



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**JOSÉ LUCAS GUEDES DOS SANTOS**

**PREDIÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE  
GLIRICÍDIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2022**

JOSÉ LUCAS GUEDES DOS SANTOS

PREDIÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GLIRICÍDIA  
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia - PPGIZ/UEPB/UFC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Nutrição Animal e Forragicultura.

Orientador: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.

Coorientadora: Dra. Ana Clara Rodrigues Cavalcante

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S235p Santos, José Lucas Guedes dos.

Predição e análise de risco da produção de forragem de gliricídia no semiárido brasileiro / José Lucas Guedes dos Santos. – 2022.

61 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.

1. Gliricidia sepium. 2. Garantia mínima. 3. Modelo PHYGROW. 4. Orçamentação forrageira. 5. Simulação de Monte Carlo. I. Título.

CDD 636.08

---

JOSÉ LUCAS GUEDES DOS SANTOS

PREDIÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GLIRICÍDIA  
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia - PPGIZ/UEPB/UFC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Nutrição Animal e Forragicultura.

Aprovada em: 17/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Ana Clara Rodrigues Cavalcante  
EMBRAPA Caprinos e Ovinos

---

Dr. Tadeu Vinhas Voltolini  
EMBRAPA Semiárido

---

Prof. Dr. Valdson José da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me sustentar durante os momentos mais difíceis. Agradeço também a minha família, em especial a minha mãe Francismisa pelo dom da vida, minha avó Valmisa por me apresentar ao meio rural quando eu ainda era uma criança, minha tia Herlania pelo apoio e minha bisavó Valmira que hoje me protege lá do céu.

Agradeço a Universidade Federal do Ceará, local em que fiz grandes amizades durante estes 02 anos de pós-graduação. Agradeço aos colaboradores do Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF) bem como a todos os seus integrantes por sempre estarem dispostos a me ajudar nos momentos que precisei.

Agradeço especialmente ao Professor Dr. Magno José Duarte Cândido, por toda a sua amizade, confiança e disposição em me ensinar a ser não apenas um bom profissional, mas também um bom ser humano.

Agradeço aos membros da banca examinadora: Dra. Ana Clara, Dr. Tadeu e Dr. Valdson pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições. Agradeço aos colegas de grupo de pesquisa em modelagem, em especial a minha parceira de projeto Leydiane Bezerra por todo o apoio e a meus grandes amigos: Samuel Maranhão e Milena Santos por todos os ensinamentos e parceria.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia por cada ensinamento a mim concedido. Agradeço aos amigos de graduação e pós-graduação Carlos Mateus, Jonnathan Richeds, Junior Barroso, Matheus Lima e Marcio Freire por todo o apoio a mim dado e por toda a parceria durante todos esses anos.

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. A quem por ventura não citei, deixo também o meu muito obrigado.

## RESUMO

A variabilidade climática que ocorre em regiões semiáridas é uma fonte de risco e incertezas para a produção de forragem. Dessa forma, se faz necessário, a utilização de ferramentas que possibilitem estimar a produção de forragem com maior precisão, possibilitando o planejamento adequado da atividade pecuária na região. Objetivou-se estimar a produção de biomassa de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex. Walp.] e avaliar a sua garantia natural de produção por meio de técnicas de modelagem, com posterior utilização destas informações para avaliação da aclimação da cultura à diferentes sítios ecológicos do Semiárido Brasileiro e consequente planejamento forrageiro. A coleta de dados foi realizada entre os anos de 2018 e 2021 em seis unidades de referência tecnológica (URTs) situadas em municípios representativos da região Semiárida Brasileira. Os dados de campo foram utilizados para modelagem da produção de biomassa de forragem total (BFT) da gliricídia por meio do modelo PHYGROW® *Phytomass Growth*. Após essa etapa, foi gerada uma série histórica de 71 anos de produção de biomassa, sendo os dados submetidos ao teste de aderência para a identificação da função densidade de probabilidade (FDP). Posteriormente, foram gerados 10.000 valores baseados na FDP, que foram submetidos a análise de risco, considerando o conceito de garantia natural de produção. O PHYGROW, subestimou a BFT colhida em três dos seis cenários estudados. A função Weibull foi a que melhor se ajustou aos dados da série histórica para todas as URTs estudadas. Para a análise da garantia natural de produção, considerando a média de todas as URTs estudadas para uma garantia natural de 95%, observou-se que a gliricídia apresentou produtividade de  $2028 \pm 1357$  kg de MS ha<sup>-1</sup> colheita<sup>-1</sup>, ou seja, para um cenário de 20 anos, em 19 espera-se no mínimo tal produtividade média. Baseado nas avaliações estatísticas realizadas, o PHYGROW foi capaz de simular satisfatoriamente a produção de forragem da gliricídia. A análise de risco, através da garantia natural pode contribuir para a melhoria do planejamento forrageiro no Semiárido Brasileiro. A gliricídia apresentou um bom nível de adaptação às diferentes condições estudadas.

**Palavras-chave:** *Gliricidia sepium*; garantia mínima; modelo PHYGROW; orçamentação forrageira; simulação de Monte Carlo.

