

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
**METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Sílvia Maria Dantas**

**Calibração e validação do modelo aquacrop para a cultura leucena  
(*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) cultivada no Semiárido do  
Nordeste Brasileiro**

**Campina Grande, Março de 2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



**Dissertação de Mestrado**

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A  
CULTURA LEUCENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) CULTIVADA NO  
SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO**

**SÍLVIA MARIA DANTAS**

Mestranda

**VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**

Orientador

**GEOVERGUE RODRIGUES DE MEDEIROS**

Co-orientador

**CAMPINA GRANDE-PB**

**Março de 2020**

**SÍLVIA MARIA DANTAS**

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A  
CULTURA LEUCENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) CULTIVADA NO  
SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**

AGROMETEOROLOGIA E MICROMETEOROLOGIA

**SUBÁREA:**

AGROMETEOROLOGIA

**ORIENTADOR:**

DR. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

**CO-ORIENTADOR:**

DR. GEOVERGUE RODRIGUES DE MEDEIROS

**CAMPINA GRANDE-PB**

**Março de 2020**

D192c

Dantas, Silvia Maria.

Calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) cultivada no semiárido do nordeste brasileiro / Silvia Maria Dantas. - Campina Grande, 2020.  
47f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Prof. Dr. Geovergue Rodrigues de Medeiros".

Referências.

I. Agrometeorologia. 2. Banco de Proteína. 3. Alimentação Animal. 4. Biomassa. 5. Modelagem. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Medeiros, Geovergue Rodrigues. III. Título.

CDU 551.5:631(043)

SÍLVIA MARIA DANTAS

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA  
LEUCENA (*leucaena leucocephala* (lam.) de wit) CULTIVADA NO SEMIÁRIDO DO  
NORDESTE BRASILEIRO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/03/2020

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. GEOVERGUE RODRIGUES DE MEDEIROS  
Instituto Nacional do Semiárido

  
Prof. Dr. FABRÍCIO DANIEL DOS SANTOS SILVA  
Instituto de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Alagoas

“A lei da mente é implacável. O que você pensa, você cria; O que você sente, você atrai; O que você acredita torna-se realidade”.

Buda

A Deus por me guiar na vida com discernimento nas decisões e objetivos.

Aos meus pais Francisca e Jandi que me dão forças nessa jornada me ensinando a ter respeito pela vida e pelo próximo.

Aos meus irmãos Silvanete e Severino por serem a base na minha vida em amor.

A minha família que torce por minhas conquistas.

A amiga Rafaela por auxiliar no apoio, conhecimento, conversas e risadas ao longo da pesquisa.

A equipe do INSA: Carlos, Romildo, George, João, Helder, Jucilene, a toda equipe de campo que sem cerimônias me auxiliaram nas horas em que precisei.

A pesquisadora do INSA Dra. Neila por toda a ajuda, paciência e ensinamentos.

A Wendy por sua colaboração.

Aos amigos que conquistei ao longo da vida, agradeço por cada risada, frustrações, brincadeiras e troca de conhecimento.

Aos meus colegas de turma 2018.1 do mestrado em meteorologia.

Ao professor e orientador Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela orientação e ensinamentos na condução da pesquisa.

Ao professor e coorientador Dr. Geovergue Medeiros por todo o apoio e ensinamentos

Ao grupo de excelência (PRONEX) pelo apoio a pesquisa.

À Universidade Federal de Campina Grande, aos professores e toda a equipe administrativa da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas por suas contribuições durante o curso.

Ao Centro de desenvolvimento Sustentável do Semiárido em Sumé (PB) por minha base e formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Obrigada!

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1 Importância da forragem .....	12
3.2 Leucena .....	13
3.4 Preparo e manejo do solo agrícola.....	15
3.5 Modelo AquaCrop .....	16
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
4.1 Localização.....	18
4.2 Instalação e condução do experimento.....	18
4.3 Análise estatística para a morfometria .....	19
4.4 Coleta do material morfométrico.....	20
4.5 Manejo da leucena.....	21
4.6 Análise do solo e os tratos culturais .....	22
4.7 Análise bromatológica.....	22
4.8 Calibração do modelo AquaCrop .....	25
4.9 Validação do modelo AquaCrop .....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
5.1 Dados meteorológicos .....	27
5.2 Análises das propriedades do solo.....	28
5.3 Análises estatística para a morfométrica da leucena .....	30
5.4 Análise bromatológica da leucena.....	33
5.5 Calibração do modelo.....	36
5.6 Validação do modelo.....	38
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da estação experimental INSA .....	18
Figura 2. Coleta do material verde em campo.....	20
Figura 3. Parcelas com Leucena: (A); (B); (C) plantas no período chuvoso .....	21
Figura 4. Parcelas com Leucena: (A); (B) pós corte .....	21
Figura 5. Coleta do solo.....	22
Figura 6. Matéria seca: (A) Galhos e folhas; (B) Estufa de circulação .....	23
Figura 7. Processamento da matéria seca: (A) Moinho tipo Willey; (B) Material processado .....	24
Figura 8. Processo para análise mineral: (A) Mufla; (B) Balança analítica; (C) Cinza .	25
Figura 9. Precipitação pluviométrica média mensal (mm); Temperatura média mensal (°C); Distribuição em dias das chuvas no município de Campina Grande (PB).....	28
Figura 10. Análise morfométrica no período chuvoso .....	33
Figura 11. Análise morfométrica composta por galhos no período seco; Amostra composta por galhos no período chuvoso. ....	34
Figura 12. Análise Mineral compostas ou cinzas da leucena para o período chuvoso...	35
Figura 13. Análise mineral para a leucena no período seco .....	36
Figura 14. produção de biomassa ( <i>B</i> ) valores observados e valores simulados .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados descritivos do experimento.....	18
Tabela 2. Análises química e de fertilidade do solo da área de estudo. ....	29
Tabela 3. Análise física do solo na área experimental. ....	30
Tabela 4. Média e o desvio padrão das medidas morfométricas da leucena nos períodos: chuvoso e seco. ....	31
Tabela 5. Análise descritiva do fito massa amostral. ....	31
Tabela 6. Correlação entre as variáveis morfométricas da leucena.....	32
Tabela 7. Parâmetros conservativos e não conservativos de entrada do AquaCrop para os tratamentos T1; T2; T3. ....	37
Tabela 8. Índices estatísticos de validação do modelo AquaCrop para a Biomassa da leucena.....	38

## LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

% - Porcentagem

AIAF-Associação Internacional da agricultura familiar

*B* - Biomassa

BLOCO- Bloco 1, 2, 3.

BNB - Banco do Nordeste

CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CCx-Cobertura do Dossel

cm - Centímetro

cm<sup>3</sup> - Centímetro cúbico

*d* - Índice de Willmott

DBC - Delineamento de Bloco Casualizado

dm<sup>3</sup> - Decímetro cúbico

EF - índice de eficiência de Nash-Sutcliffe

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Espaçamentos: T1 (1,0 x 1,0); T2(1,0 x 1,5); T3(1,0 x 0,5 m)

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura.

g - gramas

ha -hectare

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INSA - Instituto Nacional do Semiárido.

Kg - Quilo

m - Metro

mm -Milímetro

MM- matéria mineral

MS - Matéria seca

*n* - número de observações.

NRMSE - Raiz do erro quadrático médio normalizado

NTM- Nível tecnológico médio

° - Grau

$\bar{O}$  - Média dos valores observados  
°C - Grau Celcius  
 $O_i$  - Valores observados em campo  
ONU- Organização das Nações Unidas  
PAP -Parte Aérea da Planta  
PB - Paraíba  
PB - Proteína bruta  
Pe - Erro de previsão  
Pi - Valores simulados pelo AquaCrop  
PM - Penman-Monteith  
PRONEX- Grupo de Excelência  
REPET        Número de plantas dentro da área útil da parcela 2 x 2...  
RMSE - Raiz do erro quadrado médio  
RMSEN - raiz do erro quadrado médio normalizado  
SEAD- Secretaria de desenvolvimento agrícola  
Tm - Temperatura média  
Tmax - Temperatura máxima do ar  
Tmin - Temperatura mínima do ar  
Ton - Tonelada  
UFMG - Universidade Federal de Campina Grande

# CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA LEUCENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) CULTIVADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

## RESUMO

A modelagem agro metrológica vem sendo utilizada no desenvolvimento na produção agrícola em todas as regiões do mundo, auxiliando nas tomadas de decisões. A pesquisa foi realizada com a cultura *leucaena leucephala* (Lam.) de Wit utilizada para a produção de forragens utilizada na alimentação animal. O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Professor Ignácio Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido- INSA, localizada na zona rural de Campina Grande, estado da Paraíba, situado na mesorregião do Agreste Paraibano. Objetivou-se por meio da pesquisa a determinação da produtividade de biomassa (*B*) aplicando a modelagem com o software livre AquaCrop 6.1 desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a calibração do software foi realizada por meio da entrada dos parâmetros conservativos e não conservativos para a região de estudo e a validação do desempenho do modelo para a densidade e produtividade da biomassa foi determinada utilizando indicadores estatísticos: Índice de concordância de Willmott (*d*); raiz do erro médio; raiz do erro quadrático médio normalizado; coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe e o erro de predição, utilizou-se os tratamentos com relação aos espaçamentos T1 (1,0 m x 1,0m), T2 (1,0m x 0,50m) e T3 (1,5m x 1,5m) para os períodos chuvoso e o seco. Também foi realizada a determinação das variáveis morfométricas de desenvolvimento da espécie para os períodos chuvoso e o seco com delineamento em blocos ao acaso com fatorial (2x3) utilizando os modelos matemáticos na modelagem estatística de análise de variância, medias comparadas pelo teste Tukey e a correlação. E por conseguinte foram realizadas as análises bromatológicas para analisar a potencialidade nutritiva da leucena na alimentação animal diante das variações ocorridas pelos fatores agro meteorológicos.

**Palavras-chave:** Modelagem, banco de proteína, alimentação animal, biomassa, agrometeorologia

# **CALIBRATION AND VALIDATION OF THE AQUACROP MODEL FOR THE LEUCENA CULTURE (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) CULTIVATED IN THE SEMIARID BRAZIL**

## **ABSTRACT**

Agro metrological modeling has been used in the development of agricultural production in all regions of the world, assisting in decision making. The research was carried out with the leucaena leucephala (Lam.) Culture of Wit used for the production of forages used in animal feed. The experiment was carried out at the Professor Ignácio Salcedo Experimental Station, belonging to the Instituto Nacional do Semiárido - INSA, located in the rural area of Campina Grande, state of Paraíba, located in the mesoregion of Agreste Paraibano. The objective of the research was to determine the biomass productivity (B) by applying the modeling with the free software AquaCrop 6.1 developed by the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), the software calibration was performed through the input the conservative and non-conservative parameters for the study region and the validation of the model's performance for biomass density and productivity was determined using statistical indicators: Willmott's concordance index (d); root of the average error; root of the normalized mean square error; efficiency coefficient of the Nash-Sutcliffe model and the predication error, treatments were used in relation to the T1 (1.0 mx 1.0 m), T2 (1.0 m x 0.50 m) and T3 (1.5 m x 1.5m) for rainy and dry periods. It was also performed the determination of the morphometric variables of development of the species for the rainy and dry periods with randomized block design with factorial (2x3) using the mathematical models in the statistical modeling of analysis of variance, means compared by the Tukey test and the correlation . Consequently, bromatological analyzes were carried out to analyze the nutritional potential of leucena in animal feed in the face of variations occurring by agro meteorological factors.

