



Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia

Serviço Público Federal  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

---



**IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA DO CAPIM-MASSAI:  
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO RECÔNCAVO DA  
BAHIA**

Cruz das Almas, Bahia  
Dezembro/2023

**Erivaldo de Jesus da Silva**

Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007  
Mestre em Ciências Agrárias  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2010

**IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA DO CAPIM-MASSAI:  
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO RECÔNCAVO DA  
BAHIA**

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos)

Orientador: Prof. Dr. Lucas Melo Vellame  
Coorientadores: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro  
Prof. Dr. Francisco Adriano de C. Pereira

Cruz das Almas, Bahia  
Dezembro/2023

## FICHA CATALOGRÁFICA


|       |   |
|-------|---|
| S586i | <p>Silva, Erivaldo de Jesus da.<br/>Irrigação e adubação nitrogenada do capim-massai: modelagem de crescimento e evapotranspiração no Recôncavo da Bahia / Erivaldo de Jesus da Silva. _ Cruz das Almas, BA, 2023.<br/>108f.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Engenharia Agrícola.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Lucas Melo Vellame.<br/>Coorientador: Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira.<br/>Coorientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro.</p> <p>1.Pastagens – Manejo. 2.Pastagens – Irrigação.<br/>3.Evapotranspiração – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.<br/>II.Título.</p> <p>CDD: 633.202</p> |
|-------|---|

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE DOUTORADO

**IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA DO CAPIM-MASSAI:  
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO  
RECÔNCAVO DA BAHIA**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de Erivaldo De Jesus Da Silva  
Aprovada em: 18 / 12 / 2023

Documento assinado digitalmente  
 LUCAS MELO VELLAME  
Data: 19/01/2024 17:49:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. Lucas Melo Vellame  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB  
(Presidente/Orientador)




---

Andrea Inés Irigoyen  
Universidade Nacional de Mar Del Plata/UNMDP  
(Membro Externo Instituição)

Documento assinado digitalmente  
 DANIELE REBOUCAS SANTANA LOURES  
Data: 24/01/2024 12:04:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Daniele Rebouças Santana Loures  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB  
(Membro Externo ao Programa)

Documento assinado digitalmente  
 HENRIQUE BAUAB BRUNETTI  
Data: 20/01/2024 13:51:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Henrique Bauab Brunetti  
Embrapa Pecuária Sudeste  
(Membro Externo Instituição)

Documento assinado digitalmente  
 PETERSON COSTA CONCEICAO SILVA  
Data: 29/01/2024 08:55:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Petterson Costa Conceição Silva  
Instituto Federal do Amazonas/IFAM  
(Membro Externo Instituição)

A Deus, em primeiro lugar, e aos meus pais – Maria José Barbosa de Jesus (in memoriam) e Antônio Faleiro da Silva (in memoriam), por serem, antes de tudo, a razão de minha existência. Também à minha família - irmãos, irmãs, sobrinhas, sobrinhos e esposa, Lêda, e ao meu amado filho Maurinho, razão de tudo...

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – CCAAB/UFRB

Ao meu orientador Prof. Dr. Lucas Melo Vellame pela confiança e ensinamentos.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Francisco Adriano de C. Pereira pelas orientações e ensinamentos, especialmente na instalação do experimento no campo.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro, pelas orientações e ensinamentos, e a seu grupo de estudo em Forragicultura (GEF), imprescindíveis nas coletas e análises dos dados.

Ao Professores do Programa em Eng. Agrícola, Aureo Silva de Oliveira, Tales Miler Soares, José Antonio Fizzone, Maurício Antônio Coelho Filho, Eugênio Ferreira Coelho, Alisson Jadavi Pereira da Silva e também aos professores do Programa em Ciências Agrárias, em especial, Everton Luiz Poelking, Rafaela Simão Abrahão Nobrega, Júlio Cezar Azevedo Nóbrega, Elton da Silva Leite e Carlos Alberto da Silva Ledo, a todos pela dedicação, seriedade e comprometimento com instituição e a sociedade.

Aos colegas do Programa em Eng. Agrícola, em especial, Luiz Antônio Conceição de Carvalho e Rosângela Nascimento da Silva Ribeiro e também ao Pós doutorando PPGEA/UFRB, Francisco Airdesson Lima do Nascimento, os quais contribuíram grandemente com o trabalho aqui apresentado.

Ao ex-diretor do CCAAB, Elvis Lima Vieira e ao atual diretor Josival Santos Souza, por apoiarem minha licença para realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho na Fazenda Experimental do CCAAB/UFRB, em especial, Luiz Antônio, Rosângela Ribeiro, Joabe Santana, Edson, Elielson, Everaldo, Deny, Gil, Renato, Rony, Malhado, Beto, Boi, Ademar, Ademir, Ademilson, Bel, Vaval, Gilvan e Juninho, por todo apoio sempre que solicitado, principalmente na luta diária do setor.