## ABSTRACT

The climate variability that occurs in Semiarid regions is a source of risk and uncertainties for forage production. Thus, it is necessary, the use of tools that make it possible to estimate the forage production with good precision, allowing the adequate planning of the livestock activity in the region. The aim was to estimate the biomass production of gliricidia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex. Walp.] and evaluate its natural warranty production through modeling techniques, with subsequent use of this information to assess the acclimatization of the crop to different ecological sites in the Brazilian Semiarid region and consequent forage planning. Data collection was carried out between 2018 and 2021 in six technological reference units (TRUs) located in representative municipalities of the Brazilian Semiarid region. Field data were used to model the total forage biomass (TFB) production of gliricidia using the PHYGROW® *Phytomass Growth*. After this step, a historical series of 71 years of biomass production was generated, and the data were submitted to the adherence test to identify the probability density function (PDF). Subsequently, 10,000 values were generated based on the PDF, which were submitted to risk analysis, considering the natural warranty production concept. The PHYGROW underestimated the TFB collected in three of the six scenarios studied. The Weibull function was the one that best fitted the historical series data for all the studied TRUs. For the analysis of the natural warranty production, considering the average of all TRUs studied for a natural warranty of 95%, it was observed that gliricidia had a productivity of  $2028 \pm 1357$  kg of DM ha<sup>-1</sup> harvest<sup>-1</sup>, that is, for a 20 year scenario, at least such average productivity is expected in 19 years. Based on the statistical evaluations performed, the PHYGROW was able to satisfactorily simulate the forage production of gliricidia. The risk analysis, through the natural warranty, can contribute to the improvement of forage planning in the Brazilian Semiarid region. Gliricidia showed a good level of adaptation to the different conditions studied.

**Keywords:** *Gliricidia sepium*; minimum warranty; PHYGROW model; forage budgeting; Monte Carlo simulation.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização geoespacial das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro ..... 26
- Figura 2 – Precipitação pluviométrica e temperatura média observadas nas URTs de (A) - Carlos Chagas - MG, (B) - Fortuna - MA, (C) - Ibaretama - CE, (D) - Itapetinga - BA, (E) - Montes Claros - MG e (F) - Tenório - PB entre os anos de 2018 e 2021..... 27
- Figura 3 – Estimativa da biomassa de forragem total de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F)..... 36
- Figura 4 – Ajuste da função do tipo Weibull para o comportamento do histórico de produção de biomassa estimado pelo PHYGROW para gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F) ..... 40
- Figura 5 – Garantias naturais de produtividade de biomassa de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F) ..... 44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estados, municípios, clima e localização geográfica das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro .....	25
Tabela 2 – Precipitação acumulada e temperaturas média, máxima e mínima das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro .....	25
Tabela 3 – Atributos químicos e físicos dos solos presentes nas URTs de Carlos Chagas - MG (A), Fortuna - MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga - BA (D), Montes Claros - MG (E) e Tenório - PB (F) .....	28
Tabela 4 – Parâmetros do modelo PHYGROW depois da calibração .....	32
Tabela 5 – Avaliação do desempenho do modelo PHYGROW em simular a produção de biomassa total de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas - MG (A), Fortuna - MA (B), Ibaretama - CE (C), Itapetinga - BA (D), Montes Claros - MG (E) e Tenório - PB (F) .....	37
Tabela 6 – Séries sintéticas de dados de produção de biomassa de gliricídia compostas por números pseudoaleatórios baseados na função Weibull para as URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F) .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Altura do Dossel
AIR	Altura do Início da Rebrotação
BFT	Biomassa de Forragem Total
BIAS	Erro Médio da Previsão
CMS	Consumo de Matéria Seca
CS	Capacidade de Suporte
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DBD	Diâmetro da Base do Dossel
DC	Diâmetro da Copa
EMA	Erro Médio Absoluto
FR	Fator de Rocha
FDP	Função Densidade de Probabilidade
GDAS	<i>Global Daily Assimilation System</i>
IW	Índice de Willmott
MO	Matéria Orgânica
MBAS	Máxima Biomassa Acima do Solo
MS	Matéria Seca
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PA	Período de Alimentação
PC	Peso Corporal
PDR	Profundidade da raiz
PHYGROW	<i>Phytomass Growth</i>
Precip	Precipitação
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Médio
SB	Soma de Bases
SMC	Simulação de Monte Carlo
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TB	Temperatura Basal
TO	Temperatura Ótima
TS	Temperatura de supressão

URTs            Unidades de Referência Tecnológica  
V                Saturação de Bases

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1	<b>Caracterização da região semiárida brasileira</b> .....	12
2.2	<b>Vulnerabilidade climática da região Semiárida: Implicações no manejo da pastagem</b> .....	14
2.3	<b>Simulação de Monte Carlo</b> .....	16
2.4	<b>A utilização de plantas arbóreas como alternativa alimentar para ruminantes no Semiárido</b> .....	18
2.5	<b>Gliricídia: aspectos gerais</b> .....	20
2.6	<b>A utilização de modelos matemáticos como ferramenta para estimativa da produção de forragem</b> .....	22
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
3.1	<b>Localização</b> .....	24
3.2	<b>Amostragem e análise de solo</b> .....	27
3.3	<b>Cultura estudada e implantação</b> .....	29
3.4	<b>Tratos culturais</b> .....	29
3.4.1	<i>Adução</i> .....	29
3.5	<b>Coleta de dados</b> .....	29
3.5.1	<i>Avaliação da biomassa das forrageiras</i> .....	29
3.5.2	<i>Avaliação laboratorial</i> .....	30
3.6	<b>Modelagem da produção de biomassa</b> .....	30
3.7	<b>Avaliação do desempenho do modelo</b> .....	33
3.8	<b>Análise da garantia natural por meio da simulação de Monte Carlo</b> .....	34
3.9	<b>Análise da capacidade de suporte</b> .....	34
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49
	<b>ANEXO A – DECLARAÇÃO DE REVISÃO ORTOGRÁFICA</b> .....	60
	<b>ANEXO B – DECLARAÇÃO DE CORREÇÃO DO INGLÊS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