**Keywords:** Modeling, protein bank, animal feed, biomass, agrometeorology.

## 1. INTRODUÇÃO

Setores de produção agrícola vem buscando inovações para acompanhar o ritmo de desenvolvimento e as exigências impostas pelo mercado. A agricultura familiar está inserida nesse nicho de mercado, tendo sua inserção no segmento no ano de 2014 definido como o ano Internacional da Agricultura Familiar (AIAF) definido pela Organização das Nações Unidas (ONU). No Brasil a lei 11.326 de julho de 2006 rege as diretrizes referentes a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e os critérios para identificação desses estabelecimentos. É considerado agricultor familiar e/ou empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, detendo uma área de até quatro módulos fiscais, mão de obra da própria família, renda familiar vinculada ao próprio estabelecimento e gerenciamento do estabelecimento ou empreendimento pela própria família.

Segundo os dados apresentados em 2016 pela Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD), o segmento da agricultura familiar representa 84% do número de estabelecimentos rurais brasileiros, sendo que metade está localizada na região Nordeste. De acordo com a FAO (2013) considerando apenas os países do Mercosul, o setor emprega diretamente cerca de 10 milhões de pessoas. É um setor de extrema importância em termos de produção no Brasil sendo responsável por 38% da produção agrícola, e nos demais países como no Uruguai 30%, no Chile, no Paraguai 20% e 19% na Argentina.

Os resultados preliminares apresentados pelo IBGE através do Censo agropecuário realizado em 2017, apontam para o número de 10.858 estabelecimentos agropecuários que desenvolvem a agricultura orgânica através da produção vegetal e animal, sendo a produção orgânica uma das diretrizes base da agricultura familiar.

No mesmo Censo os dados com relação aos rebanhos de caprinos e ovinos demonstraram preliminarmente um crescimento na região Nordeste no período de 2006 a 2017 representando 90% do total do rebanho efetivo de todo o território nacional (IBGE, 2017). O aumento das criações de animais de pequeno porte está relacionado aos longos períodos de secas que vem ocorrendo na região Nordeste (EMBRAPA, 2018). A estimativa da FAO é que a população mundial chegará a nove bilhões de habitantes até 2050, acarretando uma maior demanda do volume de produção de alimentos, ração e fibras.

Para atender a demanda em exponencial por alimentos estudos agrônômicos vêm sendo desenvolvidos no Nordeste. O banco do Nordeste desenvolveu um índice de modernidade tecnológica que classifica o banco de proteínas com leucena, gliricídia, guandu entre outras, utilizadas para ensilagem e/ou fenação como Nível Tecnológico Médio (NTM), pois usa efetivamente de quatro a sete das tecnologias em suas atividades de desenvolvimento (GIOVENARDI et al. 1996 & BNB, 2018). Como resultado busca-se o aporte na alimentação animal com mais proteínas, assim como o desenvolvimento econômico aos produtores da região.

A Leucena vem sendo utilizada em experimentos e tem obtido sucesso, pois é uma espécie que apresenta características adaptativas, com maior capacidade de retenção de folhas no período seco e a distribuição produtiva ao longo do ano, assim como um alto teor nutricional na produção das forragens (BARCELLOS et al., 2008).

A previsibilidade produtiva depende das condições climáticas da região onde o projeto agrícola será implantado, assim a modelagem de culturas vem sendo utilizadas para essa previsibilidade que venha acarretar variações e quebra na produtividade agrícola, subsidiando o planejamento adequado por parte dos produtores ou responsáveis técnicos, com intuito de mitigar os efeitos da seca na agricultura e a garantia da segurança alimentar (MARTINS et al., 2015).

No seguimento da modelagem agrícola e climatológica a FAO desenvolveu o modelo AquaCrop que simula as respostas do rendimento das culturas com relação a disponibilidade hídrica, em sua interface o modelo utiliza-se de parâmetros intuitivos e com um número de variáveis para a sua determinação (OLIVEIRA, 2018).

Os resultados obtidos por meio de funções desempenhadas no modelo são utilizados para evitar prejuízos, por meio de um prévio planejamento, voltado para a produtividade da cultura. Segundo Freitas (2017) a análise e conhecimento dos dados gerados utilizando o modelo AquaCrop permite o aprimoramento estatístico com relação ao modelo de crescimento dinâmico.

O modelo AquaCrop foi calibrado e validado para várias culturas e condições climáticas no mundo inteiro. No Nordeste Brasileiro vários pesquisadores simularam previsibilidade para as culturas pesquisadas (Freitas, 2018; Silva, 2018; Oliveira, 2018; Matsunaga, 2019) porém há poucos estudos voltados à sua utilização na região do Semiárido com culturas utilizadas na produção de forragens. Neste sentido, torna-se importante a calibração e a validação, para a identificação do período com melhor

desempenho para a produção da leucena com uso da modelagem, obtendo-se resultados das influências edafoclimáticas da região do Semiárido do Nordeste do brasileiro. Desta forma, a pesquisa realizada teve os seguintes objetivos:

## **2. OBJETIVO GERAL**

Realizar a calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da Leucena (*Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wit) cultivada na região do Semiárido brasileiro.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar as variáveis morfométricas da leucena em condições de campo;
- Realizar as análises bromatológicas da leucena;
- Calcular a evapotranspiração de referência da região de estudo;
- Realizar a calibração do modelo AquaCrop para a leucena cultivada na região do Semiárido do Nordeste brasileiro;
- Realizar a simulação da produtividade para a cultura analisada utilizando o modelo AquaCrop obtendo-se estimativa de produtividade para diferentes espaçamentos de cultivo em sistema de sequeiro.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Importância da forragem**

O Semiárido do Nordeste brasileiro vem se destacando com a produção de forragens que apresentam qualidade e alto teor proteico. Nesse contexto, existem várias espécies de plantas forrageiras adaptadas às suas condições edafoclimáticas da região. De acordo com Pompeu et al. (2015), a utilização de plantas leguminosas nativas, exóticas ou forrageiras adaptadas em bancos de proteína no Semiárido tem por finalidade a complementação alimentar na dieta do animal.

A importância do estudo das plantas forrageiras tem como aspectos o desenvolvimento econômico, o nutricional e o mineral, utilizando-se das práticas da forragicultura. Jobim et al. (2007) afirmam que para ocorrer a eficiência na produção da ração, a matéria prima utilizada precisa ser de boa qualidade. A influência estrutural dos vegetais está diretamente relacionada com a qualidade das forragens, pois é aonde está contida a celulose e a lignina, assim como os nutrientes minerais (SILVA et al., 2005). Contudo, tem que se levar em consideração a influência das características nas condições do solo, da luz, da temperatura e da água que estão diretamente ligadas aos processos de transferências no sistema solo-planta-atmosfera. A forragem produzida, seja por uma única planta ou por uma população de plantas, é determinada pelo estágio de crescimento destas e por suas condições durante a colheita (FONTANELI et al., 2012).

Reis et al. (2016) observaram que a baixa produtividade dos rebanhos é resultante da carência nutricional as quais estão submetidas no manejo alimentar, na influência da variabilidade das chuvas, no suporte forrageiro da região e no desenvolvimento e uso reduzido de tecnologias de convivência com as secas. A análise de todos esses fatores é importante, pois o manejo influencia diretamente na concentração de energia digestível fornecida para o desempenho animal (LEITE et al., 2014).

Na preparação da forragem é necessário observar algumas características presentes nas leguminosas, tais como: a fixação de nitrogênio, resposta à adubação fosfatada, adaptação a solos com baixos teores de nutrientes, a adaptação aos sistemas consorciados, a tolerância ao estresse hídrico, a ausência de compostos tóxicos,

resistência a pragas e doenças, a produção de sementes, os valores nutricionais distribuído ao longo do ano (digestibilidade, teor proteico, ausência de fatores antinutricionais) (HUTTON, 1988; GUEDES et al. 2018). A realização da análise bromatológica do material produzido para a suplementação alimentar animal é de fundamental importância, pois pode-se determinar uma gama de resultados que nos possibilitará o equilíbrio nutricional como exemplo os teores de proteína, os fatores nutricionais e antinutricionais.

### 3.2 Leucena

Classificada cientificamente como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, família Fabaceae, conhecida popularmente no Brasil como leucena, originária das Américas, encontrada em toda a região tropical com características próprias de resistência, foi introduzida nas ilhas do Caribe, no Havaí, na Austrália e em outros países do sudoeste da Ásia, em países da África e no Brasil (DRUMOND & RIBASKI, 2010). A leucena é uma das forrageiras mais promissoras para a região do Semiárido, principalmente devido à alta capacidade de rebrota durante o período seco, pela adaptação às condições climáticas da região e pela excelente aceitação por parte dos animais (POMPEU et al., 2015).

No Nordeste brasileiro, a espécie foi introduzida na década de 70 através da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - Sudene, porém apenas em 1986 ocorreu a distribuição em massa de sementes de leucena, como uma alternativa alimentar para ruminantes na época de seca.

Em sua descrição botânica, possui folhas bipinadas medindo de 15 a 20 cm de comprimento, com 4 a 10 pares de pinas, das quais possuem 5 a 20 pares de folíolos com tamanhos de 7 a 15 mm de comprimento e 3 a 4 mm de largura, suas numerosas flores são brancas, com uma média de 100 a 180 unidades, que são agrupadas em um capítulo globular de 1,5 a 3 cm de diâmetro, seus frutos são compridos, achatados, de 12 a 18 cm de comprimento e 1,5 a 2 cm de largura, contendo de 15 a 30 sementes elípticas; em média um quilograma de sementes de leucena possui cerca de 15 a 20 mil sementes (DRUMOND & RIBASKI, 2010; MACHADO et al. 1978).

O sistema radicular da leucena é profundo, com poucas raízes laterais, possibilitando a autonomia para sua sobrevivência, sem disputar com as demais espécies do bioma Caatinga (OLIVEIRA, 2008).

Porém, outro fator importante, apresentado pela leucena é o seu bom desempenho resistente em regiões com precipitação pluviométrica de 250 mm e produtividade em solos com pH em torno de 5.0 (DRUMUND & RIBASKI, 2010; FRANCO & SOUTO et al., 1986).