## RESUMO

Na região Nordeste, embora fatores como temperatura, luminosidade e radiação não sejam limitantes para a produção de plantas forrageiras, a pluviosidade é o fator mais significativo para manter a regularidade de produção ao longo do ano. Nesse contexto, a irrigação tem papel fundamental para reduzir o período sazonal e melhorar a qualidade das forrageiras, além disso os nutrientes disponíveis no solo dependem da água para serem absorvidos e o nitrogênio é um dos mais limitantes para manter sua produção. Entretanto, existe uma lacuna de conhecimento sobre o comportamento do crescimento de gramíneas forrageiras tropicais em ambientes semelhantes ao Recôncavo da Bahia que é caracterizado pelo outono e inverno chuvosos e a primavera e verão secos. Sendo assim, o estudo da evapotranspiração para o planejamento e manejo da irrigação de gramíneas, especialmente da espécie *Panicum maximum* cv. Massai (Syn. *Megathyrsus maximum*) é essencial, pois a evapotranspiração tem relação com a condição agroclimática local e com as fases de crescimento das plantas, por conseguinte também sofre o efeito da adubação nitrogenada. O uso de modelos de crescimento de culturas agrícolas auxilia no entendimento da interação entre sua genética, o ambiente e o manejo adotado para as essas forragens, servindo como uma ferramenta na tomada de decisão. A simulação do comportamento da curva de disponibilidade de produção ao longo do ano permite identificar estratégias possíveis de serem adotadas para o planejamento estratégico da produção animal à pasto. Sendo assim, os objetivos desta pesquisa foram: **(a)** Determinar a evapotranspiração e os coeficientes de cultura (Kc's) do capim-Massai, associados ao acúmulo de massa de forragem. **(b)** Avaliar a produção sazonal do capim-Massai sob efeito de lâminas de irrigação, associada à doses de nitrogênio. **(c)** modelar o crescimento da gramínea com a utilização do CROPGRO – Perennial Forage Model. Dessa forma dois experimentos foram estabelecidos, sendo o primeiro para determinar a evapotranspiração (ETc) e os coeficientes de cultura (Kc's) do capim-Massai, associado ao acúmulo de massa de forragem utilizando lisímetro de lençol constante em 04 fases de crescimento (14, 21, 28 e 35 dias) dentro das 04 estações. O segundo experimento determinou a produção e qualidade de forragem em função de doses de nitrogênio e lâminas de irrigação em 04 épocas dentro das estações (verão, outono, inverno e primavera). Os estudos foram conduzidos na estação lisimétrica do PPGEA localizada na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus Cruz das Almas, no Recôncavo Baiano. Foram utilizados 04 lisímetros funcionando na condição de lençol constante. As variáveis climáticas foram extraídas da Estação Agrometeorológica da UFRB/PPGEA. A partir dos dados, foram obtidos os valores do consumo hídrico (ETc) e do Kc's nas fases de desenvolvimento vegetativo da gramínea. As variáveis de produção e de qualidade da gramínea foram relacionados estatisticamente aos componente agrometeorológicos. Todas as variáveis foram submetidas às análises, de variância e de regressão linear simples e múltiplas no programa Statistical Analysis System (SAS) e o programa R Studio. Também foram determinados os parâmetros para a modelar o crescimento da gramínea a partir de dados observados no experimento e encontrados na literatura. Dessa forma, os estudos apontaram para o objetivo **(a)**: Os valores de ETc e Kc foram afetados pelas condições climáticas das estações, onde os valores de Kc tiveram mais variações com as épocas do entre as fases; a ETc do capim-Massai foi de 5,41, 3,90, 3,23, 2,65 mm dia<sup>-1</sup> para o verão, primavera, outono e inverno, respectivamente; o Kc do capim-Massai foi de 1,33, 0,99, 1,04, 0,84 para o verão, primavera, outono e inverno, respectivamente; os menores valores de radiação e temperatura do outono e inverno, causaram redução na produção de massa seca de forragem (MSF), no acúmulo diário de forragem (ADF) e no índice de área foliar (IAF) do capim-Massai; a ocorrência da fase reprodutiva aumentou os valores de massa seca de perfilho (MSPerf) e na altura da forragem (AltF) da gramínea. Para o objetivo **(b)**: Os resultados indicaram que a sazonalidade da produção de forragem e sua qualidade foi mitigada pela irrigação e adubação nitrogenada, quando esta foi causada pelo déficit hídrico. Quando a sazonalidade ocorreu devido às condições de baixa demanda evapotranspirativa, do outono e inverno, essa foi mitigada com doses de nitrogênio. A concentração de chuvas associadas com menor demanda evapotranspirativa do outono e

inverno, resultou menor produção de MSF e afetou os teores fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e proteína bruta (PB); as doses de nitrogênio e lâminas de irrigação sob a condição de baixo déficit hídrico no verão e primavera potencializam a produção de MSF, resultando nos maiores valores de MSF observado; os teores de PB foram maiores no verão e primavera. Para o objetivo (c): A modelagem do capim-Massai com base em parâmetros previamente estabelecidos para o *P. maximum* cv. Tanzânia, disponível na versão 4.8.2 do DSSAT, se mostrou viável, necessitando de pequenos ajustes; O desempenho do modelo variou consideravelmente em diferentes fases de crescimento, sendo mais preciso na fase de 28 dias, que resultou em menor erro quadrático médio (RMSE) e menor valor para o índice de concordância de Willmott (índice-d), na simulação de biomassa de forragem e índice de área foliar; O modelo não apresentou bom desempenho para as fases de 14 e 21 dias de crescimento na simulação para as variáveis simuladas.

