinação de coeficiente de cultura por meio de lisímetros de pesagem requer atenção para desde a instalação, na escolha do local, conhecimento dos arredores, quando na análise dos dados.

O uso da sonda capacitiva como método alternativo a lisimetria requer averiguação dos resultados, uma vez que eles são influenciados pelas características do solo onde os tubos de acesso foram instalados.

A sobressemeadura no capim Marandu irrigado gera retornos produtivos maiores durante o período estacional em conjunto com a irrigação.

Os modelos correlacionados de Kc e as variáveis de IAF, ADF, IL e GDD gerados a partir dos dados mostram o comportamento da cultura em cultivo solteiro e quando consorciada com forrageiras de inverno e além disso podem ser utilizados na prática.

# REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. de; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DE OLIVEIRA, R. A.; DA CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 21–27, 2010.

ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; DE OLIVEIRA, R. A.; ARAÚJO, R. A. S. Adubação nitrogenada e estações anuais na produção de capins irrigados no leste mineiro sob corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, p. 413–425, 2013.

ALEXANDRINO, E.; JÚNIOR, N.; MOSQUIM, P. R.; JOSÉ, A.; ROCHA, F. C. Características norfogênicas e rstruturais na rebrotação da Brachiaria brizantha cv . Marandu submetida a três doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1372–1379, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n6/a03v33n6>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998. Disponível em: <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 Dual Crop Coef cient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. February, p. 2–13, 2005.

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. de A.; XAVIER, D. F. **As principais espécies de brachiaria utilizadas no país**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2002.

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

ARAUZO, M.; MARTÍNEZ-BASTIDA, J. J.; VALLADOLID, M.; DÍEZ, J. A. Field evaluation of Gee Passive Capillary Lysimeters for monitoring drainage in non-gravelly and gravelly alluvial soils: A useful tool to estimate nitrogen leaching from agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 3, p. 465–474, 2010.

ATES, S.; ISIK, S.; KELES, G.; AKTAS, A. H.; LOUHAICHI, M.; NANGIA, V. Evaluation of deficit irrigation for efficient sheep production from permanent sown pastures in a dry

continental climate. **Agricultural Water Management**, v. 119, p. 135–143, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.017>.

AZEVEDO, L. P. de; SAAD, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 492–503, 2009.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. DE. Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) do capim Tanzânia no norte de Minas Gerais. **Irriga**, v. Edição Esp, n. IRRIGA e INOVAGRI, p. 11–20, 2015.

BARBOSA, R. A.; DO NASCIMENTO, D.; EUCLIDES, V. P. B.; DA SILVA, S. C.; ZIMMER, A. H.; TORRES, R. A. D. A. Capim-tanzânia submetido a combinaçõeses entre intensidade e frequencia de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 329–340, 2007.

BENEDETTI, E.; DEMETRIO, R. A. COLMANETTI, A. L. Avaliação da resposta da cultivar Tanzânia (Panicum maximum) irrigado em solo de cerrado brasileiro. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE LA LECHE, 7, Havana. **Anais**... Havana: Fepale, 2000.

BERTOLOTE, L. E. M. **Sobressemeadura de forrageiras de clima temperado em pastagens tropicais**. 2009. Uiversidade Estadual Paulista “Julio de Mesquia Filho”, FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, 2009.

BERTOLOTE, L. E. M.; CAMPANA, M.; OLIVEIRA, P. P. A.; JOZIVALDO PRUDÊNCIO GOMES DE MORAIS, R. G. Produção de forragem e qualidade de genótipos de aveia sobressemeadas em capim-tanzânia. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, **Anais**...2008.

BOTREL, M. A.; NOVAES, L. P.; ALVIM, M. J. **Características de forrageiras de algumas gramíneas tropicais**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 1998.

BUENO, M. R.; TEODORO, R. E. F.; ALVARENGA DE, C. B.; GONÇALVES, M. V. Determinação do coeficiênte de cultura para o capim tanzânia. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, p. 29–35, 2009.

CAMPECHE, L. F. M. de S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte; Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 519–525, 2011.

CARNEVSKIS, E. L. **Determinação de eventos de deficiência hídrica máxima com fins de implantação de sistemas de irrigação em pastagens tropicais**. 2016. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2016.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ5, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, Calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agricola**, v. 27, n. 2, p. 363–372, 2007.

CARVALHO, P. C. de F.; SANTOS, D. T. dos; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A. de; NABINGER, C. Forrageiras de Clima Temperado. In: FONCESA, D. M. DA; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas Forrageiras**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. p. 537.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no brasil**. 2007. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2007. Disponível em: <http://www.lcb.esalq.usp.br/extension/DESAAFCA/cafe.pdf\nhttp://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/11/tde-06112007-101254/en.php>.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Manejo de pastagens para produção de carne e leite. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 15, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1998.

COSTA, K. A. D. P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I. P. De; CUSTÓDIO, D. P.; SILVA, D. C. E. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da Brachiaria brizantha cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 187–193, 2005.

DA ROCHA, M. G.; PEREIRA, L. E. T.; SCARAVELLI, L. F. B.; OLIVO, C. J.; AGNOLIN, C. A.; ZIECH, M. F. Produção e qualidade de forragem da mistura de aveia e azevém sob dois métodos de estabelecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 1, p. 7–15, 2007.

DA SILVA, s. c. Manejo do pastejo para a obtenção de forragem de qualidade. In: Simpósio goiano sobre manejo e nutrição de bovinos de corte e leite, 7, Goiânia. **Anais**... Goiânia: CBAN, 2005.

DA SILVA, C. E. K.; DE MENEZES, L. F. G.; ZIECH, M. F.; KUSS, F.; RONSANI, R.; BIESEK, R. R.; BOITO, B.; LISBINSKI, E. Sobressemeadura de cultivares de aveia em pastagem de estrelaafricana manejada com diferentes resíduos de forragem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2441–2450, 2012.

DA SILVA, F. F.; DE SÁ, J. F.; SCHIO, A. R.; ÍTAVO, L. C. V.; SILVA, R. R.; MATEUS, R. G. Suplementação a pasto: Disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SUPPL. 1, p. 371–389, 2009.

DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; MATOS, J. de A.; GUERRA, H. O. C. Necessidades hídricas e eficiência de uso de água pelo capim Buffel. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 25–28, 1996.