Nas regiões Semiáridas, a água é um fator limitante tanto para o uso das famílias e dos animais, como para a produção de alimentos (BRITO et al., 2012). Aliado à fragilidade destes sistemas de produção, indicadas pela variabilidade climática, observa-se que a utilização da pecuária semiextensiva ou extensiva nas regiões Semiáridas passa a ser, cada vez mais, fator de alteração ambiental devido à lotação excessiva de animais em limites superiores à capacidade de suporte do ecossistema (PARENTE; PARENTE, 2010).

A forte dependência que os sistemas de produção têm da vegetação nativa da caatinga é considerada como um dos principais responsáveis pelo baixo desempenho zootécnico dos rebanhos da região (ARAÚJO et al., 2000). A acentuada redução anual na oferta de forragem durante a estação seca (Araújo Filho, 1980), aliada a falta de planejamento forrageiro é considerada um fator determinante para os baixos níveis de produtividade observados na região (PFISTER, 1983; MESQUITA, 1985; ARAÚJO FILHO, 1987; ARAÚJO et al., 2000).

De acordo com Araújo Filho et al. (1990), diversas são as formas de reduzir a dependência da vegetação nativa durante o período seco (silagem, subprodutos de agricultura, cultivo de plantas forrageiras adaptadas com propósitos específicos). Sendo que, dentre tais opções, a utilização de leguminosas forrageiras passa a ser uma alternativa para a redução de custos, por apresentarem em relação às gramíneas, maior teor de proteína bruta, menor taxa de declínio nos teores e na digestibilidade da proteína, além apresentarem também, boa produtividade (EDVAN et al., 2014; SANTANA et al., 2019; COSTA et al., 2021).

O processo de produção de forragem é considerado arriscado, tendo em vista a sua dependência das condições ambientais (HARDAKER et al., 2015) que podem variar dentro e entre anos, e resultar em diferentes níveis de produtividade. Embora seja um fator incontrolável, essa variação pode ser integrada a uma métrica com base em probabilidades que permitem a avaliação das chances de sucesso e fracasso, formando a base para a tomada de decisões (CLAPHAM et al., 2008).

Ferramentas como a modelagem, podem contribuir para que agentes públicos e produtores tenham à disposição a possibilidade de avaliação de risco no processo de produção de forragem, como por exemplo, a adoção de níveis de garantia natural (SILVA et al., 2013), permitindo minimizar a probabilidade de restrição alimentar dos rebanhos. A avaliação de risco, nesse sentido, é uma tentativa de identificar e quantificar os fatores de risco e gerar probabilidades de sucesso ou fracasso de decisões (VOSE, 2000).

O desenvolvimento e aplicação de tecnologias que auxiliem os pecuaristas a reduzirem os problemas inerentes à variabilidade climática, possibilitando prever aspectos relacionados ao crescimento vegetal e à produção de forragem, podem contribuir para ajustes nas taxas de lotação e para mitigar os processos de degradação das pastagens naturais ou cultivadas.

Destaca-se dentre essas tecnologias, os modelos de crescimento vegetal, como por exemplo, o PHYGROW *Phytomass Growth* (STUTH et al., 2003). O PHYGROW tem sido uma ferramenta utilizada em projetos de alerta precoce e para o monitoramento da biomassa de forragem em regiões áridas e semiáridas do mundo, tais como Estados Unidos (ANGERER, 2008), Quênia (MATERE et al., 2020) e Mongólia (ANGERER, 2012).

De forma geral, observa-se na literatura uma evolução do número de trabalhos envolvendo uso de modelagem aplicada à estimativa da produção de forragem, principalmente espécies forrageiras do tipo C4 manejadas sob irrigação e adubação (SANTOS et al., 2019; PEQUENO et al., 2014; PEZZOPANE et al., 2014; LARA et al., 2012; PEZZOPANE et al., 2012; CRUZ et al., 2011; PEDREIRA et al., 2011). Entretanto, quando se fala em forrageiras arbóreas, como por exemplo a gliricídia sob condição de sequeiro, poucos ainda são os trabalhos.

Nesse contexto, objetivou-se estimar a produção de biomassa de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex. Walp.] e avaliar a sua garantia natural de produção por meio de técnicas de modelagem, com posterior utilização destas informações para avaliação da aclimação da cultura à diferentes sítios ecológicos do Semiárido Brasileiro e consequente planejamento forrageiro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Caracterização da região Semiárida brasileira**

As regiões áridas e semiáridas representam 1/3 das terras do mundo, onde vivem em torno de 1 bilhão de pessoas, estando uma grande proporção entre as mais pobres do mundo (MALAGNOUX; SÈNE; ATZMON, 2007). As regiões com características de aridez e semiaridez na América Latina e Caribe estão localizadas na Argentina, Brasil, Chile e México. Todas estas áreas abrangem 313 milhões de hectares e compreendem 80% das áreas tropical e subtropical (CÂNDIDO et al., 2005).