As culturas estão submetidas à ação de diversos fatores bióticos e abióticos, que alteram a morfologia e a fisiologia da planta, além de influenciar o rendimento e a qualidade do produto. Porto et al. (2017) observaram em seu experimento desenvolvido com a leucena a presença da mimosina (alcaloide glicosídico) que pode ocasionar a perda de pelo em cavalos e bovinos jovens, quando não for realizado o manejo adequado da forragem. O conteúdo de mimosina também pode ser reduzido pela secagem e através da administração da quantidade correta a ser disponibilizada para os animais (NETO et al., 2015).

A utilização da leucena na formação de banco de proteína para a alimentação de caprinos, ovinos e bovinos é devido ao seu alto teor proteico, aceitabilidade, alta produtividade e baixo nível de tanino. Ela é altamente palatável para os animais, a produção da biomassa seca comestível é constituída de folhas e caules finos e varia de acordo com a região (DRUMOND & RIBASKI, 2010).

Barreto e Fernandes (2001) observaram em experimento que a leucena tem uma rebrota um pouco mais eficiente com relação as demais leguminosas após o corte. Na produção de biomassa, a matéria seca (MS) é constituída de ramos finos e folhas, demonstra variabilidade na região do Semiárido do Nordeste brasileiro, porém é uma das mais usadas em bancos de proteínas para alimentação de ovinos, caprinos e bovinos.

Além do seu desempenho nutricional, a leucena desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade dos solos, pois fixa o nitrogênio atmosférico, contribuindo assim, para o desenvolvimento de outras espécies (GOYAL et. al. 1985; COSTA & DURING, 2010).

### **3.3 Agricultura de sequeiro**

A agricultura de sequeiro é definida como o cultivo sem irrigação em regiões onde a precipitação anual é inferior a 500 mm, requerendo para sua prática cultural a aplicação de técnicas de cultivo específicas para o uso eficaz e eficiente das condições edafoclimáticas da região (QUARATANA, 1999). Para o plantio em sequeiro a técnica empregada é a implementação da lavoura durante o período chuvoso, porém o

desenvolvimento da produção depende da distribuição das precipitações pluviométricas, bem como os períodos de estiagem, por serem fatores determinantes nos ciclos das culturas, acarretando um baixo rendimento produtivo final. Esse sistema pode ser temporário, plurianual ou permanente pois é dependente de chuvas (ARAÚJO FILHO, 2013).

As condições climáticas influenciam todo o ciclo produtivo das culturas, sendo um fator que incide economicamente na cadeia produtiva, através das práticas culturais adotadas do armazenamento até o seu transporte (FRANCISCO & SANTOS, 2018).

Assim, o cultivo em sequeiro necessita de um planejamento prévio para que não ocorram prejuízos para o produtor. De acordo com o Monteiro (2009) o planejamento fundamenta-se através das informações do clima e de sua variabilidade interanual, no local de interesse, sendo no planejamento agrícola o zoneamento agroclimático mais aplicado.

O clima da região do Semiárido tem como características: curta estação chuvosa no verão, com concentração das precipitações pluviais nos meses de dezembro e janeiro, e uma curta estação chuvosa no outono-inverno com concentração das precipitações pluviais nos meses de maio e junho com baixos índices pluviométricos variando em torno de 500 a 700 mm anuais (MOURA, 2007; GANEM, 2017).

Por outro lado, as condições das precipitações pluviais são altamente variáveis, com a ocorrência de secas periódicas de maior intensidade (seca total) ou menor intensidade (seca verde) (ARAÚJO FILHO, 2013). A irregularidade na distribuição das chuvas são fatores predominantes para a escolha de culturas adaptáveis as condições da região devido a capacidade de campo e resistência para implementação da agricultura em sequeiro.

### **3.4 Preparo e manejo do solo agrícola**

A demanda em atender à necessidade de produção de alimentos e ao mesmo tempo, manter o equilíbrio ambiental de um sistema produtivo resulta em práticas através da agricultura sustentável. O preparado do solo é fundamental para o desempenho da cultura, podendo ser de forma convencional (aração e gradagem), no plantio direto ou cultivo mínimo (PEREIRA, 1985; SOUZA et al., 2016).

Assim, a determinação de um solo ideal para a produção agrícola necessita de um manejo adequado, estimulando o desenvolvimento de um sistema radicular extenso,

a textura franca e o teor de matéria orgânica, auxiliam no movimento da água e do ar, visto que no solo existe uma relação com as qualidades ecológicas (LOPES, 1998; ALBURQUERQUE & DURÃES, 2013). A adoção da prática edáfica controla a erosão do solo, realizando a manutenção e melhoria da fertilidade.

A realização da análise do solo é um método eficaz e de suma importância para o conhecimento sobre a capacidade de uma determinada área produtiva agrícola antes do plantio, devendo ser analisada através dos aspectos químicos, físicos e biológicos (CARDOSO et al., 2009).

Sendo, os aspectos químicos relacionado a disponibilidade dos nutrientes micro e macro fornecidos pelo solo suprimindo as necessidades das plantas e a capacidade de troca catiônica (CTC) (LOPES, 1998; TEXEIRA et al., 2018). Com relação ao aspecto físico do solo deve-se a necessidade em ter boas características, com relação a classe textural, estrutura, profundidade, porosidade, permeabilidade, umidade, topografia (DONAGEMMA, 2014). No aspecto biológico, a presença de microrganismos, a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica é de grande importância. Entretanto, um solo fértil não é necessariamente um solo produtivo, pois existem fatores tais como má drenagem, organismos-praga, estiagem e outros limitando a produção, mesmo quando a fertilidade é adequada (MENDES, 2007; SILVA et al., 2012).

### **3.5 Modelo AquaCrop**

A utilização de um modelo de simulação possibilita priorizar os investimentos adequados em regiões com maiores potenciais produtivos. Assim, a modelagem é definida como um plano, um padrão, uma representação ou descrição, composto por sistemas, elementos e processos. O padrão da agricultura brasileira, vem sendo cada vez mais associada aos setores industriais e comerciais, com a modernização e expansão do agronegócio (BORTOLON et al., 2013).

Os modelos utilizados em simulações produtivas de cultura são conjuntos de equações associadas a processos biofísicos para estimar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura através dos coeficientes genéticos e variáveis ambientais, sendo possível analisar vários componentes de produção (SINCLAIR & SELIGMAN, 1996). Existem dois modelos de simulação, os modelos dinâmicos, onde são utilizadas equações diferenciais para observar o sistema solo-planta-atmosfera e o modelo através de um conjunto de equações do tipo funções de respostas a variáveis explicatórias

(ANDRADE et al., 2009). Assim, a importância da modelagem de culturas, no âmbito das pesquisas acadêmicas e aplicadas, são as respostas dos sistemas de cultivo sob diferentes cenários (MONTEITH, 1977). A modelagem tornou-se expressiva e necessária para validar os reais investimentos nos setores produtivos.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) desenvolveu o modelo AquaCrop (FAO, 2009; Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009) com o objetivo em obter uma previsão da produtividade mediante a necessidade e o uso de água na produtividade das culturas, sob condições limitantes de déficit hídrico e irrigação. Segundo Silva (2018) o modelo apresenta vantagens com relação aos demais modelos devido à exigência da entrada de um mínimo de dados, sendo que o modelo disponibiliza valores padrões para as culturas, que podem ser ajustados as condições locais.

O AquaCrop possui parâmetros denominados conservativos, que permanecem constantes em diferentes condições de cultivo e recursos hídricos, além dos coeficientes de crescimento e declínio do dossel. E os parâmetros indicadores a serem calibrados pelo usuário, constituídos pelas práticas de manejo, localização da cultura utilizada (STEDUTO et al., 2012; MARTINS et al., 2015).

O modelo busca encontrar um equilíbrio entre precisão, simplicidade e robustez, processando as respostas fisiológicas das culturas e prevendo a biomassa e a produtividade das plantas cultiváveis relacionadas a disponibilidade hídrica (RAES et al., 2009). Ainda de acordo com a FAO, (2018) o AquaCrop apresenta eficiência para qualquer região em estudo do mundo, podendo avaliar diversas culturas sejam herbáceas, leguminosas, hortaliças folhosas, grãos, frutas, raízes e tubérculos. Possibilitando aplicar estratégias de irrigação sob déficit hídrico, ajustando o calendário agrícola de produção, obtenção das estimativas de rendimento para as culturas de campo em diferentes condições climáticas, ambientais e incluindo a salinidade segundo (SILVA, 2018).

Pesquisas que utilizaram o modelo AquaCrop para diferentes culturas desenvolvidas no Semiárido alcançaram resultados eficientes no caso da cebola, do tomate, da soja, da alface, no qual a calibração e validação do modelo AquaCrop apresentaram resultados satisfatórios para ambos os ciclos (FREITAS, 2018; SILVA, 2018; OLIVEIRA, 2018; MATSUNAGA, 2019).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização

O experimento foi realizado na Estação Experimental Professor Ignácio Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido- INSA, localizada na zona rural de Campina Grande, estado da Paraíba, situado na mesorregião do Agreste Paraibano, com latitude de 07°16'31" S e longitude de 35°58'07" O e 477 m de altitude demonstrado na Figura 1.

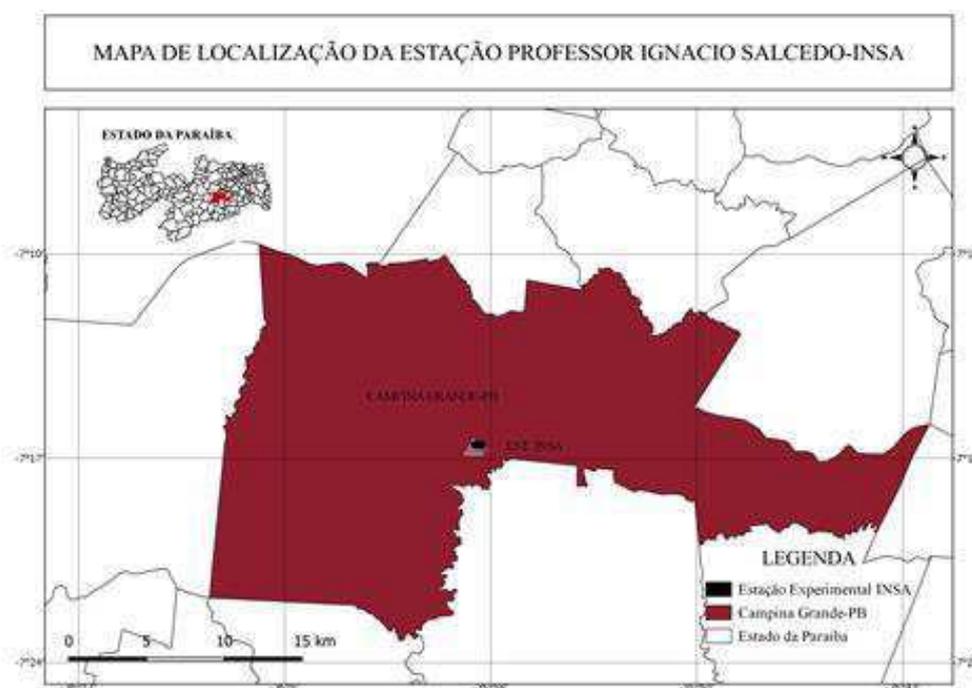


Figura 1. Mapa de localização da estação experimental INSA

### 4.2 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado utilizando-se três parcelas com dimensões de largura e comprimento 5m x 5m totalizando 25m<sup>2</sup>. A quantidade de indivíduos para cada parcela e a descrição dos tratamentos T1, T2 e T3 estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados descritivos do experimento

Parcela	Bloco	Tratamento	Total de indivíduos
---------	-------	------------	---------------------

<b>P1</b>	Bloco I	T1 (1,0m x 1,0m)	37
<b>P2</b>	Bloco II	T2 (1,0m x 0,50m)	74
<b>P3</b>	Bloco III	T3 (1,5m x 1,5m)	28

### 4.3 Análise estatística para a morfometria

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com um fatorial 2x3, sendo dois períodos (chuvoso e seco), para as variáveis morfométricas e três espaçamentos em metros (1,0 x 1,0; 1,0 x 0,50; 1,5 x 1,5).