DANTAS, G. D. F.; FARIA, R. T. DE; SANTOS, G. O.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 469–481, 2016.

DIAS FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.

DIEESE. **Estatísticas do meio rural**. 4. ed. São Paulo: Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos; Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural; Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2011.

DUPAS, E.; BUZETTI, S.; SARTO, A. L.; HERNANDEZ, F. B. T.; BERGAMASCHINE, A. F. Dry matter yield and nutritional value of Marandu grass under nitrogen fertilization and irrigation in cerrado in São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 12, p. 2598–2603, 2010.

EUCLIDES, V. P. B.; COSTA, F. P.; MACEDO, M. C. M.; FLORES, R.; DE OLIVEIRA, M. P. Eficiência biológica e econômica de pasto de capim-tanzânia adubado com nitrogênio no final do verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1345–1355, 2007.

FAOAQUASTAT. **AQUASTAT**. September. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>. Acesso em: 10 dez. 2016a.

FAOAQUASTAT. **Area equipped for full control irrigation: total**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&showCodes=false&yearRange.fromYear=1958&yearRange.toYear=2017&varGrpIds=4311,4312,4316,4313,4328&regIds=9805,9806,9807,9808,9809&query_type=IRRpage&newestOnly=true&showV>. Acesso em: 12 dez. 2016b.

FARIA, R. T. De; CAMPECHE, F. D. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 43, p. 237–242, 2006.

FEALQ, F. de E. A. L. de Q. **Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil.**Projeto de Cooperação Técnica IICA/BRA/08/002, , 2014. . (Nota t?cnica).

FLOSS, E. L. Manejo forrageiro da aveia e azevém. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 6., Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1988.

GARGANTINI, P. E.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Irrigação e adubação nitrogenada em capim Mombaça na região oeste do estado de São Paulo. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, **Anais**...2005.

GASTAL, F. .; BÉLANGER, G. .; HERLS, P. O. The effects of nitrogen and the growing season on photosynthesis of fieldgrown tall fescue canopies. **Annals of Botany**, v. 72, p. 401–408, 1992.

GERDES, L.; DE MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; DOS SANTOS, L. E.; DA CUNHA, E. A.; BUENO, M. S.; SCHAMMASS, E. A. Características do dossel forrageiro e acúmulo de forragem em pastagem irrigada de capim-aruana exclusivo ou sobre-Semeado com uma mistura de espécies forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1088–1097, 2005.

GIMENES, F. M. A. de; DA SILVA, S. C.; FIALHO, C. A.; GOMES, M. B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M. T. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 751–759, 2011.

IBGE. Censo Agropecuário 2006. **Ibge**, p. 777, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Plant Water Consumption and Response. Water Deficits and Plant Growth, Vol. II**. New York: Academic Press, 1968. p. 1–21.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitshrift**, v. 15, n. 3, p. 25–263, 2006.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266–273, 2008.

LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D.; SORIA, L. G. T.; PINHEIRO, V. D. Coeficiente de cultura (Kc) do capim Tanzânia (Panicum maximum Jacq) irrigado por pivô central. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: SBZ, 2001.

MAGALHÃES, M. D. A.; MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M. da; OLIVEIRA, I. M. de; FREITAS, F. P. de; FARIA, D. J. G.; OLIVEIRA, R. A. de; JÚNIOR, J. I. R. Influência da irrigação , da densidade de plantio e da adubação nitrogenada nas características morfogênicas , estruturais e de produção do capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2308–2317, 2011.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a Brachiaria brizantha pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 2, p. 206–213, 2011.

MENDONÇA, F. C.; RASSINI, J. B. Temperatura-base inferior e estacionalidade de produção de gramíneas forrageiras tropicais. **Circular Técnica**, v. 45, p. 9 p., 2006.

MENDONÇA, F. C.; RASSINI, J. B.; VILLA NOVA, N. A. Determinação da temperatura-base inferior de plantas forrageiras com o uso de unidades fototérmicasa. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15, Teresina. **Anais**... Teresina: 2005.

MOREIRA, A. L.; REIS, R. A.; BARBOSA, J. C.; SIMILI, F. F.; SILVEIRA, R. N. da; CANESIN, R. C.; MACITELLI, F. Sobressemeadura das espécies de inverno no capim tifton-85. Produção e distribuição das forrageiras. In: Reunião da Sociedade Brasiileira de Zootecnia, 39, Recife. **Anais**... Recife: SBZ, 2002.

MOREIRA, A. L.; REIS, R. A.; SIMILI, F. F.; PEDREIRA, M. dos S.; ROTH, M. de T. P.; RUGGIERI, A. C. Época de sobressemeadura de gramíneas anuais de inverno e de verão no capim Tifton 85: Valor nutritivo. **Ciência e agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 335–343, 2006.

NILES, M. T.; MUELLER, N. D. Farmer perceptions of climate change : Associations with observed temperature and precipitation trends , irrigation , and climate beliefs. **Global Environmental Change**, v. 39, p. 133–142, 2016.

OLIVEIRA, P. P. A. Produção de forragem e composição botânica de três espécies de pastagens tropicais sobressemeadas com aveia ou azevém. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Jaboticabal. **Anais**... Jaboticabal: 2007.

OLIVEIRA, P. P. A.; PRIMAVESI, A. C.; CAMARGO, A. C. de; RIBEIRO, W. M.; SILVA, E. T. M. da. Recomendação da sobressemeadura de aveia forrageira em pastagens tropicais ou subtropicais irrigadas. **Comunicado Técnico**, v. 61, p. 7, 2005.

PEDREIRA, C. G. S.; TONATO, F.; LARA, M. A. S. FORRAGEIRAS brachiaria, panicum e cynodon. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.). **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília-DF: INMET, 2009. p. 530.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013.

PETERS, A.; NEHLS, T.; SCHONSKY, H.; WESSOLEK, G. Separating precipitation and evapotranspiration from noise - A new filter routine for high-resolution lysimeter data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 3, p. 1189–1198, 2014.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CHINELLATO, A.; GODOY, R. Indicadores de determinação de cortes de cultivares de aveia forrageira. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 79–

89, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000100014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

PRIMAVESI, O.; GODOY, R.; SOUZA, F. H. D. de. **Avaliação de genótipos e recomendação de cultivares de aveia forrageira, na região sudeste, para o ano de 2007**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006.