**Palavras-chave:** Crescimento vegetal, Demanda hídrica, DSSAT, *Megathyrus maximum*, sazonalidade.

## ABSTRACT

In the northeast region of Brazil, although factors such as temperature, light and radiation are not limiting for the production of forage plants, rainfall is the most significant factor in maintaining regular production throughout the year. In this context, irrigation plays a fundamental role in reducing the seasonal period and improving the quality of forage crops. In addition, the nutrients available in the soil depend on water to be absorbed and nitrogen is one of the most limiting nutrients for maintaining production. However, there is a gap in knowledge about the growth behavior of tropical forage grasses in environments similar to the Recôncavo da Bahia, which is characterized by rainy fall and winter and dry spring and summer. Therefore, the study of evapotranspiration for the planning and management of grass irrigation, especially the species *Panicum maximum* cv. Massai (Syn. *Megathyrus maximum*) is essential, as evapotranspiration is related to the local agroclimatic condition and the growth phases of the plants, therefore it also suffers the effect of nitrogen fertilization. The use of agricultural crop growth models helps to understand the interaction between their genetics, the environment and the management adopted for these forages, serving a tools in decision making. Simulating the behavior of the production availability curve throughout the year allows identifying possible strategies to be adopted for the strategic planning of pasture-based animal production. Therefore, the objectives of this research were: (a) Determine the evapotranspiration and crop coefficients (Kc's) of Massai grass, associated with the accumulation of forage mass. (b) Evaluate the seasonal production of Massai grass under the effect of irrigation levels, associated with nitrogen doses. (c) model grass growth using CROPGRO – Perennial Forage Model. Thus, two experiments were established, the first being to determine the evapotranspiration (ETc) and the crop coefficients (Kc's) of Massai grass, associated with the forage mass accumulation using a constant table lysimeter in 04 growth phases (14, 21, 28 and 35 days) within the 04 seasons. The second experiment determined forage production and quality as a function of nitrogen doses and irrigation depths at 04 times within the seasons (summer, fall, winter and spring). The studies were conducted at the PPGEA lysimetric station located at the Experimental Farm of the Center for Agricultural, Environmental and Biological Sciences of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus Cruz das Almas, in Recôncavo Baiano. Four lysimeters were used, working under constant water supply. The climatic variables were extracted from the UFRB/PPGEA Agrometeorological Station. From the data, the values of water consumption (ETc) and Kc's were obtained in the vegetative development phases of the grass. The grass production and quality variables were statistically related to the meteorological components. All variables were subjected to analysis of variance and simple and multiple linear



regression in the Statistical Analysis System (SAS) program and the R Studio program. The parameters for modeling grass growth were also determined based on data observed in the experiment and found in the literature. Thus, the studies pointed to objective (a): The ET<sub>c</sub> and K<sub>c</sub> values were affected by the climatic conditions of the seasons, where the K<sub>c</sub> values had more variation with the seasons between the phases; the ET<sub>c</sub> of Massai grass was 5.41, 3.90, 3.23, 2.65 mm day<sup>-1</sup> for summer, spring, fall and winter, respectively; the K<sub>c</sub> of Massai grass was 1.33, 0.99, 1.04, 0.84 for summer, spring, fall and winter, respectively; the lower radiation and temperature values in fall and winter caused a reduction in forage dry mass production (FDM), in the daily forage accumulation (DFA) and in the leaf area index (LAI) of Massai grass; the occurrence of the reproductive phase increased the tiller mass (TM) and forage height (FH) values of the grass. For objective (b): The results indicated that irrigation and nitrogen fertilization mitigated the effects of seasonality on production and quality of FDM when it was caused by water deficit; when it was related to conditions of low evapotranspiration demand, in fall and winter, it was mitigated with doses of nitrogen; the concentration of rainfall associated with lower evapotranspiration demand in fall and winter resulted in lower FDM production and affected NDF, ADF, lignin and CP contents; nitrogen doses under conditions of low water deficit in summer and spring increase FDM, resulting in the highest observed FDM values; CP levels were higher in summer 2020 and spring 2020/2021. For objective (c): Modeling the Massai grass based on parameters previously established for *P. maximum* cv. Tanzania, available in version 4.8.2 of DSSAT, proved to be viable, requiring small adjustments; The model's performance varied considerably in different growth phases, being more accurate in the 28-day phase, which resulted in a lower mean square error and lower d-index in the simulation of forage biomass and leaf area index; the model did not perform well for the 14 and 21 day growth phases in the simulation for the simulated variables.

**Keywords:** Plant growth, DSSAT, *Megathyrus maximum*, water demand, seasonality.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1:** Esquema do Lisímetro de lençol constante

**Figura 2:** Layout das fases de crescimento dentro das épocas (A); Condição do capim-Massai nos 04 lisímetros antes do início das fases de crescimento (B); Forragem nivelada a 0,15 m do solo e posição dos coletores para coleta de precipitação (C).

**Figura 3.** Distribuição temporal de variáveis climáticas durante as épocas experimental do capim-Massai em 2021, no município de Cruz das Almas, BA.

**Figura 4:** Valores diários de ETc, ETo e Kc's do capim-Massai estudado em 2021. Variação ao longo das épocas dentro das fases de crescimento (A); valores médios em cada fase (B) e valores médio nas épocas (C).

**Figura 5:** Fase fenológica reprodutiva do capim-Massai (abril/maio 2021). **A** representa a condição da gramínea no entorno do lisímetro e **B** representa a condição na ocasião do corte da fase de crescimento 35 dias.

**Figura 6:** Variação dos componentes agrometeorológicos e do capim-Massai nas épocas e fases de crescimento. ADF: Acúmulo Diário de Forragem (kg de MS ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), IAF: Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>), MSPerf: Massa Seca de Perfilho (kg ha<sup>-1</sup>), AltD: Altura da Forragem (m), Tx: temperatura máxima, Tn: temperatura mínima, Pac: Precipitação acumulada; Irr: Irrigação; DPV: Déficit de pressão de vapor.

### CAPÍTULO II

**Figura 1.** Distribuição esperada das lâminas de irrigação por aspersão utilizando a linha única – “line-souce”.

**Figura 2.** Condição inicial das parcelas antes do início de cada época e realização da roçagem mecânica (A), com retirada posterior do material roçado (B) e condição inicial da gramínea no início das irrigações (C).