O modelo matemático utilizados na modelagem do software PROC CORR do SAS®:

$$Y_{ijkl} = u + S_i + I_j + Bl + (S * I)_{ij} + e_{ijkl}, \text{ (Modelo 1)}$$

Em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na planta, período = i, e espaçamento = j; u = constante inerente aos dados; Bl = efeito de bloco;  $S^i$  = efeito do período i, de modo que 1 = chuvoso e 2 = seco;  $I_j$  = efeito do espaçamento j, de modo que: 1= 1,0 x 1,0 cm; 2= 1,0 x 0,50 cm; 3= 1,5 x 1,5 cm,  $S_i * I_j$  = efeito do período x efeito do espaçamento;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Como não houve efeito de interação para os parâmetros estudados, foram utilizados os seguintes modelos matemáticos para cada efeito individual:

Período:  $Y_{ijkl} = u + S_i + Bl + e_{ijkl}$ , (Modelo 2), em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na espécie, u = constante inerente aos dados; período i,  $S_i$  = efeito do período i, de modo que 1 = chuvoso e 2 = seco; Bl = efeito de bloco;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Espaçamento:  $Y_{ijkl} = u + I_j + Bl + e_{ijkl}$ , (Modelo 4), em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na espécie, espaçamento j; u = constante inerente aos dados;  $I_j$  = efeito do espaçamento j, de modo que: 1= 1,0 x 1,0 cm; 2= 1,0 x 0,50 cm; 3= 1,5 x 1,5 cm, Bl = efeito de bloco;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*) e correlação através do programa PROC CORR do SAS® (2001).

#### 4.4 Coleta do material morfométrico

A análise do material morfométrico ocorre Para a obtenção dos dados utilizou-se uma área útil de 2m x 2m dentro de cada parcela, ocorrendo uma variação distinta no número de indivíduos, sendo o material coletado em campo obtido por meio de dois cortes Figura 2, o primeiro corte no mês de abril de 2019, dando início as observações do desenvolvimento das plantas e o segundo corte realizado no mês de dezembro de 2019, em ambos os cortes mensurou-se as variáveis morfométricas, através das seguintes variáveis coletadas.

- Diâmetro (D) de caule à altura de corte: será determinado utilizando-se um paquímetro digital (0,50 cm).
- Dimensão da área foliar (DAF): medida de uma extremidade a outra, utilizando uma régua graduada.
- Altura de plantas (ALT): determinada através de medições utilizando-se régua graduada até o ápice.



Figura 2. Coleta do material verde em campo

#### 4.5 Manejo da leucena

A leucena está implantada desde o ano de 2017 no banco de proteína arbórea instalado na Estação Experimental Professor Ignácio Salcedo. No período chuvoso a planta estava composta por folhas, antes da realização do primeiro corte em abril de 2019 (Figuras 3 A, B e C).



Figura 3. Parcelas com Leucena: (A); (B); (C) plantas no período chuvoso

Para a utilizar os dados na modelagem agro meteorológica, as plantas foram podadas para obtenção da biomassa. A parcela com os indivíduos pós corte a uma altura de 50 cm do solo é apresentada na Figura 4 A e 4 B.



Figura 4. Parcelas com Leucena: (A); (B) pós corte

#### 4.6 Análise do solo e os tratos culturais

O procedimento para a coleta do solo realizado seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) através do caminhamento em zigue e zague percorrendo a área ao acaso, onde realizou-se a limpeza dos locais com auxílio de ferramentas demonstrado na Figura 5. Onde realizou-se três coletas amostrais e posteriormente reduzindo-se a uma amostra homogênea, a profundidade das coletas amostrais do solo foi de 0-30 cm de profundidade com auxílio de um trado.

As análises de caracterização realizadas foram: Química e de fertilidade e a análise física realizadas no Laboratório de Ciência do Solo - UFPB, em Areia-PB.

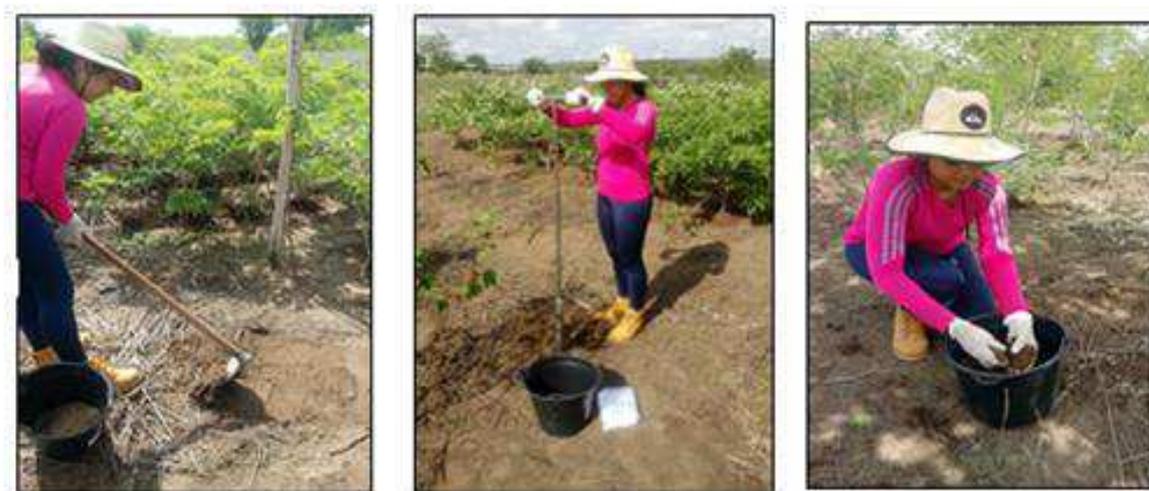


Figura 5. Coleta do solo

#### 4.7 Análise bromatológica

No experimento foi utilizado o método de Weende, também conhecido como método de análise centesimal ou proximal, utilizado para conhecimento da composição química aproximada dos alimentos, seguindo as normas metodologia para avaliação de ruminantes (SALMAN et al., 2010). O conhecimento da composição do produto da forragem é de extrema importância para que ocorra o equilíbrio energético na alimentação fornecida aos animais.

**Matéria seca (MS):** A matéria seca (MS) é toda fração do alimento quando excluída a água ou umidade natural. Assim, os resultados obtidos com a análise química são apresentados com base na MS para permitir que diferentes alimentos sejam comparados quanto as suas características nutricionais e custo de nutrientes, não levando em consideração a fração de água.

Na matéria seca (MS) estão contidos os nutrientes (carboidratos, proteínas, gorduras, minerais e vitaminas). É um dado de extrema importância, principalmente quando obtido de alimentos volumosos, que normalmente apresentam umidade variável (SALMAN et al., 2010).

A determinação da matéria seca (MS) realizada em laboratório iniciou-se com a pré-secagem, onde separou-se galhos e folhas, que foram acondicionados em bandejas, pesando-se em média 250g do material verde (Figura 5A), em seguida o material foi acondicionado na estufa de circulação com temperaturas variando de 100° C a 105°C durante 72 horas (Figura 5B).



Figura 6. Matéria seca: (A) Galhos e folhas; (B) Estufa de circulação

Após a retirada do material da estufa pesa-se novamente para mensuração da fração de exclusão da água e/ou umidade em porcentagem presente no material determinado como amostra seca ao ar (ASA), posteriormente foi levado para o processamento de moagem no moinho tipo Willey apresentado na (Figura 6A) obtendo-se o material triturado (Figura 6B) separadamente de planta inteira, folhas e galhos.

A equação utilizada para encontrar a ASA em porcentagens:

$$\text{ASA(g)} = (\text{Peso bandeja} + \text{amostra}) - (\text{peso da bandeja}) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\% \text{ASA} = (\text{ASA/Peso. amostra natural}) \times 100$$



Figura 7. Processamento da matéria seca: (A) Moinho tipo Willey; (B) Material processado

**Matéria mineral (MM) ou cinzas:** A matéria mineral (MM) ou cinzas é o material resultante do aquecimento da amostra seca em temperatura de 550 °C- 600°C utilizando-se de uma mufla (Figura 8A), são pesadas em torno de 2g das amostras na balança analítica (Figura 8B) e devidamente acondicionados em cadinhos (Figura 8C) e posteriormente são colocados na mufla por 4 horas resultando na cinza (SALMAN et al., 2010 & BARROCAS et al., 2017). A cinza de um material é considerada como um ponto de partida para a análise de minerais específicos.

Os resultados obtidos no estudo são expressos em porcentagens através da equação apresentada a seguir.

$$\% \text{ Cinzas} = \frac{(\text{peso do cadinho} + \text{amostra após mufla}) - (\text{peso do cadinho})}{\text{Peso amostra úmida}} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

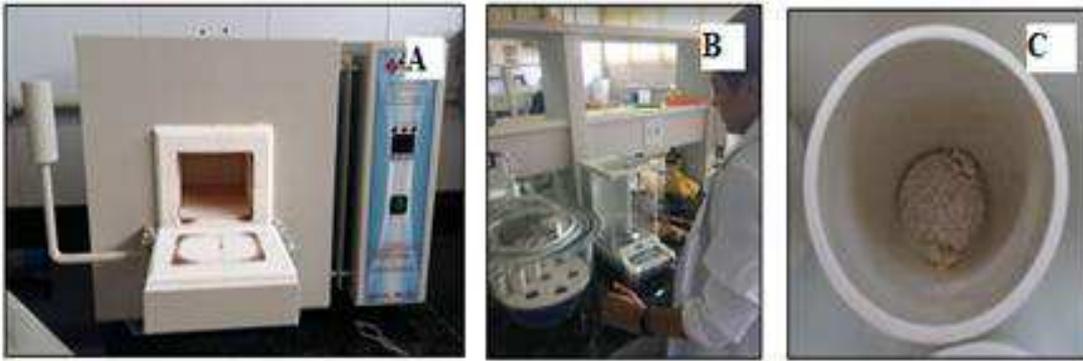


Figura 4. Processo para análise mineral: (A) Mufla; (B) Balança analítica; (C) Cinza

#### 4.8 Calibração do modelo AquaCrop

Para a calibração do modelo AquaCrop inicialmente obtemos os dados climáticos de temperatura máxima e mínima (C°), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), velocidade do vento (m/s), radiação solar (W/m<sup>2</sup>) e a precipitação pluvial (mm) que foram utilizados para a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>).