PRUITT, W. O.; ANGUS, D. E. Large Weighing Lysimeter for Measuring Evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, v. 3, n. 2, p. 0013–0015, 1960.

RAIJ, B. van; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de são paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronomico de Campinas: Fundação IAC, 1996.

RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 821–825, 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

ROLIM, F. A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 6., Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1980.

ROSO, C.; RESTLE, J.; SOARES, A. B.; ANDREATTA, E. Aveia Preta, Triticale e Centeio em Mistura com Azevém. 1. Dinâmica, Produção e Qualidade de Forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 75–84, 2000.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FASOLIN, J. P.; SOARES, M. R. C.; GOES, R. H. T. B. De. 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.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013.

SANTOS, P. M.; MOREIRA, D. D. P.; SILVA, C. E. da; AGUIAR, A. D.-S.; FERRAZZA, R. D. A. **Efeito da irrigação sobre a taxa de lotação em pastagens de capim- tanzânia utilizadas para produção de leite em são carlos, sp**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C. **Área foliar e coeficiente milho-braquiária irrigado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2014. v. 316

SPEDDING, C. R. W.; DIEKMAHNS, E. C. **Grasses and legumes in british agriculture**. 1.

ed. Farnham Royal: Commonwealth Agriculture Bureaux, 1972.

TEIXEIRA, F. A.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V.; DA SILVA, F. F.; FRIES, D. D.; DA HORA, D. S. Produção anual e qualidade de pastagem de brachiaria decumbens diferida e estratégias de adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 33, n. 3, p. 241–248, 2011.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio. **Câmara Setorial de Equipamento de Irrigação - CSEI**, p. 45, jun. 2002.

VALLE, C. B. do; EUCLIDES, V. P. B.; PEREIRA, J. M.; PAGLIARINI, J. R. V. M. S.; MACEDO, M. C. M.; LEITE, G. G.; LOURENÇO, A. J.; FERNANDES, C. D.; FILHO, M. B. D.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M. A. de. **O capim-xaraés (brachiaria brizantha cv. xaraés) na diversificação das pastagens de braquiária**. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. v. 149

VALLE, C. B. do; MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. Gênero Brachiaria. In: FONSECA, D. M. DA; JANINA AZEVEDO MARTUSCELOO (Ed.). **Plantas Forrageiras**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. p. 537.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-from equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils**Riverside, CAU.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, , 1991. .

VILELA, D.; ALVIM, M. J. Produção de leite em pastagens de Cynodon dactylon (L.) Pers. Cv. “coast-cross”. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, Juiz de Fora. **Anais**... Juiz de Fora: EMBRAPA CNPGL, 1996.

VILLA NOVA, N. A. .; BARIONI, L. G. .; PEDREIRA, C. G. S. .; PEREIRA, A. R. Modelo para previsão da produtividade de capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 75–79, 1999.

VILLA NOVA, N. A.; TONATO, F.; PEDREIRA, C. G. S.; MEDEIROS, H. R. De. Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 545–549, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000200039&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

VITOR, C. M. T. **Adubação nitrogenada e lâmina de água no crescimento do capim-**

**elefante**. 2006. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

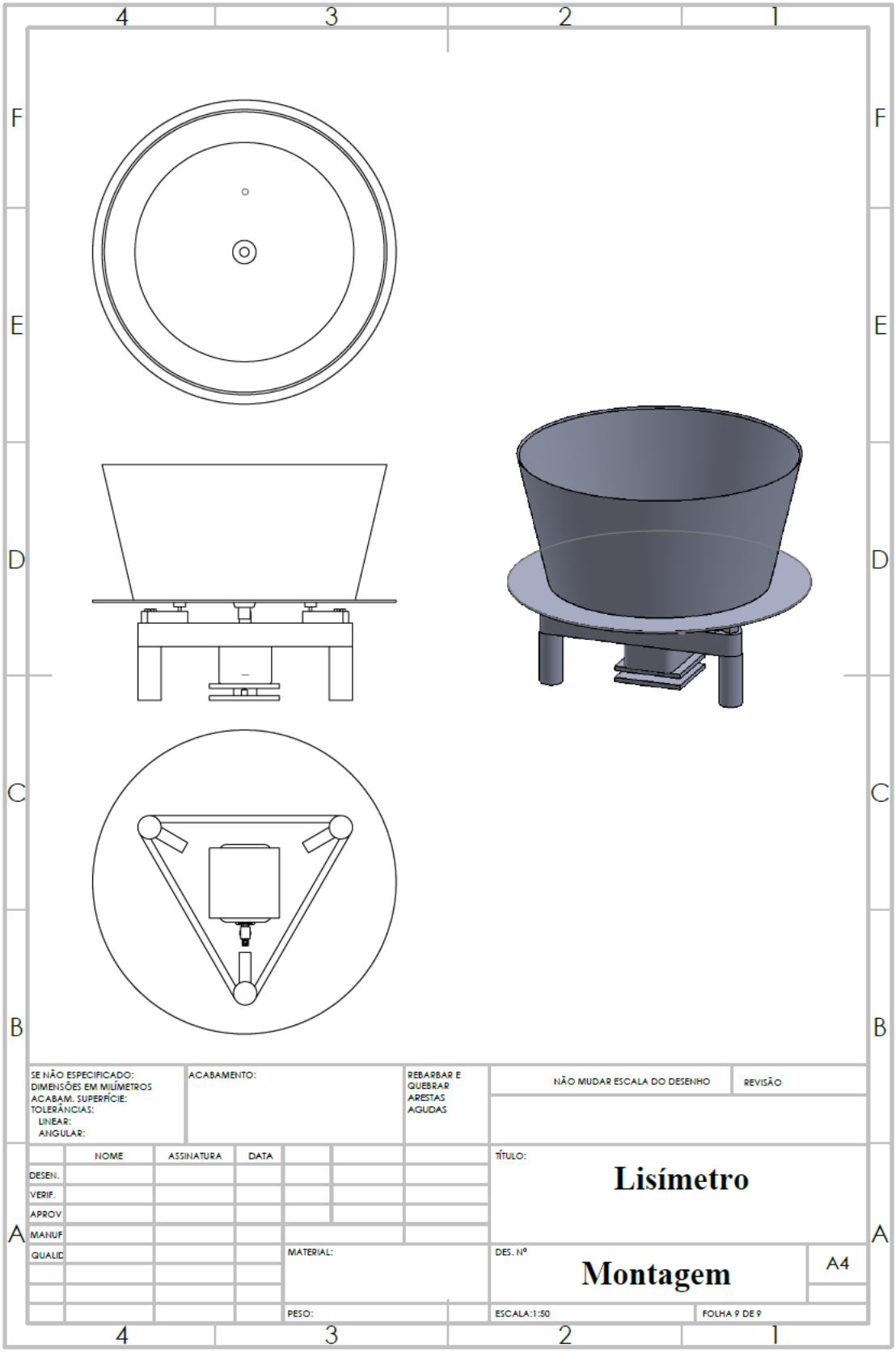
VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. M. da; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; JÚNIOR, D. do N.; JÚNIOR, J. I. R. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 435–442, 2009.