**Figura 3.** BHC sequencial semanal durante as épocas experimental do capim-Massai em 2020 e 2021, no município de Cruz das Almas, BA. RET: Retirada, DEF: Déficit, REP: Reposição, EXC: Excedente; S0: semana de pré-tratamento; S1, S2, S3 e S4: Semanas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

**Figura 4.** Produção de forragem do capim-Massai em 2020 e 2021, no município de Cruz das Almas, BA.

**Figura 5.** Produção de forragem em função de épocas e doses de N.

**Figura 6.** FPN em função de épocas e doses de nitrogênio, em 2020 (A) e 2021 (B).

**Figura 7.** Superfície de resposta e de contornos da produção de MSF em função de lâmina de irrigação e doses de nitrogênio (N) nas épocas irrigadas de 2020 (a, b, c, d) e 2021 (e, f, g, h)

### CAPÍTULO III

**Figura 1:** Layout das fases de crescimento dentro das épocas (A); Condição do capim-Massai nos 04 lisímetros antes do início das fases de crescimento (B); Forragem nivelada a 0,15 m do solo e posição dos coletores para coleta de precipitação (C).

**Figura 2:** Comparação dos avaliadores estatísticos ajustado para a biomassa acima do solo (a e b) e IAF (c e d) do modelo de capim-Massai em relação aos obtidos pelo modelo de referência.

**Figura 3:** Biomassa de forragem simuladas versus observadas em quatro fases de crescimento do capim-Massai, em Cruz das Almas, Ba.

**Figura 4:** Biomassa de forragem simuladas versus observadas em quatro fases de crescimento do capim-Massai, em Cruz das Almas, Ba.

**Figura 5:** Variação de RMSE e índice-d da Biomassa e do IAF resultantes das mudanças de LFMAX e SLAVR.

**Figura 6:** Variação de RMSE e índice-d da Biomassa e do IAF resultantes das mudanças de SLAMIN e SLAMAX.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1:** Caracterização química\* e física\* do solo dos lisímetros.

**Tabela 2:** Valores observados dos componentes climáticos nas épocas do estudo.

**Tabela 3:** Componentes de produção do capim-Massai nas épocas e fases de crescimento.

**Tabela 4:** Regressões múltiplas ajustadas para os componentes de produção do capim-Massai em função das variáveis climáticas

### CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Resultados das análises químicas e físicas do solo.

**Tabela 2:** Temperaturas máximas (Tx) e mínimas (Tn), déficit de pressão de vapor (DPV), radiação global (Rg), acumulados de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ETo) nas estações.

**Tabela 3.** Distribuição das lâminas de irrigação (Lir) aplicadas nos tratamentos das épocas de estudo.

**Tabela 4:** Conteúdo de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em função de doses de nitrogênio aplicadas em épocas distintas de crescimento.

### CAPÍTULO III

**Tabela 1.** Perfil de solo da área experimental para inserir no programa DSSAT Sbuild.

**Tabela 2:** Temperatura máxima (Tx), Temperatura mínimas (Tn), Radiação global (Rg) e Precipitação (P).

**Tabela 3:** Valores de referência de parâmetros de espécies que afetam a partição de biomassa, no arquivo de espécies (SPE) para capim-Tanzânia e valores ajustados para a parametrizar o modelo do capim-Massai.

**Tabela 4:** Valores de referência de parâmetros que afetam o acúmulo de biomassa (senescência, fotossíntese, dormência e estresse de N), para capim-Tanzânia e valores ajustados para o modelo do capim-Massai.

## SUMÁRIO

|   |            |
|---|------------|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL</b> -----   | <b>12</b>  |
| <b>HIPÓTESES</b> -----  | <b>15</b>  |
| <b>OBJETIVO</b> -----   | <b>15</b>  |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> -----  | <b>15</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> -----  | <b>15</b>  |
| <br>  |            |
| <b>CAPITULO I – Evapotranspiração e Coeficiente de Cultura (Kc) do capim-Massai associado ao acúmulo de massa de forragem</b> ----- | <b>20</b>  |
| <b>RESUMO</b> -----   | <b>20</b>  |
| <b>ABSTRAT</b> -----  | <b>21</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> -----  | <b>22</b>  |
| <b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> -----   | <b>25</b>  |
| 2.1 Caracterização da área experimental-----  | <b>25</b>  |
| 2.2 Caracterização do lisímetro de lençol constante-----  | <b>25</b>  |
| 2.3 Épocas e fases de crescimento, ETc, Kc e componentes de produção.-----  | <b>26</b>  |
| 2.4 Estimação do índice de área foliar-----   | <b>27</b>  |
| 2.5 Irrigação dos lisímetros-----   | <b>27</b>  |
| 2.6 Adubação de manutenção nos lisímetros-----  | <b>27</b>  |
| 2.7 Determinação da ETc, ETo e Kc-----  | <b>28</b>  |
| 2.8 Análise estatística-----  | <b>30</b>  |
| 2.9 Dados climatológicos-----   | <b>30</b>  |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> -----  | <b>32</b>  |
| <b>4. CONCLUSÃO</b> -----   | <b>43</b>  |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> -----   | <b>43</b>  |
| <br>  |            |
| <b>CAPITULO II- Sazonalidade do capim-Massai: Efeito da irrigação e adubação nitrogenada</b> -----                                  | <b>52</b>  |
| <b>RESUMO</b> -----   | <b>52</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> -----   | <b>53</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> -----  | <b>54</b>  |
| <b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> -----   | <b>56</b>  |
| 2.1. Caracterização da área experimental-----   | <b>56</b>  |
| 2.2. Períodos de avaliação da pastagem-----   | <b>57</b>  |
| 2.3. Aplicação do nitrogênio e das lâminas de irrigação-----  | <b>58</b>  |
| 2.4. Coleta de dados para ETo, ETc e Balanço hídrico climatológico-----   | <b>59</b>  |
| 2.5. Balanço Hídrico Climatológico (BHC)-----   | <b>59</b>  |
| 2.6. Variáveis analisadas-----  | <b>60</b>  |
| 2.7. Análise estatística-----   | <b>60</b>  |
| 2.8. Variáveis Climatológicas-----  | <b>61</b>  |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> -----  | <b>63</b>  |
| <b>4. CONCLUSÃO</b> -----   | <b>77</b>  |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----  | <b>77</b>  |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO III: Adaptação do CROPGRO – Perennial Forage Model, para modelar fases de crescimento do capim-Massai</b> -----         | <b>85</b>  |
| <b>RESUMO</b> -----   | <b>85</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> -----   | <b>86</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> -----  | <b>87</b>  |
| <b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> -----   | <b>89</b>  |
| 2.1. Local do Experimento-----  | <b>89</b>  |
| 2.2. Dados de campo para calibrar o CROPGRO – Perennial Forage Model-----   | <b>89</b>  |
| 2.3. Dados para arquivo de solo e clima-----  | <b>90</b>  |
| 2.4. Etapas de parametrização do modelo-----  | <b>92</b>  |
| 2.5. Parâmetros genéticos para calibrar o modelo-----   | <b>92</b>  |
| 2.6. Avaliadores estatísticos da performance do modelo-----   | <b>93</b>  |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> -----  | <b>94</b>  |
| <b>4. CONCLUSÃO</b> -----   | <b>104</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS</b> -----   | <b>104</b> |