A evapotranspiração de referência foi calculada com base no software ETo calculator (versão 3.2, FAO), que utiliza o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), como segue:

$$ET_0 = \frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que:

ET<sub>0</sub> = Evapotranspiração de referência [mm dia<sup>-1</sup>];

Rn = Saldo de radiação na superfície da cultura [MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>];

G = Densidade de fluxo de calor no solo [MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>]

T = Temperatura diária do ar a 2 m de altura [° C];

u = Velocidade do vento a 2 m de altura [m s<sup>-1</sup>];

e<sub>s</sub> = Pressão de vapor de saturação [kPa];

e<sub>a</sub> = Pressão de vapor real [kPa]

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> = Déficit de pressão de vapor de saturação [kPa];

Δ = Declinação da curva de pressão de vapor [kPa ° C<sup>-1</sup>];

$\gamma$  = Valor psicrométrico [kPa ° C<sup>-1</sup>].

Os dados de entrada para o cálculo de ET<sub>0</sub> foram disponibilizados pelo INMET, coletados na Estação Meteorológica Automática de Campina Grande, localizada na Embrapa Algodão.

A versão do software livre utilizada na pesquisa com a leucena foi AquaCrop 6.1, por meio dos dados de entrada relacionados a cultura tais como: fenologia (dossel e zona radicular), transpiração da cultura e do solo, estresse hídrico da cultura e o manejo do solo e suas características, produção de biomassa e formação de rendimento.

#### 4.9 Validação do modelo AquaCrop

A validação do modelo AquaCrop foi realizada mediante valores da produção de biomassa seca total em kg/ha através dos cortes realizados em campo, realizando um comparativo com o obtido em campo e o simulado pelo modelo AquaCrop. Os índices estatísticos que foram utilizados para avaliar a eficiência do modelo na produção de biomassa foram os seguintes:

O índice de concordância de Willmott ( $d$ ):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - Q_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{Q}| + |Q_i - \bar{Q}|)} \quad \text{Eq. (4)}$$

A raiz quadrada do erro médio (RMSE):

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - Q_i)^2} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

A raiz do erro quadrático médio normalizado (NRMSE):

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

O coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe:

$$EF = 100 \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{Eq. (7)}$$

O Erro de predição:

$$PE = \frac{\sum (S_i - O_i)}{\sum O_i} \times 100 \quad \text{Eq. (8)}$$

Descrição das seguintes variáveis:

Pi: Valores simulados pelo AquaCrop;

Oi: Valores observados em campo;

$\bar{O}$ : Média dos valores observados;

Si e Oi: são valores simulados e observados;

$\bar{O}_i$  : valor médio de O

n<sub>o</sub>: Número de observações.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Dados meteorológicos

A leucena tem como uma característica o seu desenvolvimento sob resistência em regiões com baixas precipitações por ano. De acordo com Drumond e Ribaski (2010) a leucena resiste a períodos de estiagem superiores a oito meses e déficit hídrico anual de até 870mm. Em pesquisa realizada na região do Semiárido Brasileiro constatou-se a produtividade da leucena em perímetro irrigado tanto para produção madeireira como forrageira, utilizando duas irrigações por mês, foi em média quatro

vezes superior às condições de sequeiro (BARCELLOS et al., 2010; 2010 DRUMOND e RIBASKI, 2010).

Os dados de precipitação em (mm), temperatura média em (°C) e a distribuição da precipitação pluviométrica em dias estão demonstrados na Figura 9. A análise dos dados referentes aos períodos de realização da pesquisa possibilitaram a compreensão da dinâmica de desenvolvimento da leucena, considerando a condução do experimento realizada em sistema de sequeiro.

O primeiro corte para mensuração da biomassa foi realizado no mês de abril de 2019, no qual a precipitação total foi de 85,6 mm distribuída durante 10 dias consecutivos e com temperatura média 24,8 °C, para o segundo corte realizado em dezembro de 2019 a precipitação total de 0,3 mm distribuída em um dia e a temperatura média 25,2 °C.

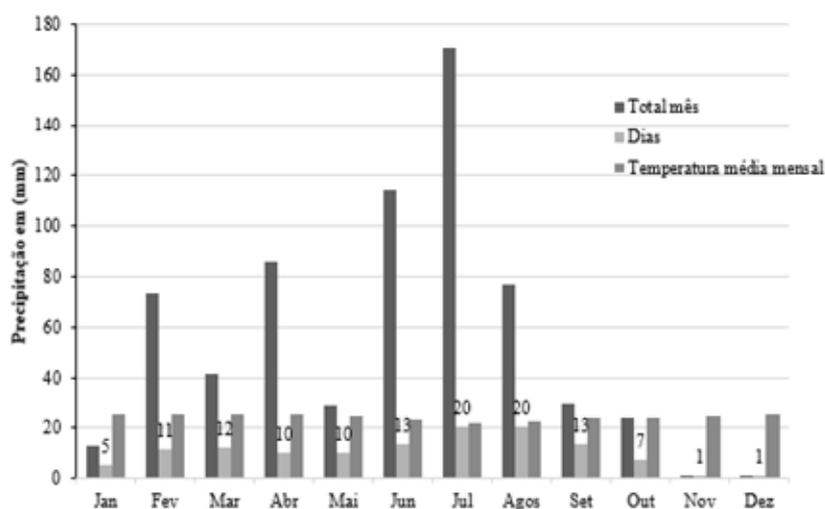


Figura 9. Precipitação pluviométrica média mensal (mm); Temperatura média mensal (°C); Distribuição em dias das chuvas no município de Campina Grande (PB).

## 5.2 Análises das propriedades do solo

As características químicas, fertilidade e físicas da área de estudo estão demonstradas na Tabela 2 e na Tabela 3. As características químicas tais como a matéria orgânica 8,0 (g/kg) está dentro dos valores considerados aceitáveis, para o pH 5,1 do solo é valor considerado nível médio, porém no limite de desencadear a toxidez das raízes, de acordo com Sobra et al. (2015) quando o pH está em torno de 5,2 a 5,3 o

alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e não causa mais danos as raízes. As condições para o desenvolvimento da leucena é necessário boas condições do solo, caso o pH esteja abaixo de 5,0 é necessário realizar correção (Ramos e Italiano, 2000). Assim, no experimento com a leucena foi aplicado adubação orgânica para ambos os períodos.

Com relação as características físicas do solo a classificação da área experimental é franco arenoso, a leucena não é tolerante a solos mal drenados. Assim, para o desenvolvimento desejado de culturas são indicados solos de textura média (franco-arenoso ou areno-argiloso), com porosidade, apresentando uma boa variação de infiltração da água, drenagem e os teores de matéria orgânica adequados possibilitando o maior desenvolvimento do sistema radicular (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2010).

**Tabela 2.** Análises química e de fertilidade do solo da área de estudo.

<b>Química e Fertilidade do solo</b>	
<b>Fósforo assimilável (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	5,4
<b>pH em água (acidez ativa) (1:2,5)</b>	5,1
<b>Alumínio (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	0,15
<b>Potássio (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	98,2
<b>Sulfato (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	0,12
<b>acidez potencial ou total (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	3,22
<b>Calcio (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	0,15
<b>Magnésio (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	1,87
<b>Soma de bases trocáveis (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	4,1
<b>Matéria orgânica (g/kg)</b>	8,0
<b>Capacidade de troca catiônica (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>	7,3

\* cmolc/dm<sup>3</sup>: centimolc

Tabela 3. Análise física do solo na área experimental.

<b>Características físicas</b>	
<b>Areia (g/kg)</b>	778
<b>Silte (g/kg)</b>	118
<b>Argila (g/kg)</b>	104
<b>Umidade 0,1 (g/kg)</b>	85
<b>Umidade 0,2 (g/kg)</b>	60
<b>Umidade 0,3 (g/kg)</b>	44
<b>Classe textural</b>	Franco arenoso

### 5.3 Análises estatística para a morfométrica da leucena

Foram realizadas análises morfométricas referentes à altura da planta (cm), a área da copa (m<sup>2</sup>), ao diâmetro do caule (cm), ao peso da planta (g). O primeiro corte foi realizado durante o mês de abril de 2019 (23/04/2019) período no qual ocorreram chuvas na região e o segundo corte realizado em dezembro de 2019 (19/12/2019) período seco, a análise estatística foi realizada através do software SAS.

Análise da média e do desvio padrão das medidas para o período chuvoso e para o período seco apresentados na Tabela 4 demonstraram que a altura da planta em (cm) no período chuvoso foi menor, pois apresentou os valores de (1639,67±272,49 b) quando comparado ao período seco que apresentou os valores de (2046,33 ±338,92 a) que foi significativo ( $p<0,05$ ); para a área da copa a largura da planta não ocorreu significância ( $p>0,05$ ) para ambos os períodos. Para a análise relativa ao diâmetro do caule (cm) no período chuvoso variou e no período seco quando equiparada demonstra que foi significativo ( $p<0,05$ ), já com relação ao peso total da planta (g) para o período chuvoso e para o período seco apresentou significância ( $p<0,05$ ) para ambos. No período seco deve-se levar em consideração a ausência das folhas, pois a planta utiliza-se de um mecanismo anátomo fisiológicos que inibi o desenvolvimento foliar através de uma resposta precoce ao déficit hídrico (CAVALCANTE et al., 2009).

Tabela 4. Média e o desvio padrão das medidas morfométricas da leucena nos períodos: chuvoso e seco.

<b>Período</b>	<b>Altura da planta (cm)</b>	<b>Largura da planta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro do caule (cm)</b>	<b>Peso da planta (g)</b>
<b>Chuvoso</b>	1639,67 ± 272,49 b	0,73 ± 0,38 a	15,88 ± 5,53 b	397,90 ± 227,23a
<b>Seco</b>	2046,33 ± 338,92 a	0,64 ± 0,34 a	0,64 ± 0,34 a	252,27 ± 209,56 b

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Análise descritiva do peso das folhas e peso dos galhos da leucena para ambos os períodos apresentados na Tabela 5 referentes ao período chuvoso onde apresentou o peso folhas de 127g e o peso de galhos de 284g com uma precipitação de 85,6mm distribuída no mês de abril de 2019, já para o período seco observamos que não ocorreu produção de folhas e o peso verde dos galhos produzido foi de 252,7g com uma precipitação de 0,3mm, ocorreu a senescência da planta devido à baixa precipitação da região no intervalo do corte I período chuvoso e do corte II período seco.