ZEFERINO, C. V. **Morfogênese e dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu [brachiaria brizantha (hochst . ex a . rich) cv . marandu] submetidos a regimes de lotação intermitente por bovinos de corte**. 2006. Univerisdade de São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-27022007-163624/pt-br.php>.

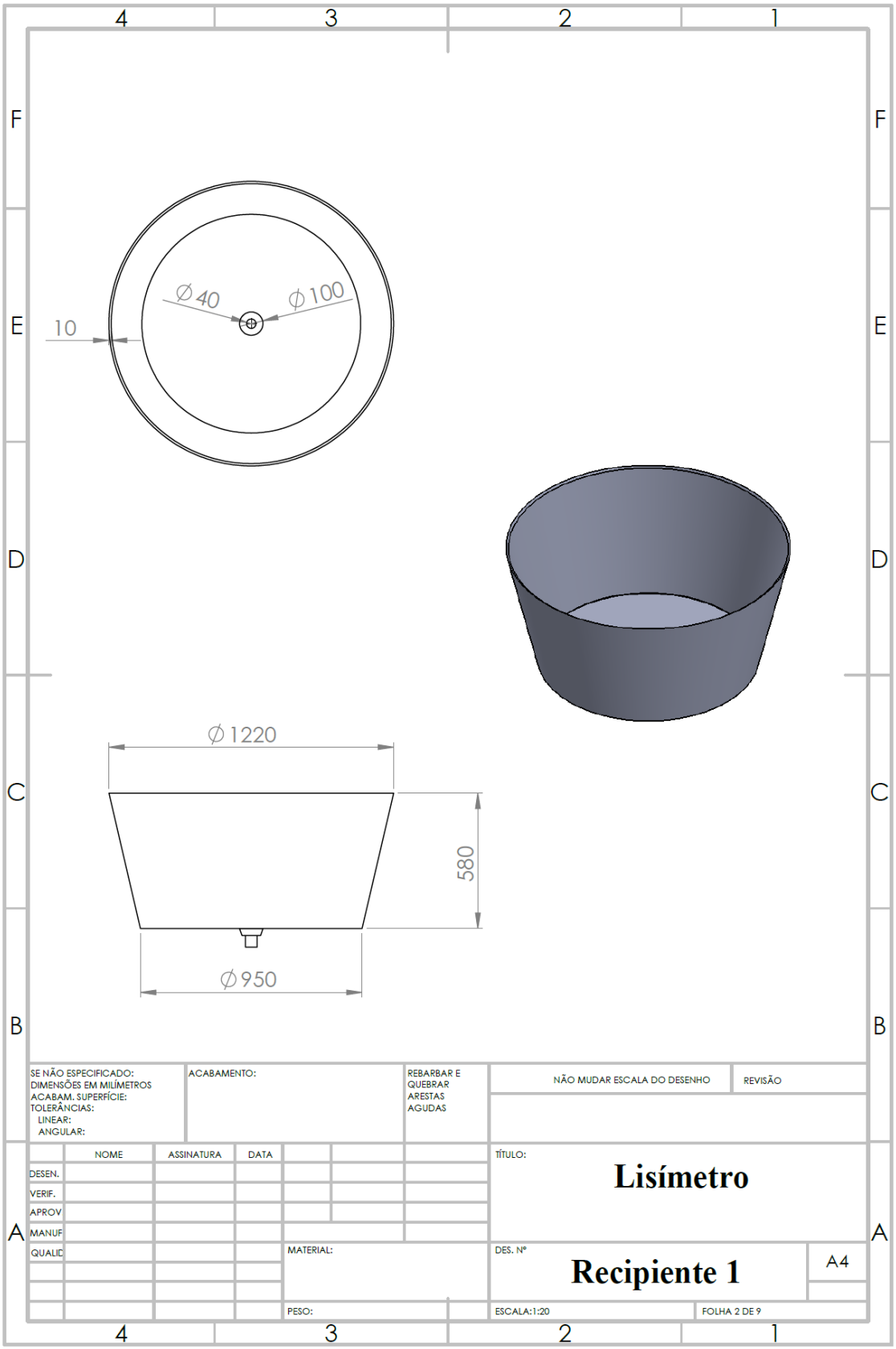
ZORZELLA;, M. D.; FERNANDES;, S. B. V.; LONDERO;, A. L.; SCHIAVO;, J.; SARTORI, O. Estabelecimento e produção de espécies hibernais sobressemeadas em pastagem de Tifton 85 manejada sob pastejo. In: XXI Seminário de Iniciação Científica, Ijuí, RS. **Anais**... Ijuí, RS: 2013.