## INTRODUÇÃO GERAL

A agropecuária brasileira desempenha importante papel na produção de proteína animal, atendendo às necessidades alimentar da população interna e contribuindo significativamente para o PIB nacional, conforme indicado pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABIEC 2020). No entanto, o agravante do risco ambiental sobre essa atividade foi amplificado pelas mudanças climáticas (Brown et al., 2019; Wrachien, Schultz e Goli, 2021; Santos et al., 2023). A produtividade e a sustentabilidade das pastagens são impactadas pelas características do ambiente, sendo influenciadas pelas variações temporais e espaciais dos componentes climáticos, como radiação global, luminosidade, temperatura, regime hídrico, e pelas condições edáficas, incluindo déficit hídrico e nutricionais (Ivory e Whiteman, 1978; Cobon et al., 2017, 2020; Pereira et al., 2022; Gonçalves et al., 2023).

Diante dos cenários de variabilidade espacial e temporal das variáveis meteorológicas na região nordeste, onde a produção animal é dependente do pastejo, a disponibilidade de forragem deve ser constante ao longo do ano. Assim, o uso da irrigação e a manutenção da fertilidade do solo tornam-se elementos cruciais para projetos de pecuária sustentável, especialmente quando a água é um recurso limitante (Gesualdo et al., 2021; Wrachien, Schultz e Goli, 2021; Medeiros; Lima; Santos, 2023). A irrigação em pastagens visa reduzir o período de estacionalidade causado pelo déficit hídrico (Jesus et al., 2021; Mombach et al., 2019; Sbrissia et al., 2020), sendo ainda mais vital em regiões onde a época seca coincide com a primavera e verão, como observado nesta região (Alvares et al., 2014; Pereira et al., 2020; Veras et al., 2020).

Além de ampliar a oferta de alimento por um período prolongado, a irrigação também melhora a qualidade das forrageiras, cujos nutrientes disponíveis no solo dependem da água para serem absorvidos, sendo o nitrogênio o mais limitante para a produção dessas plantas. Esse nutriente desempenha função essencial na composição de biomoléculas importantes, como ácidos nucléicos, proteínas, enzimas e diversos hormônios vegetais, além de contribuir para a formação os componentes morfológicos (Taiz et al., 2017; Moore, Lenssen e Fales, 2020).

A interação complexa entre as variáveis meteorológicas e solo resulta em parâmetros fundamentais para o crescimento das plantas forrageiras. Sendo eles a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) e a Evapotranspiração da Cultura (ET<sub>c</sub>) (Neal, Fulkerson e Sutton, 2010; Paredes et al., 2018; Orta e Kuyumcu, 2023). Essas variáveis estão relacionadas aos processos fisiológicos, como fotossíntese e respiração, que influenciam diretamente nas taxas de crescimento das gramíneas forrageiras. A ET<sub>c</sub> é definida como a quantidade de água consumida pelas plantas sob condições hídricas ideais em uma determinada fase do crescimento, enquanto a ET<sub>o</sub> refere-se à demanda hídrica evaporativa do local de cultivo. A relação entre essas variáveis resulta no

coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Esse parâmetro é de grande importância na agricultura irrigada, pois mede a relação entre a água consumida pela cultura em um determinado período e a demanda hídrica atmosférica naquela região (Allen et al., 1998).

Um dos métodos amplamente utilizados para estimar a  $E_{To}$  é o modelo de Penman-Monteith proposto pelo Boletim FAO-56, que incorpora dados meteorológicos locais, como temperatura, radiação solar, velocidade do vento e umidade do ar (Allen et al., 1998). Enquanto que a determinação da  $E_{Tc}$  em condições de campo, pode ser realizada através de métodos de medição direta, com o uso de lisímetros. Esses equipamentos permitem a quantificação precisa dos componentes do balanço hídrico, possibilitando a estimativa das necessidades hídricas das culturas (Stone e Silveira, 1995; Fenner *et al.*, 2019; López-Urrea *et al.*, 2020; Ahmadifar, Delirhasannia e Sadraddini, 2022).