Tabela 6. Análise descritiva do fito massa amostral.

<b>Descrição</b>	<b>Período Chuvoso</b>	<b>Período Seco</b>
<b>Folhas</b>	127 g	0 g
<b>Galhos</b>	284g	252,27 g

O desenvolvimento da planta e todo o seu sistema de desenvolvimento são afetados por déficits hídricos (CAVALCANTE et. al, 2009). A leucena por apresentar um sistema radicular vigoroso e profundo, após sofre cortes em intervalos de 8 a 10 semanas manteve-se produtiva com a rebrota regular possibilitando a produção de fenação em experimento realizado no Estado do Espírito Santo (ALENCAR e GUSS, 2016).

Para a produção de forragem a leucena é uma leguminosa que vem demonstrando resultados promissores em bancos de proteínas consorciada com outras leguminosas como a gliricídea, a canafístula e a cunhã (DE SOUSA, 2005). Algumas leguminosas realizam o processo de desfolhação no período de baixa precipitação, porém um sistema com meta de pastejo ideal é o que beneficia a manutenção da leguminosa na pastagem direta pelas os animais fornecendo a energia nutricional complementar.

As variáveis morfométricas analisadas por meio do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson com os resultados apresentados na Tabela 6, onde a correolação positiva entre o peso das folhas e o peso dos galhos com peso da planta (0,67). Por sua vez, altura da planta apresentou correlação positiva com o diâmetro do caule (0,57), o peso verde da folha apresentou a melhor correlação de (0,98) com o peso verde de galhos. Agronomicamente a produção de biomassa pelas forrageiras é instável ao longo do tempo, pela irregularidade das chuvas na região de estudo.

**Tabela 7.** Correlação entre as variáveis morfométricas da leucena

<b>Variáveis</b>	<b>Largura da Planta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro do caule (cm)</b>	<b>Peso total da planta (g)</b>	<b>Peso do galho (g)</b>	<b>Peso da folha (g)</b>
<b>Altura da planta (cm)</b>	0,27	0,57*	0,19	- 0,12	-0,13
<b>Largura da Planta (m<sup>2</sup>)</b>	-	0,44*	0,33*	0,26*	0,25
<b>Diâmetro do caule (cm)</b>	-	-	0,15	0,04	0
<b>Peso total da planta (g)</b>	-	-	-	0,67*	0,67*
<b>Peso do galho (g)</b>	-	-	-	-	0,98*
<b>Peso da folha(g)</b>	-	-	-	-	-

As variáveis morfométricas analisadas por meio do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para cultivares são eficientes. Segundo Silva (2019) em estudo realizado com a espécie palma forrageira foi observado uma correlação positiva entre as variáveis largura (0,30), comprimento (0,24), espessura (0,36) e área do cladódio (0,33) e o nível de ploidia das cultivares, com valores de Coeficiente de Correlação Linear de

Pearson muito próximos. Então, para diferentes espécies de culturas as correlações possibilitam a realização de análises produtivas de desenvolvimento da planta com as condições as quais está sendo cultivada. A correlação realizada com a Leucena para os níveis de espaçamento foi positiva.

#### 5.4 Análise bromatológica da leucena

**Determinação da matéria seca (MS):** A matéria seca (MS) da leucena foi determinada para dois períodos, sendo o primeiro período chuvoso e o segundo período seco demonstrados na Figura 10 para o período chuvoso a pesagem média de material verde composto de folhas foi 259g, após processo de secagem na estufa obteve-se uma média de matéria seca de 97g.

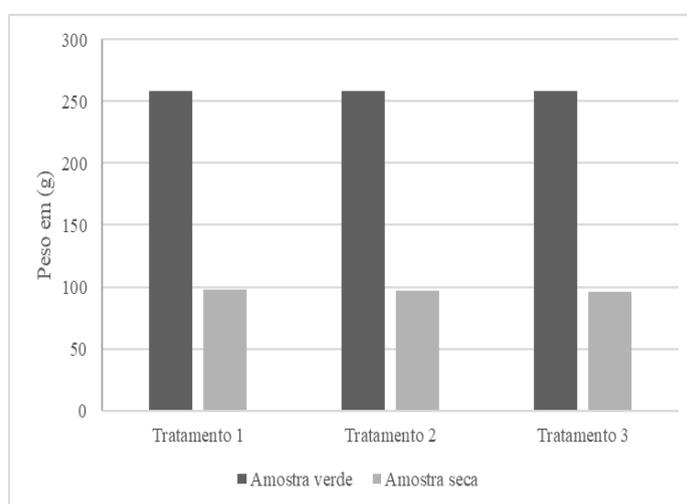


Figura 10. Análise morfológica no período chuvoso

Assim, a perda de umidade com relação as folhas resultaram em uma média de 58% para T1 (1,0m x1,0m), T2 (1,0m x 0,50m) e T3 (1,5m x 1,5m) os resultados são positivos para as condições de semeadura da leucena em sequeiro, quando correlacionamos a demais experimentos realizados com a espécie.

A potencialidade produtiva da leucena vem sendo pesquisa ao longo das décadas. Na região da Chapadinha no estado do Maranhão com a leucena após 90 dias de rebrota resultou em uma matéria seca com teor de 45,5% (COSTA, 2017). No estado de São Paulo, Andrade e Alcantra (1985) após seis meses de plantio observaram os resultados referentes aos teores da matéria seca da leucena de 28 a 31% a 650 °C em estufa de circulação.

Os resultados para o período seco estão demonstrados Figura 11 no qual as amostras de material verde foram compostas somente de galhos para os tratamentos T1(1,0m x1,0m), T2(1,0m x 0,50m) e T3 (1,5m x 1,5m) com peso médio de 200g, nesse período ocorreu a incidência de folhas, na Figura 11 foi incluído um demonstrativo amostral referente ao período chuvoso de galhos, possibilitando a realização de uma análise dos períodos. Assim, a média do teor de matéria seca para os tratamentos foi de 55,2% para o período seco e para o período chuvoso uma média de 43% uma diferença de 12,2%, a diferença é justificável devido aos processos fisiológicos e aos fatores agro meteorológicos, em pesquisa realizada com a leucena Bayão et al. (2016) levaram em consideração o teor de matéria seca em função do período de desidratação no tempo 16 horas, para as folhas onde verificaram o teor de matéria seca encontrado de 87,1% e para o caule o teor de matéria seca foi de 59,4% considerado um excelente resultado para fenação.

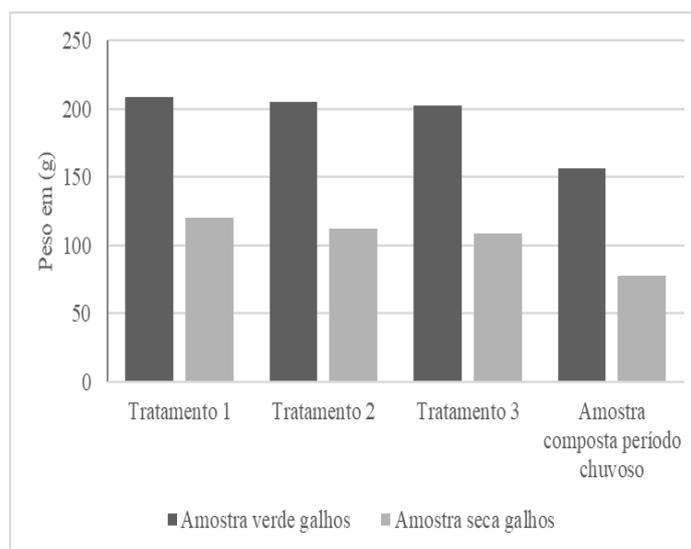


Figura 11. Análise morfométrica composta por galhos no período seco; Amostra composta por galhos no período chuvoso para os tratamentos: T1, T2 e T3

A determinação da matéria seca não é uma característica química, porém sua determinação é essencial para a acurácia das outras avaliações (REIS, 2019). Na produção de alimentos para os animais a leucena desenvolve-se de forma excelente, o material produzido com a matéria seca (MS) é uma estratégia agrônômica no balanceamento da dieta dos animais como complementação por conter um alto valor

nutritivo e pela semelhança da sua composição química com a da alfafa (DRUMOND E RABISKI 2010).

**Amostra mineral ou cinza:** Os resultados da análise da matéria cinza obtidos para a leucena demonstram uma variação no resíduo inorgânico, ou resíduo mineral fixo (sódio, potássio, magnésio, cálcio, ferro, fósforo, cobre, cloreto, alumínio, zinco, manganês e outros compostos minerais) remanescente da queima da matéria orgânica em mufla a altas temperaturas (500-600°C) (ZAMBIAZI, 2010).

As amostras foram compostas com material dos três tratamentos por folhas e planta inteira para o período chuvoso com a realização do primeiro corte para obtenção da matéria verde, os resultados estão demonstrados na Figura 12 onde as variações foram baixas, ou seja, o resíduo é um demonstrativo da potencialidade da leucena em conter minerais significativos de acordo com Bueno et al. (2017) é através da discrepância entre o valor da matéria seca (MS) e da matéria mineral (MM) estima-se o teor de matéria orgânica (MO).

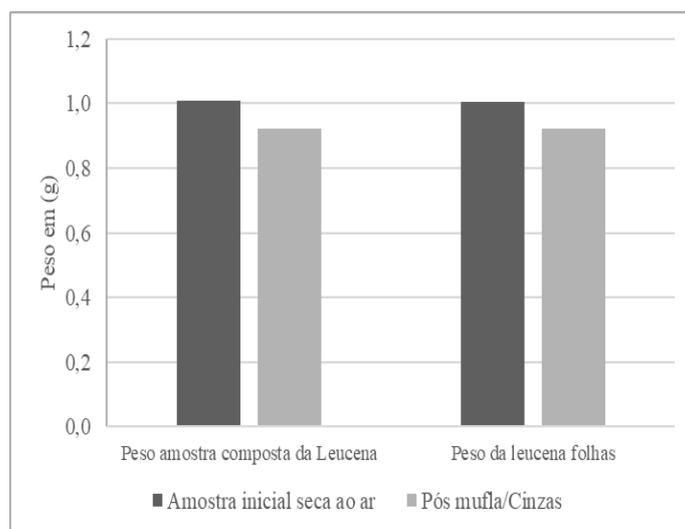


Figura 7. Análise Mineral compostas ou cinzas da leucena para o período chuvoso

Para o período seco a amostra composta somente por galhos para cada tratamento demonstrado na Figura 13, resultou na obtenção dos valores residuais entre a amostra seca e a amostra mineral para T1(1,0x1,0m) obtivemos 16%, T2(1,0 x0,50 m) 15,6% e T3(1,5 x1,5m) 16,8% de resíduo final, representando as diferenças entre a matéria seca (MS) e a matéria mineral (MM). Em experimento realizado no estado da

Bahia com plantas nativas da Caatinga, os resultados das análises minerais foram para a Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*, Tul) 9,93%, Imburana de Cambão (*Bursera leptophloeos* Mart.) 6,83%, Pau de Colher (*Maytenus rígida* Mart.) 6,71% e Barriguda (*Ceiba glaziovii* (Kuntze) K. Schum 5,12 % (SOUZA et al., 2013). Essas espécies têm fenologia similares a da leucena e foram cultivadas no clima Semiárido.