# Anexos

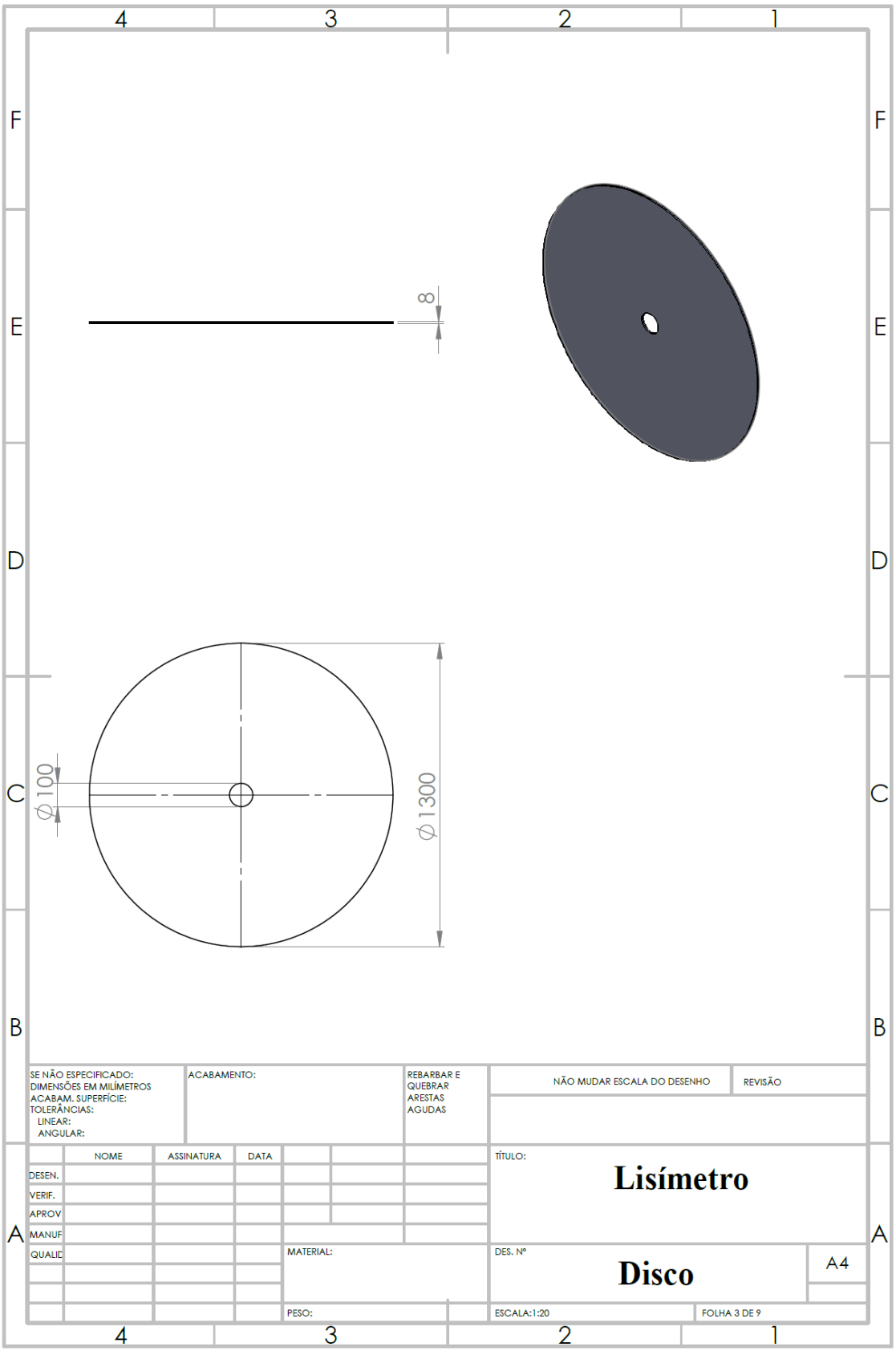
**Anexo A.** Sistema Lisimétrico.