O valor de  $K_c$ , por sua vez, varia de acordo as condições de umidade do solo, do clima local, da frequência de chuva ou irrigação, bem como as práticas de manejo. A curva de variação ao longo do tempo acompanha o ciclo da cultura (Cid, Taghvaeian e Hansen, 2018; Bariviera et al., 2020; Papanikolaou e Sakellariou-Makrantonaki, 2023). Por meio deste coeficiente, se pode nortear a quantidade de água necessária ao suprimento vegetal em cada fase de seu desenvolvimento (Allen et al., 1998).

Na pesquisa envolvendo irrigação de espécies forrageiras, é comum a utilização de frações da  $E_{To}$  para determinar as lâminas de irrigação nos tratamentos (Mazahrih et al., 2016; Mezzomo et al., 2020), ou mesmo a aplicação de um único valor de  $K_c$  para todas as fases de crescimento (Lopes et al., 2016). No entanto, alguns pesquisadores têm proposto valores diferenciados de  $K_c$  para períodos entre desfolhas (Ismail e EL-Nakhlawy, 2018; Sanches et al., 2019), enquanto outros propõem relação com altura de pastejo, conforme sugerido por Birendra et al. (2018).

A resposta das pastagens tropicais à irrigação é mais expressiva quando o ambiente fornece suporte energético através da radiação solar, que é principalmente convertida em aumento de temperatura e déficit atmosférico. Essas condições são fundamentais para provocar demanda evapotranspirativa que permitindo a absorção de água pelas plantas por meio do contínuo solo-planta-atmosfera (Allen et al., 1998). Além disso, a translocação de nutrientes no fluxo transpiratório, é essencial para o crescimento das plantas principalmente durante os eventos de rebrota após o corte ou pastejo das gramíneas (Volenc e Nelson, 2020; Cruz et al., 2022).

Portanto, a produção de forragem está intrinsecamente ligada às características da espécie e seu crescimento depende de variáveis agrometeorológicas que favoreçam a  $E_{Tc}$ . Nesse sentido, Dantas et al. (2016) e Sanches et al. (2019) identificaram a redução da  $E_{Tc}$  devido às temperaturas mais baixas no outono e inverno como um fator limitante para a produção de forragem nessas

épocas. Resultados semelhantes foram observados por Jesus et al. (2021) e Sanches et al. (2023), que investigaram o efeito da irrigação na redução da sazonalidade na produção de forragem no outono e inverno, constatando que os acúmulos diários de biomassa permaneceram consistentemente inferiores aos observados na primavera e verão, mesmo com a disponibilidade de água.

Nesse contexto, os estudos da ETc para o planejamento e manejo da irrigação de gramíneas da espécie *Panicum maximum* (Syn. *Megathyrsus maximum*) cv. Massai, são essenciais. A evapotranspiração tem relação com as condições agrometeorológicas locais e com as fases de seu crescimento, por conseguinte também sofre o efeito da adubação nitrogenada. Isso torna fundamental conhecer a dinâmica de crescimento das plantas forrageiras nos diversos ambientes como forma estratégica de prever impactos futuros na atividade. Ajustes de modelos de crescimento podem permitir avaliar a resposta das forrageiras perenes tropicais ao ambiente e essas interações nos sistemas de produção, além de ajudar a compreender o seu comportamento em relação às variáveis agrometeorológicas e o seu manejo (Boote, Jones e Hoogenboom, 2021a).

Os modelos de cultivo são ferramentas importantes para auxiliar tomadas de decisões sobre fertilização, irrigação e manejo de colheita das culturas, pois ao simular o crescimento vegetal, se permite antecipar limitações e prevê estratégias de mitigação antes que recursos e esforços sejam empregados (Dourado-Neto, 1998; Jones et al., 2003; Boote et al., 2021b). Um dos modelos amplamente empregados em pesquisas é o modelo mecanicista CROPGRO, o qual faz parte do DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Hoogenboom *et al.*, 2023).

O CROPGRO foi inicialmente idealizado para simular o crescimento das culturas anuais, posteriormente foi adaptado e parametrizado para gramíneas forrageiras perenes, levando ao desenvolvimento do CROPGRO-Perennial Forage Model (Rymph, 2004). O modelo prevê o crescimento vegetal baseando-se em fatores climáticos, fisiologia da planta, características do solo e manejo da cultura. Ele, também tem a capacidade de simular o balanço de N, da matéria orgânica e da água do solo, e além de danos causados por pragas e doenças (Boote *et al.*, 2002).

Nesse contexto essa tese tem o objetivo de ampliar o conhecimento sobre o comportamento do crescimento de gramíneas forrageiras tropicais em ambientes semelhantes ao Recôncavo da Bahia, caracterizado pelo outono e inverno chuvoso e a primavera e verão seco

## **HIPÓTESES**

- a. A estimativa de produção do capim-Massai se dá de forma mais acurada quando se analisa em conjunto os dados de disponibilidade de água no solo e as variáveis meteorológicas. Assim, é possível aferir o efeito da irrigação e adubação nitrogenada sobre a estacionalidade da produção.
- b. É possível parametrizar um modelo de crescimento que atenda as condições ambientais locais para estimar a produção de forragem do capim-Massai.