O Semiárido Brasileiro é composto, de acordo com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (2018), por 1.262 municípios pertencentes a nove estados do Nordeste (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Maranhão) e ao norte de Minas Gerais, abrangendo uma área de 1.128.697 km<sup>2</sup>, o que representa 13,26% do território nacional. Em complemento a este fato, Silva (2003) afirmou que esta é uma das maiores regiões semiáridas do planeta, em termos de extensão e de densidade demográfica, com uma população de 27.870.241 habitantes, segundo a SUDENE (2018).

A região caracteriza-se por apresentar um período seco que varia, de forma geral, entre seis a oito meses, com precipitações pluviométricas irregulares tendo médias anuais na faixa de 400 a 800 mm. As temperaturas são mais estáveis com média anual na faixa de 28 °C, podendo ser atenuadas nos ambientes de maior altitude para uma média em torno de 22 °C (JACOMINE, 1996; ARAÚJO FILHO et al., 1995; SILVA et al., 1993; BRASIL, 1972; BRASIL, 1973).

Contrariamente às baixas precipitações pluviométricas, a evapotranspiração média anual é bastante elevada, podendo atingir valores ao redor de 2000 mm (SÁ; SILVA, 2010). É importante ressaltar que, não apenas a escassez, mas sobretudo, as marcantes irregularidades das chuvas, seja no mesmo ano ou entre anos, são fatores decisivos que propiciam perdas de inúmeras safras pelos produtores dessa região (ARAÚJO FILHO et al., 2019; MARENGO et al., 2011).

Adicionalmente ao clima, o solo é outro importante fator de estabilidade dos ecossistemas áridos e semiáridos. Nessas regiões, os solos são, em geral, pouco desenvolvidos, em função da escassez das chuvas, que atenuam o intemperismo químico (ARAÚJO, 2011).

De maneira geral, os solos do Semiárido Brasileiro são quimicamente adequados, mas apresentam, quase sempre, sérios impedimentos físicos em razão de sua pouca profundidade, afloramentos rochosos e presença de pedimentos, que são áreas planas de capeamentos de cascalho ou seixos rolados (ARAÚJO FILHO, 2013).

Cerca de quinze classes de solos recobrem a região do domínio da caatinga: latossolos vermelho-amarelos, latossolos vermelho-escuros, neossolos litólicos, argissolos, luvisolos crômicos órticos, neossolos quartzorênicos, planossolos háplicos, chernossolos, planossolos nátricos, solonchaks, cambissolos, vertissolos, neossolo regolítico, solos aluviais e rendzinas (ARAÚJO FILHO, 2013).

Vale ressaltar que os solos de todas essas classes estão em fase acelerada de erosão, com a taxa média de 29,7% a.a. Seis classes destacam-se pela área de cobertura, que

corresponde a 86,6% da área do Semiárido Brasileiro: argissolos, latossolos, luvisolos crômicos órticos, neossolos litólicos, neossolos quartzarênicos e planossolos háplicos (JACOMINE, 1996).

No tocante à vegetação e à sua interação com o solo, o Semiárido Brasileiro pode ser dividido nas seguintes zonas: domínio da vegetação hiperxerófila, domínio da vegetação hipoxerófila, ilhas úmidas, agreste e área de transição (SÁ et al., 2004). Em termos botânicos, a caatinga é um bioma formado por um complexo vegetacional em que se faz presente uma série diversa de espécies lenhosas e herbáceas, sendo, *a priori*, as primeiras caducifólias e as últimas anuais (ARAÚJO FILHO, 2013; CÂNDIDO et al., 2005).

Araújo Filho (1980) e Araújo Filho et al. (1995) demonstraram que extensas áreas da caatinga se encontram permanentemente em estádios pioneiros de sucessão, sem perspectivas de recuperação, sendo esta questão potencializada pela prática da pecuária extensiva. Esta atividade econômica, tem sido responsabilizada pela degradação, principalmente do estrato herbáceo, o que culmina, na maioria das vezes, no desaparecimento de espécies de valor forrageiro.

## **2.2 Vulnerabilidade climática da região Semiárida: Implicações no manejo da pastagem**

Sabe-se que as chuvas do Semiárido Brasileiro apresentam enorme variabilidade espacial e temporal e que esta variabilidade, atrelada à irregularidade das chuvas, é um obstáculo constante ao desenvolvimento das atividades agropecuárias. Para piorar, ciclos de fortes estiagens e secas costumam atingir a região em intervalos que vão de poucos anos a até mesmo décadas. Eles colaboram para desarticular de vez as já frágeis condições de vida de pequenos produtores e outros grupos mais pobres, tornando-se, muitas vezes, o gatilho para o abandono da região (MARENGO, 2011).

De acordo com Adger et al. (2003), as mudanças climáticas podem acentuar ou reforçar as vulnerabilidades existentes e as desigualdades socioeconômicas, possuindo elevado potencial para afetar adversamente os agricultores familiares do semiárido, especialmente os mais pobres que, geralmente são considerados um grupo susceptível a esses impactos (ADGER et al., 2003; MORTON, 2007).