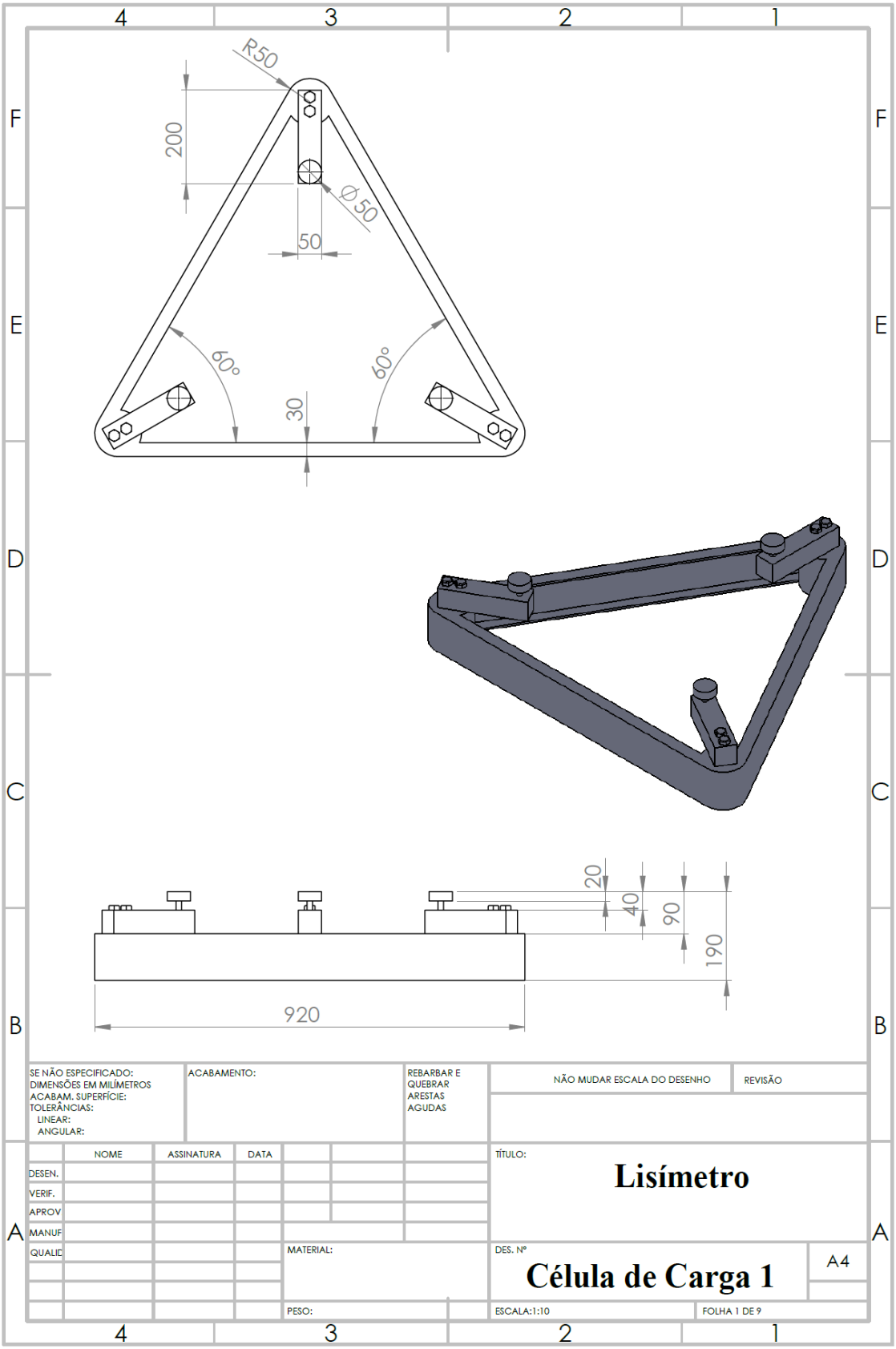
**Anexo B.** Recipiente 1



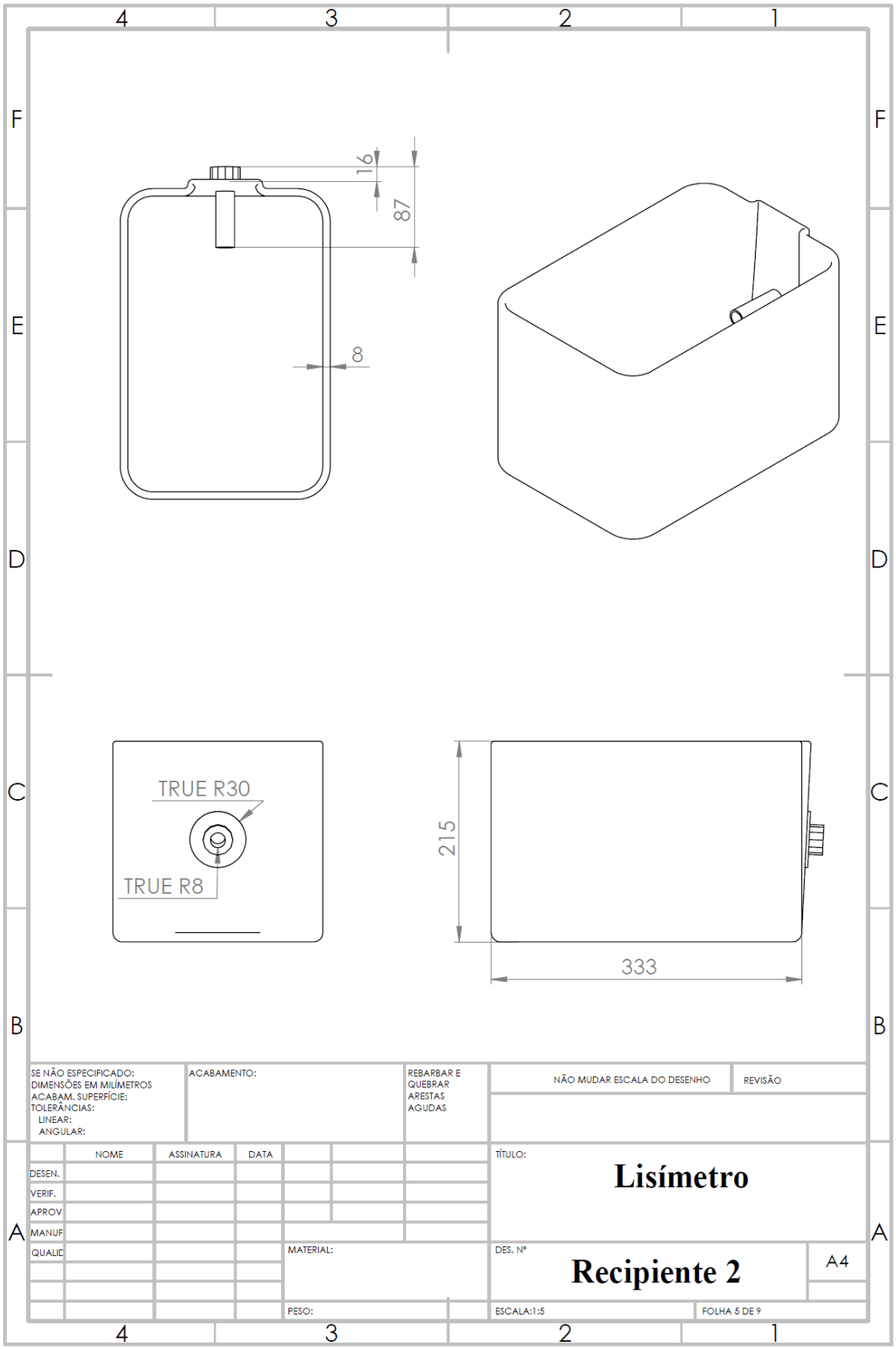
**Anexo C.** Chapa de sustentação



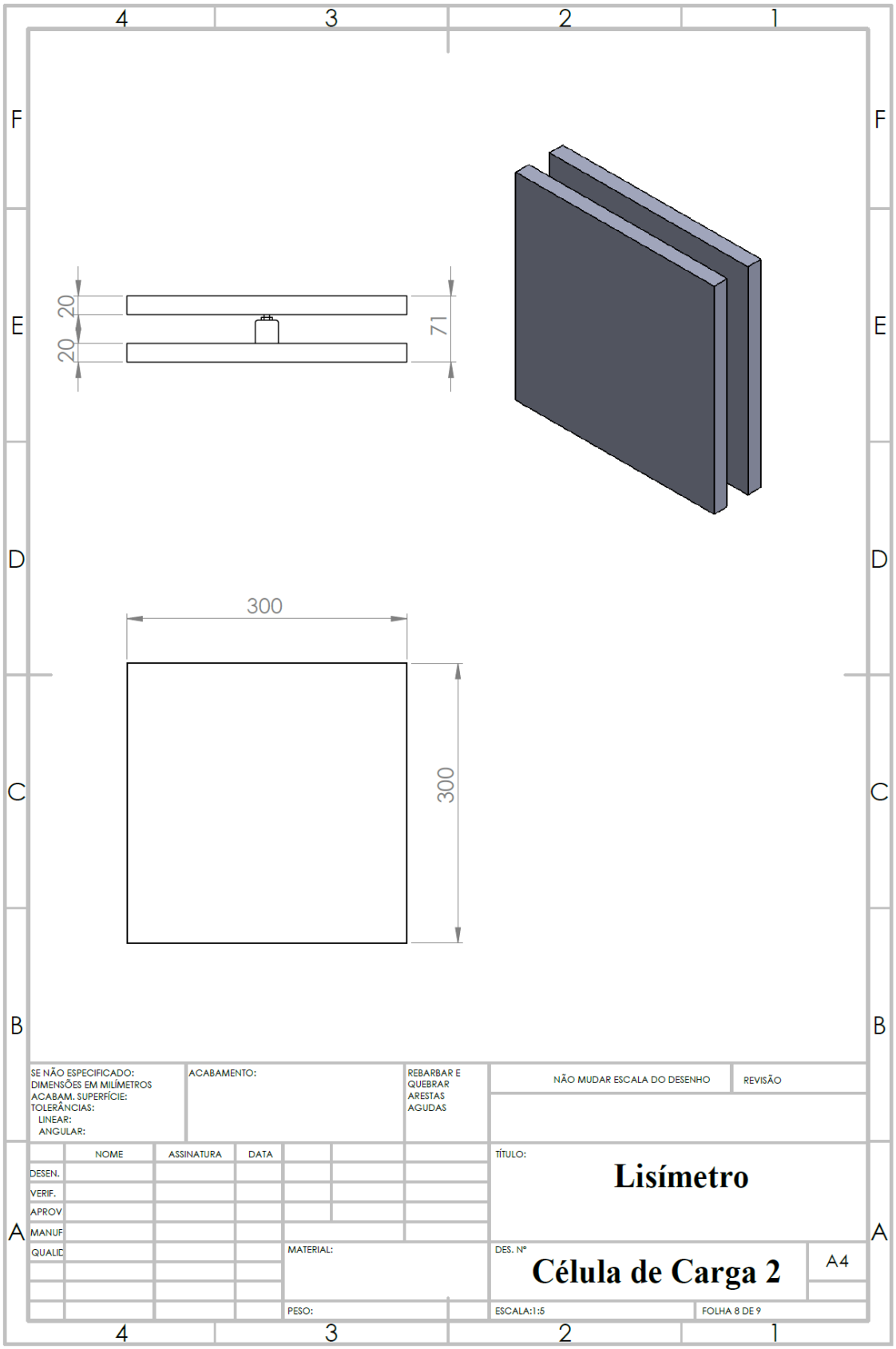