## **OBJETIVO GERAL**

Estudar e modelar o crescimento do capim-Massai em função de variáveis agrometeorológicas e avaliar os efeitos da irrigação associadas à adubação nitrogenada sobre a produção de forragem

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Determinar a evapotranspiração e os coeficientes de cultura ( $K_c$ 's) do capim-Massai, associados ao acúmulo de massa de forragem utilizando lisímetro de lençol constante;
- b. Avaliar a produção sazonal do capim-Massai sob efeito de lâminas de irrigação, associada à doses de nitrogênio e quatro épocas do ano, verão, outono, inverno e primavera nas condições ambientais do Recôncavo Baiano;
- c. Modelar o crescimento do capim-Massai utilizando o CROPGRO – Perennial Forage Model, a partir de dados das fases e épocas de crescimento nas condições ambientais do Recôncavo Baiano;



## 2.2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Beef Report**: perfil da pecuária no Brasil 2020. São Paulo: ABIEC, 2020. 50p. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020>. Acesso em: 22/03/2022.

Ahmadifar, V., Delirhasannia, R.; Sadraddini, A. A. Comparative analysis of 15 major reference evapotranspiration models based on weighing lysimeter measurements for two different grass species grown in three soil textures. **Irrigation and Drainage**, v.71, n.3, p. 648-664, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2677>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Bariviera, G.; Dallacort, R. Freitas, P.S.L. de; Barbieri, J.D.; Daniel, D.F. Dual crop coefficient for the early-cycle soybean cultivar SoyTech 815 RR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 75-81, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p75-81>.

Birendra. KC; Mohssen, M.; Chau, H. W.; Curtis, A.; Cuenca, R.; Bright, J.; Cameron, K. Impact of rotational grazing systems on the pasture crop coefficient for irrigation scheduling. **Irrigation and Drainage**, v. 67, n. 3, p. 441-453, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2210>

Boote, K. J; Mínguez, M. I.; Sal, F. Adapting the CROPGRO Legume Model to Simulate Growth of Faba Bean. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 4, p. 743–756, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2002.7430>.

Boote, K. J., Jones, J. W.; Hoogenboom, G. Incorporating realistic trait physiology into crop growth models to support genetic improvement. **In Silico Plants**, v. 3, n. 1, p. 1–19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diab002>.

Boote, K. J., Pequeno, D. N. L., Alderman, P. D., Rymph, S. J.; Lara, M. A. S. The CROPGRO Perennial Forage Model Simulates productivity and re-growth of tropical perennial grasses. *In: International Grassland Congress-Theme 2-1: Forage production and utilization-oral sessions*, University of Kentucky, 2021. <https://uknowledge.uky.edu/igc/24/2/34/>

Brown, J.N., Ash, A., MacLeod, N., McIntosh, P. Diagnosing the weather and climate features that influence pasture growth in Northern Australia. **Clim. Risk Manage**, v. 24, p. 1–12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.01.003>.

Cid, P., Taghvaeian, S.; Hansen, N. C. Evaluation of the Fao-56 methodology for estimating maize water requirements under deficit and full irrigation regimes in semiarid northeastern Colorado. **Irrigation and drainage**, v. 67, n. 4, p. 605-614, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2245>.

Cobon, D. H., Baethgen, W. E., Landman, W., Williams, A., Van Garderen, E. A., Johnston, P.; Malherbe, J.; Maluleke, P.; Kgakatsi, I. B.; Davis, P. **Agroclimatology in Grasslands. Linking**

**Agriculture to Climate**, v. 60, p. 369-423, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0013>

Cobon, D.H., Stone, G., Carter, J., McKeon, G., Zhang, B., Heidemann, H. Native pastures and beef cattle show a spatially variable response to a changing climate in Queensland, **Australia. European Journal of Agronomy**, v. 114, n. 126, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126002>

Cruz, N. T., Jardim, R. R., de Lana Sousa, B. M., Seixas, A. A., Fries, D. D., Pires, A. J. V.; dos Santos, A. P. D. S. Fluxos energéticos e reservas orgânicas de plantas forrageiras. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022 DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34782>

Dantas, G. F.; Faria, R. T. de.; Santos, G. O.; Dalri, A. B.; Palaretti, L. F. Produtividade e qualidade da *Brachiaria* irrigada no outono/inverso. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 469-481, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p469-481/2016>.

Dourado-Neto, D., Teruel, D. A., Reichardt, K., Nielsen, D. R., Frizzone, J. A.; Bacchi, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agrícola**, v. 55, p. 46-50, 1998. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000500008>.

Fenner, W.; Dallacort, R.; Faria Junior, C. A.; Freitas, P. S. L. de; Queiroz, T. M. de; Santi, A. Desenvolvimento, calibração e validação de lisímetros de pesagem para medida de evapotranspiração de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 297-302, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p297-302>.

Gesualdo, G. C.; Sone, J. S.; Galvão, C. D. O.; Martins, E. S.; Montenegro, S. M. G. L.; Tomasella, J.; Mendiondo, E. M. Unveiling water security in Brazil: Current challenges and future perspectives. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 5, p. 759–768, 2021. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1899182>

Gonçalves, M.S.; Ribeiro, W. R.; da Costa Gonçalves, D.; Guerra Filho, P.A., Tanure, M. M.C.; do Amaral, J. F. T.; dos Santos, A. R. Tropical grasses adaptability as a sustainable tool for recovering degraded pastures and restricting soil loss: Use diagnosis and future scenarios. **Environmental Development**, v. 47, p. 100887, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100887>

Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Shelia, V.; Boote, K.J.; Singh, U.; Pavan, W.; Oliveira, F.A.A.; Moreno-Cadena, L.P.; Ferreira, T.B.; White, J.W.; Lizaso, J.I.; Pequeno, D.N.L.; Kimball, B.A.; Alderman, P.D.; Thorp, K.R.; Cuadra, S.V.; Vianna, M.S.; Villalobos, F.J., Batchelor, W.D.; Asseng, S.; Jones, M.R.; Hopf, A.; Dias, H.B.; Hunt, L.A.; Jones, J.W. 2023. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8.2 (www.DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Ivory, D. A.; Whiteman, P. C. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. I. Effect of day and night temperature on growth and morphological development. **Functional Plant Biology**, v. 5, n. 2, p. 131-148, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP978013>

Jesus, F. L. F. de; Sanches, A. C.; Souza, D. P. de; Mendonça, F. C.; Gomes, E. P.; Santos, R. C.; Santos, J. E. O.; Silva, J. L. B. da. Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça ‘Guinea grass’. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 71, n. 3, p. 156-164, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1863456>.