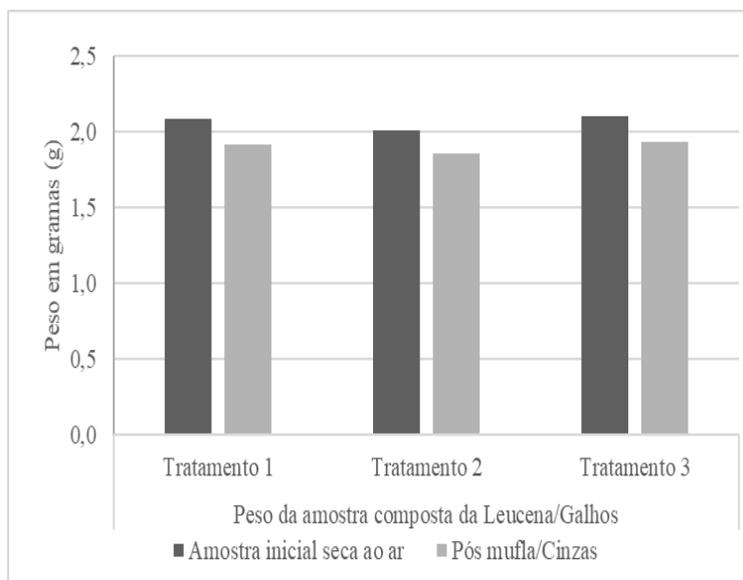


Figura 13. Análise mineral para a leucena no período seco para os Tratamentos: T1, T2 e T3.

### 5.5 Calibração do modelo

A calibração do modelo foi realizada para estimativa dos valores de biomassa (*B*) para os tratamentos T1(1,0mx1,0m), T2(1,0 x 0,50m) e T3(1,5 x 1,5m). Os resultados obtidos em campo foram correlacionados com os valores estimados no AquaCrop por meio dos dados de entrada para os parâmetros conservativos e não conservativos do modelo conforme apresentados na Tabela 7 e descritos na metodologia.

Tabela 8. Parâmetros conservativos e não conservativos de entrada do AquaCrop para os tratamentos T1; T2; T3.

<b>Parâmetros conservativos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Temperatura mínima basal (°C)	10	10	10
Temperatura máxima basal (°C)	30	30	30
Densidade de planta (planta ha <sup>-1</sup> )	10.000	20.000	30.000
Recuperação do transplântio (dias)	7	7	7
Tempo do transplântio até a senescência (DAT)	239	239	239
<b>Parâmetros não conservativos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	14	11	15
Profundidade máxima das raízes (m)	4	4	4
Índice de colheita (%)	61	70	65

A aproximação entre os valores observados e os estimados estão apresentados na Figura 14 no qual os resultados dos valores foram quantificados em toneladas para cada tratamento: T1 (1,0 x 1,0m) o observado foi de 4,0875 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado de 4,046 ton/ha<sup>-1</sup>, para o tratamento T2 (1,0 x 0,50m) o observado foi de 8,882 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado foi de 8,810 ton/ha<sup>-1</sup> e para o tratamento T3 (1,5 x 1,0m) o observado foi de 6,124 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado foi de 6,215 ton/ha<sup>-1</sup>. Drumund e Rabisk (2010) relatam os resultados observados em vários locais experimentais na produção de biomassa seca comestível de leucena constituída de folhas e caules finos, com uma produção anual variável de local para local: de 1.300 a 7.000 kg ha<sup>-1</sup>, em Petrolina, PE; de 1.250 a 3.150 kg ha<sup>-1</sup>, em Sobral, CE, e de 1.930 a 11.600 kg ha<sup>-1</sup>, em Barra de Santa Rosa, PB.

Os resultados positivos obtidos na modelagem com o AquaCrop demonstram a precisam do software para a previsibilidade produtiva agrícola com a influência dos fatores agro meteorológicos para a região Semiárida.

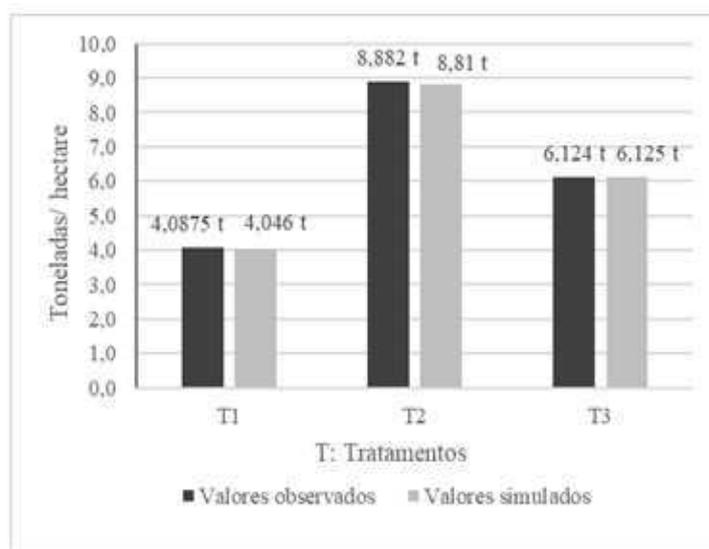


Figura 9. produção de biomassa ( $B$ ) valores observados e valores simulados para a cultura da leucena

## 5.6 Validação do modelo

A validação para o desempenho do modelo é testada através da aplicação da estatística para os tratamentos T1 (1,0 x 1,0m), T2(1,0 x 0,50m) e T3(1,5 x 1,0m) conforme descrito na metodologia e apresentado na Tabela 9.

Analisando a biomassa total ( $B$ ), constatou-se que a raiz do erro quadrado médio (RMSE) foi de 0,02618 e o erro de previsibilidade (Pe) 0,2845 sendo considerado bom, pois se aproxima de zero. A raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE %) apresentou o seguinte resultado 0,42495 para a biomassa total, em uma simulação é considerada excelente quando apresenta (<10%) (FREITAS, 2018). O resultado para o coeficiente de eficiência do modelo de Nash-Sutcliffe (EF) resultou em 0,99975 sendo considerado um bom resultado com relação a biomassa.

Tabela 10. Índices estatísticos de validação do modelo AquaCrop para a Biomassa da leucena

Índices estatísticos	Biomassa ( $B$ )
RMSE	0,02618
NRMSE (%)	0,42495

<b>EF</b>	0,99975
<b>d</b>	0,99994
<b>Pe</b>	0,28405

O valor encontrado na validação de acordo com o índice de Willmott (d) foi de 0,99994 próximo de 1, sendo considerado uma excelente concordância de ajuste entre os dados observados e os dados simulados para a leucena.

Em pesquisas realizadas no Semiárido usando o AquaCrop para a cultura da cebola por Matsunaga (2019) e para o tomate por Freitas (2018), onde os autores encontraram resultados que comprovam a eficiência do modelo estatisticamente, ou seja, os resultados indicaram ótimo desempenho, com erros próximos a zero e índices de concordância em torno de um.

## 6. CONCLUSÕES

- As análises morfométricas da leucena apresentaram um bom desenvolvimento vegetal para as variáveis, diâmetro do caule, peso dos galhos, área da copa para os tratamentos T1 (1,0 x 1,0m), T2 (1,0 x 0,50m) e T3(1,0 x 1,5m) no período chuvoso e no período seco afirmando a sua adaptação as condições climáticas da região do Semiárido.

-As análises bromatológicas para o período chuvoso e para o período seco, apresentaram resultados dentro dos padrões para a matéria seca mantendo-se a umidade em média de 50%, bem como para a análise mineral as quantidades de resíduo final foram significativas para os períodos pesquisados.

-Mediante modelagem com o AquaCrop o tratamento T2(1,0m x 0,50m) é o recomendado para implantação da Leucena em bancos de proteínas para a produção de forragens, pois apresentou o melhor desempenho produtivo de biomassa entre o observado 8,882 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado 8,810 ton/ha<sup>-1</sup>.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. DE; DURAES, F. O. M. USO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.
- ALENCAR, J.A.; GUSS, A. Efeito da frequência de corte sobre a produção de matéria seca e proteína bruta da Cunhã (*Clitoria ternatea*) e da Leucena (*Leucaena leucocephala*). 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56) 1998.
- ANDRADE, C., AMARAL, T. A., BORGES JÚNIOR, J. C. F., Heinemann, A. B., GARCIA Y GARCIA, A., Tojo-Soler, C. M., CASTRO, L. A. Modelagem do crescimento de culturas: aplicações à cultura do milho. Embrapa Arroz e Feijão- Documentos, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo pastoril sustentável da caatinga. 1ª ed. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013.
- BARCELLOS, A. D. O., RAMOS, A. K. B., VILELA, L. J. M., BUENO, G. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. Revista Brasileira de Zootecnia, 2008.
- BARRETO, A. C., FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36(10), 1287-1293, 2001.
- BARROCAS, GEG; TANURE, JPM; GOMES, R. C. Análises bromatológicas para determinação da qualidade nutricional de forrageiras Compêndio de POPs. Embrapa Gado de Corte, 2017.
- BAYÃO, G. F. V., Edvan, R. L., CARNEIRO, M. S. D. S., FREITAS, N. E., PEREIRA, E. S., FILGUEIRA, P. A. C. H. E. C. O., ARAÚJO, M. J. D. Desidratação e composição química do feno de Leucena (*Leucaena leucocephala*) e *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*). Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 17(3), 365-373, 2016.
- BORGES, A. L., SOUZA, L. D. S., Rosa, R. C. C. Preparo e manejo do solo nos seus atributos químicos em cultivo orgânico. In Embrapa Mandioca e Fruticultura-