**Anexo D.** Triângulo com células de carga



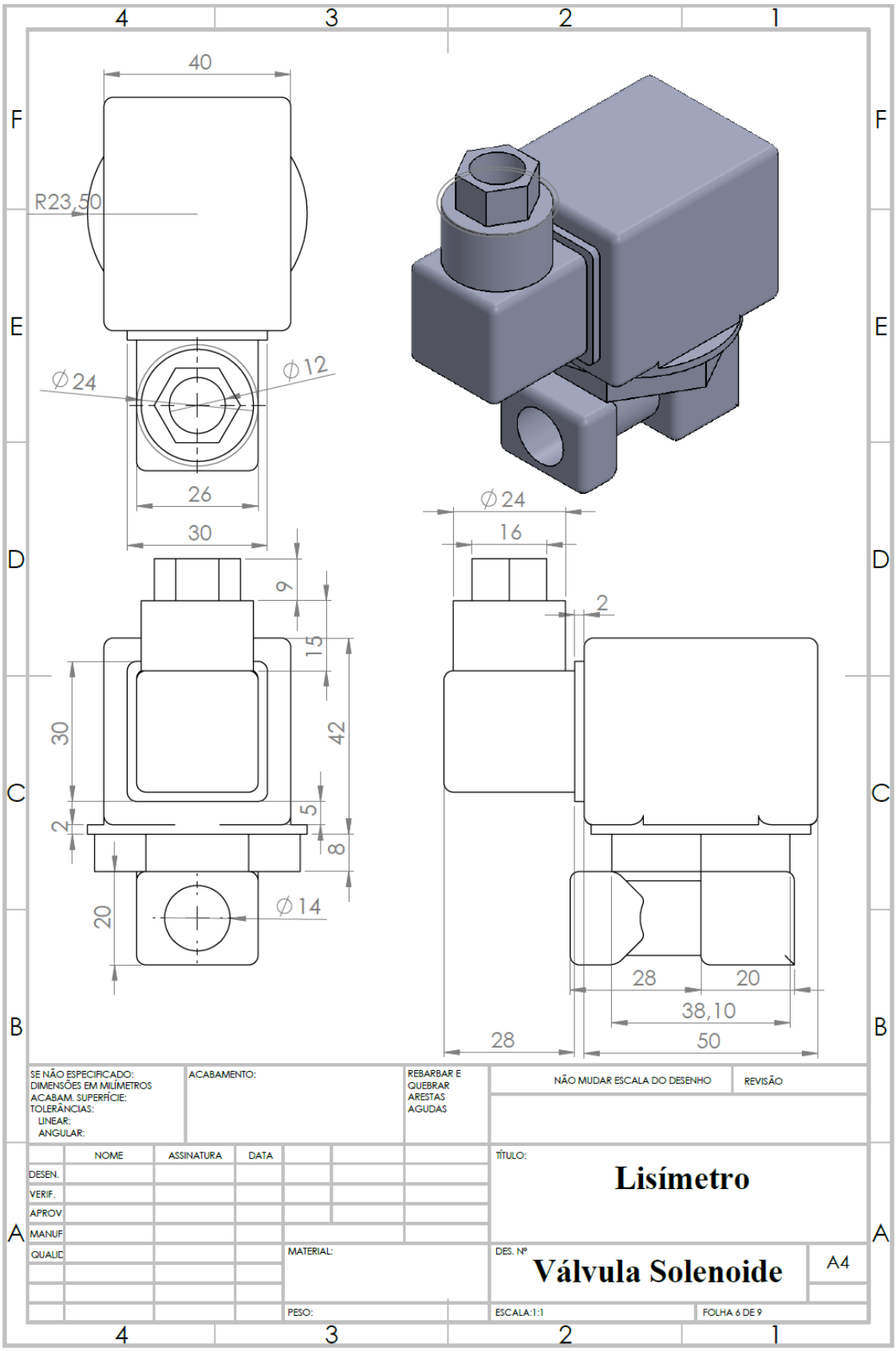
**Anexo E.** Recipiente 2 – reservatório de drenagem