No Semiárido Brasileiro, a água é fator limitante tanto para o consumo das famílias e dos animais como para produção de alimentos. Nesta região, os sistemas de exploração agropecuários utilizados pelos pequenos agricultores sobrevivem em equilíbrio precário com os sistemas agroecológicos e socioeconômicos. O fenômeno que caracteriza esse desequilíbrio



está associado, principalmente, à irregularidade pluviométrica, o que torna a agricultura uma atividade de risco (BRITO et al., 2012).

Aliado à fragilidade destes sistemas de produção, demonstrada pela variabilidade climática, observa-se que a utilização da pecuária semiextensiva ou extensiva passa a ser, cada vez mais, fator de alteração ambiental devido à lotação de animais em limites superiores à capacidade de suporte dos ecossistemas que, no longo prazo, contribui para a degradação dos solos e da vegetação, gerando áreas susceptíveis à desertificação (PARENTE; PARENTE, 2010).

O pastejo excessivo frequentemente resulta em eventos adversos em série, começando com mudanças drásticas na composição das espécies vegetais, levando à erosão acelerada do solo, à redução da sua função hidrológica e menor produção primária e secundária. A manutenção de números artificialmente altos de animais por meio de alimentação suplementar durante períodos menos produtivos potencializa ainda mais a degradação (OESTERHELD et al., 1992; MILCHUNAS; LAUENROTH, 1993).

O sobrepastejo é considerado a principal causa de degradação das pastagens, porque podem promover mudanças drásticas na composição da vegetação quando o consumo da forragem pelos herbívoros excede a capacidade produtiva das plantas, principalmente durante períodos em que os recursos naturais são escassos, como na seca (VAN DE KOPPEL; RIETKERK, 2000; HIGGINS et al., 2007; WESSELS et al., 2007).

Sob condições sazonais favoráveis, maiores taxas de lotação por pequenos períodos podem ter pouco efeito prejudicial sobre as pastagens e isso pode-se explicar pela falta de efeitos da lotação em determinados atributos do pasto (HUNT et al., 2014), como por exemplo, a taxa de mortalidade e aparecimento de perfilhos (CARVALHO et al., 2000) entretanto, sob condições desfavoráveis, como é o caso do Semiárido Brasileiro, em que a previsão das condições climáticas torna-se difícil devido à inconstância pluviométrica, percebe-se uma aceleração na degradação do pasto devido à dificuldade de planejamento dos pecuaristas aliada a adoção de intensidades de pastejo não ajustadas a morfogênese do pasto.

Vale destacar que o excesso nas taxas de lotação acaba reduzindo severamente a produção animal, enquanto a mortalidade do rebanho e as despesas com a alimentação durante a época seca podem afetar a lucratividade da empresa rural (HINTON, 1993). A redução na produção animal é explicada pela redução na oferta de forragem com o aumento da taxa de lotação, elevando a competição entre os animais por alimento, tornando-os incapazes de selecionar a parte mais nutritiva da forragem levando-os a uma nutrição às vezes insuficiente até para sua manutenção (MOTT, 1960).

Neste sentido, sabendo-se da importância das forrageiras perenes como importante alimento para os animais e do seu papel vital na proteção e estabilização do solo, aprisionando e retendo matéria orgânica, sedimentos e nutrientes, além da sua capacidade de fornecer habitat para a fauna nativa, indicando que adoção de uma taxa de lotação ajustadas ao longo de todo o ano é crucial para a obtenção de um desempenho adequado dos animais, mantendo ou melhorando a condição das pastagens (DÍAZ SOLÍS et al., 2006; TEAGUE et al., 2008).

### **2.3 Simulação de Monte Carlo**

Naylor et al. (1966) definiram a simulação como sendo uma técnica numérica que envolve certos tipos de modelos matemáticos e lógicos que descrevem o comportamento de um dado sistema, ou um de seus componentes, ao longo do tempo. Em outras palavras, a simulação é o processo de reprodução do mundo real baseado em certas suposições e em modelos concebidos da realidade. Vale ressaltar que, ao se trabalhar com variáveis que apresentem aleatoriedade e distribuição de probabilidade conhecidas, pode-se fazer uso da simulação de Monte Carlo (SOLON, 1999).

A simulação de Monte Carlo foi originada na década de 1940, tendo sido desenvolvida por três cientistas: John von Neumann, Stanislaw Ulam e Nicholas Metropolis, que trabalharam em uma missão secreta no Laboratório Nacional de Los Alamos, com um projeto de arma nuclear (Projeto Manhattan). A equipe citada desenvolveu tal metodologia devido à complexidade de um modelo que estavam estudando, que incluía variáveis de entrada e uma série de algoritmos muito complicados para serem resolvidos analiticamente (THOMOPOULOS, 2013).

O método de Monte Carlo é um tipo especial de simulação utilizada em modelos que envolvem eventos probabilísticos. Além disso, tal método se baseia em processos aleatórios, como um lançamento de dados, para selecionar os valores de cada variável em cada simulação (MORSE; ROTH, 1986). Como citado anteriormente, esse método permite, essencialmente, simular o comportamento de processos que dependem de fatores aleatórios (SOBOL, 1983).

Para qualquer simulação de Monte Carlo faz-se necessária a geração de números aleatórios, ou seja, valores que representem uma variável aleatória uniformemente distribuída no intervalo de zero a cem por cento de probabilidade. Tais números eram, originalmente, gerados de forma manual e/ou mecânica, entretanto, com o avanço da tecnologia, passou-se a utilizar os computadores com o objetivo de gerar sucessivamente, aproximações para uma

verdadeira sequência de variáveis aleatórias uniformes, os chamados números pseudoaleatórios (RUBINSTEIN; KROESE, 2017; PAULA, 2014).