- Resumo em anais de congresso, Curitiba: SBCS; Londrina: IAPAR, 2016. p. 385-387, 2016.
- BORGES, A. L., SOUZA, L. D. S., Rosa, R. C. C. Preparo e manejo do solo nos seus atributos químicos em cultivo orgânico. In Embrapa Mandioca e Fruticultura-Resumo em anais de congresso, Curitiba: SBCS; Londrina: IAPAR, 2016. p. 385-387, 2016.
- BORTOLON, P. M., SARLO N., A., SANTOS, T. B. Custos de auditoria e governança corporativa. *Revista Contabilidade & Finanças*, 24(61), 27-36. 2013.
- BRASIL. Lei. 11.326) Lei No. 11.326, de 24 de julho de, 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. 2006.
- BUENO, A. V. I., JOBIM, C. C., RIBEIRO, M. G., OLIVEIRA, J. P. D. Método de obtenção de matéria seca e composição química de volumosos. *Ciência Animal Brasileira*, v.18. 2017.
- CARDOSO, E. L.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. Análise de solos: finalidade e procedimentos de amostragem. Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico, 2009.
- CAVALCANTE JUNIOR, C. A. Desempenho do modelo AquaCrop/FAO® para cultivo do milho em Alagoas. 2019.
- CAVALCANTE, A. C. R. C., CAVALLINI, M. C., LIMA, N. R. C. B. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009.
- COSTA, J. N. M. N. D., DURIGAN, G. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae): invasive or ruderal. *Revista Árvore*, 34(5), 825-833, 2010.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, Alessandra Monteiro Salviano; GIONGO, Vanderlise. Matéria orgânica do solo. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico, 2015.
- DRUMOND, M. A., RIBASKI, J. *Leucena* (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. Embrapa Florestas-Comunicado Técnico, 2010.
- DE SOUSA, F. B. *Leucena*: produção e manejo no Nordeste brasileiro. Embrapa Caprinos e Ovinos-Circular Técnica, 2005.
- DONAGEMMA, G. K., PASSOS, R. R., COSTA, A. S. V. D., ANDRADE, F. V. Indicadores de qualidade do solo e determinação de níveis de degradação de pastagens (Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal)

2014. Disponível em:> <http://dspace3.ufes.br/handle/10/1212><Acesso em: 12 de dezembro de 2019.
- EDVAN, R. L., CARNEIRO, M. D. S., DA SILVA, E. B., ALBUQUERQUE, D. R., PEREIRA, E. S., BEZERRA, L. R., ARAÚJO, M. J. Análise de crescimento da gliricídia submetida a diferentes manejos de corte. *Archivos de zootecnia*, 65(250), 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Publicação analisa tendência de crescimento dos rebanhos de caprinos e ovinos no país. Disponível em: ><https://www.embrapa.br/cim-inteligencia-e-mercado-de-caprinos-e-ovinos/busca-de-noticias/-/noticia/29364402/publicacao-analisa-tendencia-de-crescimento-dos-rebanhos-de-caprinos-e-ovinos-no-pais><. Acesso em: 10 de maio de 2019.
- FLOSS, E. L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.
- FONTANELI, R.S.; Qualidade e valor nutritivo de forragem. Forrageiras para integração lavoura-pecuária floresta na região sul-brasileira. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2012.
- FAO-Food And Agriculture organization of the United Nations-. 31ª sessão regional da reaf destacará impacto do acordo entre Mercosul e União Europeia sobre os pequenos produtores rurais. Disponível em:< <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1250671/>>: Acesso em: 25 de julho de 2019.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. AquaCrop 6.1. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/aquacrop/software/en/>>. Acesso em: maio de 2019.
- FRANCISCO, P. R. M., SANTOS, D., Aptidão Climática do Estado da Paraíba para as Principais Culturas– Areia: UFPB, 2018.
- FRANCO, A. A., SOUTO, S. M. *Leucaena leucocephala* uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos. Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico, 1986.
- FREITAS, J. C. Calibração do modelo aquacrop e necessidades hídricas da cultura do tomateiro cultivada em condições tropicais. 119 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de

- Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.
- GANEM, R. S. Caatinga: Estratégias de Conservação. Estudo Técnico. Consultoria Legislativa, 2017.
- GIOVENARDI, E. P., JUNIOR, A. S. V., Alves, M. O., CRISÓSTOMO, D. G. distribuição de crédito, tecnologia e renda: efeitos da estratégia de ação do banco do nordeste do brasil junto ao pequeno produtor rural nordestino. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 2019.
- GOYAL, Y., BINGHAM, R. L., & FELKER, P. Propagation of the tropical tree, *Leucaena leucocephala* K67, by in vitro bud culture. *Plant cell, tissue and organ culture*, 1985.
- GUEDES, F. L., SILVA, N. L., SOUZA, H. A., POMPEU, R., FERNANDES, F. Desempenho de forrageiras em caatinga manipulada em região semiárida. *Embrapa Caprinos e Ovinos-Circular Técnica*, 2018.
- HUTTON, E.M. Selection and breeding of tropical pasture legumes. In: SKERMAN, P.J.; CAMERON, D.G.; RIVEROS, F. *Tropical forage legumes*, Rome: FAO, p. 173-193, 1988.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados preliminares Censo agropecuário 2017. Disponível em: > <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/> < Acesso em: 07 julho de 2018.
- JOBIM, C. C., NUSSIO, L. G., REIS, R. A., SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 101-119, 2007.
- LEITE, M. L. M. V., SILVA, D. S., ANDRADE, A. P., PEREIRA, W. E., E RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. *Revista Caatinga*, 2014.
- LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. 2.ed. Piracicaba: Potafósp.51-76, 1998.
- MACHADO, R., MILERA, M., MENÉNDEZ, J., GARCIA TRUJILLO, R., *Leucaena* (*Leucaena leucephala* (Lam) de Wit). *Pastos y forrajes Havana*, v. 1, n.3, p.321-374, 1978.
- MARTINS, M., TOMASELLA, J., GIAROLLA, A., ALVALÁ, R., ANDRADE, C. Calibração do modelo Aquacrop para estimativa de rendimento de milho no

- semiárido do Brasil. In Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: congresso brasileiro de agrometeorologia. UFLA, 2015.
- MATSUNAGA, W. K., Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino-Campina Grande, (dissertação em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba 2019.
- MENDES, A. M. S. Introdução a fertilidade do solo. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: curso de manejo e conservação do solo e da água, Barreiras. Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos-UEP Recife, 2007.
- MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. 530 p - Brasília, DF: INMET, 2009.
- MONTEITH, J.L.; MOSS, C.J. Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, London, p.277–294, 1977.
- MOURA, M. S. B., GALVINCIO, J., BRITO, L. D. L., SOUZA, L. D., SÁ, I., SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semiárido. Embrapa Semiárido- Capítulo em livro científico, 2007.
- NETO, J. A. S., SILVA O., V., LIMA V., R. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido–revisão. Revista de Ciências Agroveterinárias, 14(2), 2015.
- OLIVEIRA, A. B. Germinação de sementes de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) *de Wit.*), var. K-7, 2008. Disponível em:<<http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/18leucena-518170b397ba8.pdf>>: Acesso em 24 de novembro 2019.
- OLIVEIRA, C. T. Modelo Aquacrop : calibração, validação e uso para soja e milho na região dos campos gerais, 2018. Disponível em:<<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/56229>> Acesso em: 09 de dezembro de 2019.
- ONU- Organização das Nações Unidas. disponível em:<<https://nacoesunidas.org/agencia/fao/>>: acesso em: 10 de julho de 2019.

- PEREZ, S. C. J. G. de A.; FANTIN, S. C. Crescimento e resistência à seca de leucena em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 34, n. 6, p. 933-944, jun. 1999.
- POMPEU, R., DE SOUZA, H. A., GUEDES, F. L. Opções e estabelecimento de plantas forrageiras cultivadas para o Semiárido Brasileiro. Sobral, Brazil: EMBRAPA Caprinos e Ovinos, 2015.
- PORTO, M. R., MOSCARDINI, A. R., NOVAIS, E. P., CABRAL, S. L., FILHO, E. M., & CASTRO, M. B. Intoxicação natural e experimental por *Leucaena leucocephala* em equinos. *Pesq. Vet. Bras*, 37(8), 829-834, 2017.
- QUARANTA, G. Agricultura de sequeiro. Lucinda: Land Care in Desertification Affected Areas. 1999.
- RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T. C., & FERERES, E. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101 (3), 438–447, 2009.
- REIS, R. A., BARBERO, R. P., HOFFMANN, A. Impactos da qualidade da forragem em sistemas de produção de bovinos de corte. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 37(292), 36-53, 2016.
- SALMAN, A. K., FERREIRA, A. C. D., SOARES, J. P. G., & DE SOUZA, J. P. Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos. Embrapa Rondônia-Documentos, 2010.
- SANTOS, I. L. N., CARVALHO, C. M., GOMES FILHO, R. R., SANTOS, K. V., OLIVEIRA, D. T. B., SOUZA, L. G. Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de crotalária. *revista brasileira de agricultura irrigada-rbai*, 10(5), 925-934, 2016.
- Sas Institute. SAS system for Windows. Cary: SAS Institute inc. 2001
- Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD) SEAD Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar> acesso: dia 06 de agosto de 2019
- SILVA, L. M., ALQUINI, Y., CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. *Acta Botanica Brasilica*, 19(1), 183-194, 2005.
- SILVA, M. S. L.; FERREIRA, G. B.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. F.; PARAHYBA, R. B.- Avaliação de espécies vegetais para cobertura do solo em

- sistemas irrigados de cultivo orgânico de manga no polo Petrolina, BA/ Juazeiro, BA. embrapa-2018.
- SILVA, R. A. e. Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba. 113 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.
- SINCLAIR, T. R., AND N. G. SELIGMAN. 1996. Crop Modeling: From Infancy to Maturity. *Agron.J.* 88:698-704. doi:10.2134/agronj1996.00021962008800050004x, 1996.
- SKERMAN, P. J. Tropical forage legumes. Rome, FAO, 610p. 1977.
- SOUZA, R. M. S. Sazonalidade da chuva e dos fluxos de energia, água e carbono em áreas de caatinga e pastagem no semiárido pernambucano., 2017.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. Crop yield response to water. Irrigation and drainage paper no. 66. FAO, Rome, 2012.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, v. 101, n. 3, p. 426-437, 2009.
- STEDUTO, P.; RAES, D.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. AquaCrop: concepts, rationale and operation. In: Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Fereres, E.; Raes, D. In: Crop yield response to water. FAO irrigation and Drainage Paper 66, Cap. 3 (3.1), p. 17-49. Roma, Itália, 2012.
- SILVA, L. C., BELTRÃO, N. D. M., AMORIM NETO, M. D. S. Análise do crescimento de comunidades vegetais. *Embrapa Algodão-Circular Técnica*, 2000.
- SILVA, R. T. D. Trocas gasosas, caracterização citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. 2019.
- SOUZA, L. D. S., AZEVEDO, D. D. O., de CARVALHO, A. J. A., SIMÕES, W. L., VOLTOLINI, T. V. Qualidade nutricional de plantas forrageiras de ocorrência natural na caatinga. 2013.
- TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2017.
- ZAMBAZI, R.C. Análise Físico Química de Alimentos. Pelotas: Editora Universitária/UFPEL, 202p. 2010.