**Anexo F.** Suporte de pesagem do sistema de drenagem



**Anexo G.** Válvula solenoide ASCO Numatics



**Anexo H.**. Programação do *datalogger*

```
'CR1000 Series Datalogger
'=================================================================
=======
'=====================Variables, Units, Dim and Const=====================
Public PTemp, batt_volt
Public Count_1
Public Count_2
Public Lis_mV(6)
Public Lis_kg(6)
Public Dren_mV(6)
Public Dren_kg(6)

Units PTemp = C
Units batt_volt = V
Units Lis_mV () = mV
Units Lis_kg () = kg
Units Dren_mV () = mV
Units Dren_kg () = kg


Const PesoAcionamento = 7.2
Const PesoDesligar = 3.2

Dim i
Dim BombaLigada(6)={0,0,0,0,0,0}

Alias i = ID_BalancaDrenagem

'==================================Tables==========================
======

DataTable (Quinze,1,-1)
        CardOut (0,-1)
        DataInterval (0,15,Min,10)

        Minimum (1,batt_volt,FP2,0,False)
        Sample (1,PTemp,FP2)
        Average (6,Lis_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Lis_kg(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_kg(),IEEE4,False)

EndTable

DataTable (Horaria,1,-1)
        CardOut (0,-1)
        DataInterval (0,60,Min,10)

  Minimum (1,batt_volt,FP2,0,False)
```

```
        Sample (1,PTemp,FP2)
        Average (6,Lis_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Lis_kg(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_kg(),IEEE4,False)

EndTable

DataTable (Diaria,1,-1)
        CardOut (0,-1)
        DataInterval (0,1,Day,10)

  Minimum (1,batt_volt,FP2,0,False)
        Sample (1,PTemp,FP2)
        Average (6,Lis_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Lis_kg(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_mV(),IEEE4,False)
  Average (6,Dren_kg(),IEEE4,False)

EndTable

DataTable (Drenagem,True,-1)
        CardOut (0,-1)
        Sample (1,ID_BalancaDrenagem,Long)
        Sample (1,Dren_kg(i),FP2)

EndTable
'==================================MAIN
PROGRAM================================
BeginProg
        Scan (10,Sec,1,0)
'lEITURA DA TEMPERATURA DO PAINEL
                PanelTemp (PTemp,250)
'LEITURA DA BATERIA
                Battery (batt_volt)
'LEITURA DOS LISIMETROS CONECTADOS AO MULTIPLEXADOR
                PortSet (2,1)   'Turn AM16/32 Multiplexer OnSet Mux reset line high
                  Delay (0,150,mSec)
                  Count_1 = 1
    SubScan(0,uSec,6)
                        PulsePort (1,10000)
                        BrFull (Lis_mV (Count_1),1,AutorangeC,1,Vx1,1,2500,True ,True
,0,_60Hz,1.0,0)
                        Count_1 = Count_1 + 1
                    NextSubScan

    Count_2 = 1
                    SubScan(0,uSec,6)
                        PulsePort (1,10000)
```

```
                    BrFull (Dren_mV (Count_2),1,AutorangeC,1,Vx1,1,2500,True ,True
,0,_60Hz,1.0,0)
                    Count_2 = Count_2 + 1
    NextSubScan

            PortSet (2,0)        'Set mux reset line low
            Delay (0,150,mSec)

'APLICACAO DAS EQUACOES DE CALIBRACAO DOS LISIMETROS
   Lis_kg(1)=Lis_mV(1)*766.6850-818.5750
   Lis_kg(2)=Lis_mV(2)*763.1050-818.7250
   Lis_kg(3)=Lis_mV(3)*755.5506-802.6200
   Lis_kg(4)=Lis_mV(4)*755.1337-781.2500
   Lis_kg(5)=Lis_mV(5)*765.3254-784.6150
   Lis_kg(6)=Lis_mV(6)*765.7051-768.0900

'APLICACAO DAS EQUACOES DE CALIBRACAO DAS BALANCAS DE DRENAGEM
   Dren_kg(1)=Dren_mV(1)*16.6075-8.4032
   Dren_kg(2)=Dren_mV(2)*7.60800-74.15850
   Dren_kg(3)=Dren_mV(3)*7.60800-36.02700
   Dren_kg(4)=Dren_mV(4)*16.7623-10.1744
   Dren_kg(5)=Dren_mV(5)*7.63816-65.10700
   Dren_kg(6)=Dren_mV(6)*7.66610-7.53450

'==============================CALL
TABLES==============================
            CallTable Quinze
            CallTable Horaria
            CallTable Diaria
'==============================DRENAGE
CONTROL==============================

            'Controle da drenagem: teve que ser assim porque uma sub-rotina não permite
usar o comando CallTable
            'fora de um Scan. E um Scan usado fora do main program trava tudo.
            For i = 1 To 6

                If Dren_kg(i) > PesoAcionamento Then
                    BombaLigada(i)=1

                    CallTable Drenagem

                    If i=1 Then
                        PortSet (8,1 )
                    EndIf

                    If i=2 Then
                        PortSet (7,1 )
                    EndIf
```

```
        If i=3 Then
                PortSet (6,1 )
        EndIf

        If i=4 Then
                PortSet (5,1 )
        EndIf

        If i=5 Then
                PortSet (4,1 )
        EndIf

        If i=6 Then
                PortSet (3,1 )
        EndIf

EndIf

If Dren_kg(i) < PesoDesligar Then
        If BombaLigada(i) = 1 Then

                CallTable Drenagem

                If i=1 Then
                        PortSet (8,0 )
                EndIf

                If i=2 Then
                        PortSet (7,0 )
                EndIf

                If i=3 Then
                        PortSet (6,0 )
                EndIf

                If i=4 Then
                        PortSet (5,0 )
                EndIf

                If i=5 Then
                        PortSet (4,0 )
                EndIf

                If i=6 Then
                        PortSet (3,0 )
                EndIf

        EndIf
        BombaLigada(i) = 0
EndIf
```

```
            Next i

        NextScan
EndProg
```