No que diz respeito à variável analisada, a simulação possui dependência com o tipo de variável a ser considerada no modelo. Law e Kelton (1991) e Winston e Goldberg (2004) consideram que existem, baseado no tipo de variável, dois tipos de simulação: a de eventos discretos; e a de eventos contínuos. A título de informação, eventos discretos são aqueles, cujos possíveis valores formam um conjunto finito ou enumerável de números, e que resultam, frequentemente, de uma contagem, enquanto que os contínuos, são os que pertencem a um intervalo de números reais e que resultam de uma mensuração (MORETTIN; BUSSAB, 2010).

A simulação de Monte Carlo (SMC) envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar e resolver problemas (SARAIVA JÚNIOR, 2011), sendo esses números, atribuídos às variáveis do sistema que se deseja investigar (LUSTOSA et al., 2004). A sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição de frequência que possibilita calcular estatísticas descritivas, como média (valor esperado), valor máximo e desvio-padrão, cabendo ainda ao analista das simulações a possibilidade de projetar cenários futuros de operação do sistema analisado (SARAIVA JÚNIOR, 2011).

Shamblin e Stevens (1974), propõem que a simulação de Monte Carlo segue basicamente a seguinte sequência: 1º - definição das variáveis envolvidas no sistema que se está analisando, com base em dados passados ou estimativas; 2º - construção das distribuições de frequência para cada variável definida; 3º - definição dos intervalos de classe para cada variável, com base na frequência acumulada; 4º - geração dos números aleatórios; 5º - posicionar os números aleatórios nos respectivos intervalos de classe de cada variável e, por fim, 6º - realizar a simulação.

A simulação de Monte Carlo foi desenvolvida com objetivo de auxiliar no desenvolvimento de projetos militares. Entretanto, por se demonstrar como uma ferramenta útil para a tomada de decisão em situações que envolvem risco e incertezas (MOORE; WEATHERFORD, 2001; LUSTOSA et al., 2004), diversas outras áreas vêm utilizando. Dentre essas áreas, pode-se citar como exemplo, a engenharia, a economia, a medicina e as ciências agrárias.

Clapham et al. (2008) avaliaram o triticales de inverno ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) como um componente potencial de sistemas forrageiros na perspectiva de reduzir o risco de produção de forragem. A partir das simulações realizadas com o auxílio do @RISK, os autores observaram que a produção do triticales, excederia a produção da forragem mista comumente utilizada, apontando assim benefícios para a adoção dessa cultura.

Tavares et al. (2011) analisaram padrões de cultivo de banana, feijão, milho, mandioca, maracujá, pimentão, repolho e tomate em uma propriedade rural, visando à otimização do uso de recursos hídricos e a maximização do retorno financeiro no Agreste Pernambucano, observaram, a partir da análise de risco, que todos os padrões de cultivo utilizados resultaram em um valor presente líquido total positivo, evidenciando a não expectativa de fracasso financeiro.

Com base diversas possibilidades de uso da ferramenta discutida no presente tópico e levando em consideração a variabilidade climática observada na região semiárida do Brasil, que acarreta conseqüentemente na elevação nos riscos atrelados a produção agropecuária, constata-se a necessidade de se avaliar a metodologia em questão sob a ótica da produção de forragem, sendo possível a partir dessa análise, auxiliar os pecuaristas da região a reduzirem riscos relacionados à segurança alimentar dos seus rebanhos.

#### **2.4 A utilização de plantas arbóreas como alternativa alimentar para ruminantes no Semiárido**

A caatinga, vegetação xerófila decídua, predominante no Nordeste semiárido brasileiro, tem sido historicamente utilizada com fins pastoris. Contudo, os períodos cíclicos de seca, associados ao uso indiscriminado da vegetação e superpastejo de animais, têm provocado o desaparecimento das melhores forrageiras, resultando em perdas quantitativas e na conseqüente diminuição da capacidade de suporte das pastagens (ARAÚJO FILHO et al., 1982; MORAIS, VASCONCELOS, 2007).

Estudos demonstram que mais de 70% das espécies botânicas da caatinga participam significativamente da composição da dieta dos ruminantes domésticos (SILVA et al., 1993). Em termos de grupos de espécies botânicas, as gramíneas e eudicotiledôneas herbáceas compõem acima de 80% da dieta dos ruminantes, durante as águas, porém, à medida que a estação seca progride e com o aumento da disponibilidade de folhas secas de árvores e arbustos, estas espécies (arbóreas) se tornam cada vez mais importantes na dieta (ARAÚJO FILHO, 2013).

A forte dependência que os sistemas de produção têm da vegetação nativa da caatinga é considerada como um dos principais responsáveis pelo baixo desempenho zootécnico dos rebanhos da região (ARAÚJO et al., 2000). Atrelada a esta dependência, a acentuada redução anual na oferta de forragem durante a estação seca, demonstrada por Araújo

Filho (1980), é o principal fator determinante dos baixos níveis de produtividade (PFISTER, 1983; MESQUITA, 1985; ARAÚJO FILHO, 1987; ARAÚJO et al., 2000).