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K. J., Batchelor, W.D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J.; Ritchie, J. T. DSSAT Cropping System Model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 235–265, 2003, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)

Lopes, A. S; Torres, F. E.; Júnior, E. D. F.; da Silva Neto, A. A.; Margatto, A. R. A.; Kreski, M. J. Forage productivity at different seasons under irrigation. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 2, p. 173-180, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2098>

Mazahrih, N.; AL-Wahaibi, H.; AL-Farsi, S.; Belgacem, A. O. Yield and water productivity of Buffel and Rhodes grasses under different irrigation water regimes using the sprinkler line-source system. **Grassland Science**, v. 62, n. 2, p. 112-118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/grs.12120>.

Medeiros, E. S. D., Lima, R. R. D.; Santos, C. A. C. D. Spatiotemporal Kriging for Days without Rainfall in a Region of Northeastern Brazil. **Climate**, v. 11, n. 1, p. 21, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli1101002>.

Mezzomo, W.; Peiter, M. X.; Robaina, A. D.; Kirchner, J. H.; Torres, R. R.; Pimenta, B. D. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim Sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 143-159, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p143-159>

Mombach, M. A., Pedreira, B. C., Santos, M. L., Cabral, L. S., Santos, C. S. A.; Silva, A. M. P. Fator de resposta produtiva de Mombaça e Marandu ao déficit hídrico. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 807-812, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7592>

Moore, K. J.; Lenssen, A. W.; Fales, S. L. Factors affecting forage quality. **Forages: The science of grassland agriculture**, v. 2, p. 701-717, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>

Neal, JS, Fulkerson, W.J; Sutton, B.G. Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. **Irrigation Science**, v. 29, p. 213-232, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0229-1>

Orta, A. H; Kuyumcu, S. Evapotranspiration and the response of cool-season and warm-season turfgrass species to deficit irrigation under a sprinkler irrigation method. **Irrigation Science**, v. 41, n. 1, p. 81-91, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00833-8>

Papanikolaou, C. D.; Sakellariou-Makrantonaki, M. A. Estimation of corn coefficients with vegetation indices using multispectral camera and drone. **Research in Agricultural Engineering**, v. 69, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17221/19/2022-RAE>

Paredes, P.; Rodrigues, G. J.; Petry, M. T.; Severo, P. O.; Carlesso, R.; Pereira, L.S. Evapotranspiration partition and crop coefficients of Tifton 85 bermudagrass as affected by the frequency of cuttings. Application of the FAO56 dual Kc model. **Water**, v. 10, n. 5, p. 558, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10050558>

Pereira, L.E.T.; Herling, V.R.; Tech, A.R.B. Current Scenario and Perspectives for Nitrogen Fertilization Strategies on Tropical Perennial Grass Pastures: A Review. **Agronomy**, v. 12, n. 9, 2079, 2022; DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092079>

Rymph, S. J. (2004). **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses** (PhD dissertation, University of Florida). DOI: [http://etd.fcla.edu/UF/UFE0006608/rymph\\_s.pdf](http://etd.fcla.edu/UF/UFE0006608/rymph_s.pdf).

Sanches, A. C., Souza, D. P. D., Jesus, F. L. F. D., Mendonça, F. C.; Gomes, E. P. Crop coefficients of tropical forage crops, single cropped and overseeded with black oat and ryegrass. **Scientia Agricola**, v. 76, p. 448-458, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0386>

Sanches, A. C., de Jesus, F. L. F., Gomes, E. P., Rickli, M. E., Santos, R. C., Theodoro, F. L.; da Silva, M. V. Bermudagrass “Tifton 85” sazonalidade produção durante o ano com e sem irrigação em diferentes doses nitrogenadas no sul do Brasil. **Arabian Journal of Geosciences**, n. 16, p. 336, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11427-9>

Santos, E. A.; Fortini, R. M.; Cardoso, L. C. B.; Zanuncio, J. C. Climate change in Brazilian agriculture: vulnerability and adaptation assessment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04730-7>

Sbrissia, A. F., Schmitt, D., Duchini, P. G.; da Silva, S. C. Unravelling the relationship between a seasonal environment and the dynamics of forage growth in grazed swards. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 5, p. 630-639, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12402>

Ismail, S. M.; EL-Nakhlawy, F. S. Measuring crop water requirement and crop coefficient for blue panic crop under arid conditions using draining lysimeters. **Irrigation and Drainage**, v. 67, n. 3, p. 454-460, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2230>

Stone, L. F.; Silveira, P. M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, p. 49, 1995. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/202731/1/doc55.pdf>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 888, 2017.

Veras, E. L. L.; Difante, G. S.; Gurgel, A. L. C.; Costa, A. B. G.; Rodrigues, J. G.; Costa, C. M.; Costa, P. R. Tillering and structural characteristics of Panicum cultivars in the Brazilian semiarid region. **Sustainability**, v. 12, 3849, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093849>

Volenc, J. J.; Nelson, C. J. Carbon metabolism in forage plants. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**, v. 2, p. 65-84, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch4>

Wrachien, D. de; Schultz, B.; GOLI, M. B. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. **Irrigation and Drainage**, v. 70, n. 5, p. 981-995, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2597>.