Visando resolver esta problemática, existem, de acordo com Araújo Filho et al. (1990), diversas formas de reduzir ou mesmo eliminar as perdas produtivas advindas dessa dependência da vegetação nativa durante o período seco, merecendo destaque, dentre elas, a suplementação alimentar (feno, silagem, subprodutos de agricultura e concentrados proteicos e energéticos) e o cultivo de forrageiras com propósitos específicos (pastagens consorciadas, pastagens irrigadas, bancos de proteína etc).

Andrade et al. (2015) alerta que a suplementação animal com grãos nem sempre é economicamente viável e sustentável, dessa forma, a utilização de forrageiras leguminosas passa a ser uma alternativa para a redução de custos, por apresentarem elevado teor de proteína digestível, elevada produção de biomassa e menor taxa de declínio nos teores de proteína bruta e digestibilidade.

Em complemento a este ponto, Araújo Filho e Carvalho (1997) propuseram que o enriquecimento com espécies forrageiras nativas e/ou exóticas, adaptadas às condições de semiaridez do Nordeste, é a opção que acarreta maior incremento à produção de forragem e ao desempenho animal, dando destaque ao enriquecimento por meio da formação e utilização de bancos de proteína com forrageiras resistentes à seca.

Estudos têm mostrado que na caatinga encontra-se um grande potencial de espécies forrageiras arbóreas (ARAÚJO et al., 2000), entretanto, observa-se em alguns resultados de pesquisa que a composição química destas espécies sofre grande variação em termos, por exemplo, de proteína bruta quando se compara o período chuvoso com o período seco (VASCONCELOS et al., 1997).

Para amenizar esta problemática, Araújo et al. (2000) sugerem que o cultivo e a utilização de forrageiras arbóreas ou arbustivas introduzidas e adaptadas as condições edafoclimáticas da região, parece ser uma boa estratégia para amenizar e superar a questão da estacionalidade na produção de forragem, podendo-se destacar como exemplo de espécie que pode ser introduzida a gliricídia (COSTA et al., 2009).

Vários estudos têm sido realizados para avaliar o potencial das leguminosas forrageiras em proporcionar melhorias na produtividade animal (SIMBAYA, 2002). Dentre esses estudos, cabe-se destacar o trabalho realizado por Abdulrazak et al. (1996), que avaliando a influência da suplementação com gliricídia e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) sobre a ingestão e ganho de peso de novilhos, constataram que o incremento no fornecimento

de ambas as espécies até o nível de 30 g MS por kg<sup>0,75</sup> (peso metabólico) proporcionou uma maior ingestão aliada a um maior ganho de peso dos animais.

Apesar dos resultados positivos provenientes da utilização desta forrageira na alimentação de ruminantes, demonstrados pelos autores acima citados, é importante destacar, conforme proposto por Araújo Filho (2013) que, a manipulação dessas espécies, seja para a melhoria da qualidade e para o aumento da produção de forragem, seja para uso de sua biomassa, requer um conhecimento adequado das características da produção.

Este entendimento sobre as características de produção aliado a resposta produtiva das espécies às variações nas condições ambientais permite-nos inferir que, a presença de um vegetal de boa qualidade produtiva e nutritiva em uma época de escassez hídrica e restrição alimentar não resolve totalmente a problemática da baixa condição zootécnica dos animais no período seco do ano, se o manejo desta espécie não estiver atrelado a estratégias de planejamento forrageiro, que visem a redução, por exemplo, do superpastejo e conseqüentemente, da degradação do ecossistema.

## **2.5 Gliricídia: aspectos gerais**

*Gliricidia sepium* é uma espécie nativa da América do Sul e Central pertencente à família das fabáceas, com ampla distribuição pelas regiões tropicais (SOLANGI et al., 2010; SUMBERG, 1985). De acordo com Duque (1998 apud Kill; Drumond, 2001), esta espécie ocorre naturalmente do México até a Colômbia, Venezuela e Guianas. A gliricídia é uma leguminosa arbórea que apresenta crescimento rápido e enraizamento profundo, o que lhe confere tolerância à seca (CARVALHO FILHO et al., 1997).

A gliricídia vinha sendo cultivada na região sudoeste da Bahia para o sombreamento do cacau (KILL; DRUMOND, 2001) até ser introduzida na região semiárida do Nordeste brasileiro em Petrolina- PE, em 1985, por meio de estacas procedentes da CEPLAC, Itabuna- BA, sendo estas plantadas na sede da Embrapa Semiárido (DRUMOND; CARVALHO FILHO, 1999).

Em relação aos aspectos botânicos, a gliricídia é considerada uma planta caducifólia de porte médio, podendo chegar de 10 a 15 metros de altura, e apresenta folhas compostas imparipinadas com 10 a 25 cm de comprimento. Suas inflorescências apresentam tonalidade que varia entre a cor rosa e roxa. Das flores, desenvolvem-se vagens deicentes, com sementes de cor amarelada (GÓMEZ et al., 2002). Cabe salientar que a gliricídia apresenta facilidade em se propagar sexuada e assexuadamente (KILL; DRUMOND, 2001).

No que diz respeito aos aspectos edáficos, Carvalho Filho et al (1997) afirmam que a espécie não necessita de solos férteis, apesar de apresentar melhor desempenho naqueles mais férteis e profundos o suficiente para um bom enraizamento. Os autores atribuem o fator profundidade como determinante para a maior ou menor produção no período seco. Gómez et al. (2002) indicam que a gliricídia consegue se desenvolver em solos ácidos, entretanto não apresenta bom desempenho em solos muito húmidos.

Em termos climatológicos, Hughes (1997) afirma que a gliricídia está distribuída mais fortemente ao longo de áreas que apresentam precipitações variando entre 900-1500 mm e um período de seca de 5 meses. Entretanto, a espécie também se desenvolve sob condições de restrição hídrica, como nas áreas semiáridas do México que apresentam precipitação entre 600-700 mm com uma estação seca de 7 a 8 meses. Em relação a temperatura, a espécie apresenta como condição ideal para o desenvolvimento, temperaturas variando entre 15 e 30°C (JIMÉNEZ et al., 2013).

A gliricídia é uma espécie que desperta grande interesse comercial e econômico, devido às suas grandes possibilidades de utilização, que vão desde a alimentação animal à utilização para outras finalidades como incorporação de matéria orgânica ao solo, sombreamento para outras culturas como o cacau (DRUMOND; CARVALHO FILHO, 1999). Vale ressaltar ainda o potencial como fixadora de nitrogênio da espécie, como demonstrado por Liyanage et al. (1994) que observaram uma fixação de N variando entre 86 e 309 kg ha<sup>-1</sup> de N.

No que concerne os aspectos produtivos, Castro Filho (2014) avaliando o efeito de densidades de plantio sobre os componentes da biomassa da gliricídia no estado de Sergipe, observou uma produtividade de 3,35 t ha<sup>-1</sup> por corte de matéria seca total de folhas na densidade de 30.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No caso da utilização desta espécie leguminosa na alimentação de ruminantes, trabalhos na literatura demonstram que a biomassa da gliricídia pode ser ofertada aos animais de diferentes maneiras, como por exemplo, em forma de banco de proteína (CARVALHO FILHO et al., 1997), feno e silagem (LEMOS et al., 2020).

Dentre as várias características que afetam a decisão de um produtor em introduzir uma determinada espécie em sua propriedade, destaca-se, além dos aspectos quantitativos relacionados a produtividade, a composição química da referida espécie. Neste sentido, diversos estudos como os de Bayão et al. (2016), Costa et al. (2009) e Díaz et al. (1995), têm demonstrado o potencial da gliricídia em termos, principalmente associados ao percentual de proteína bruta (PB), onde foram observados percentuais de PB que variaram entre 18,64 e 24,3%.

## **2.6 A utilização de modelos matemáticos como ferramenta para estimativas da produção de forragem**

O desenvolvimento e aplicação de tecnologias que auxiliem os pecuáristas, técnicos e os demais atores envolvidos do cenário agropecuário de forma prática a amenizarem os problemas inerentes à variabilidade climática, possibilitam-lhes prever aspectos relacionados ao crescimento e à produção de forragem e realizar ajustes nas taxas de lotação, evitando os processos de degradação das pastagens, sendo elas naturais ou cultivadas.

Pode-se destacar dentre essas tecnologias, o uso de simulações do crescimento das plantas forrageiras e, conseqüentemente a sua produção, em diferentes condições ambientais por meio de modelos matemáticos, que por sua vez, podem ser definidos como um conjunto de funções matemáticas (como por exemplo, funções dinâmicas, diferenciais, probabilísticas etc.), que podem representar quantitativamente as suposições e hipóteses idealizadas sobre um sistema complexo real (THORNLEY, 1976).

Sinclair e Seligman (1996) definiram modelo como um simulador dinâmico do crescimento de um cultivo por meio da integração numérica de seus processos biofísicos com a ajuda de computadores, sendo, portanto, uma técnica para a construção de uma “cópia” relativamente transparente da cultura no campo. Em complemento, Monteith (1996) definiu que modelos de simulação de cultura são como um conjunto de equações relacionadas a processos biofísicos para estimar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de uma cultura a partir de coeficientes genéticos e de variáveis ambientais, permitindo analisar diversos componentes da produção.

Tonato et al. (2012) indicaram que qualquer modelo, nada mais é que uma simplificação proposital da realidade, cujo intuito é possibilitar que se tenha uma apreciação prévia de como será a realidade no futuro, sendo que a ideia por trás dos modelos é a de representar, da melhor maneira possível, a realidade, permitindo identificar de forma antecipada, dificuldades e limitações ou vantagens e virtudes da estratégia que se pretende adotar, antes dela efetivamente ser implementada e que os esforços e recursos sejam aplicados.

Os modelos podem ser estáticos ou dinâmicos, discretos ou contínuos, determinísticos ou estocásticos e mecanicistas ou empíricos (ANDRADE et al., 2015). De forma geral, os mais utilizados atualmente no âmbito agrícola são os modelos empíricos e os mecanicistas, sendo os empíricos, definidos conceitualmente como modelos de simulação baseados diretamente em dados observados, constituídos por equações cujos parâmetros são determinados através de regressão (BLACKIE; DENT, 1979).



Os modelos mecanicistas, por sua vez, podem ser desenvolvidos com base em relações teóricas entre os componentes de um determinado sistema, tentando incorporar em sua estrutura todos os processos envolvidos, conforme (THORNLEY; JOHNSON, 1990).

Os modelos empíricos são mais simples de serem desenvolvidos e utilizados, o que os tornam mais populares, apesar da aplicação mais limitada em função de sua elaboração direta com os dados experimentais, não sendo recomendadas extrapolações fora das condições em que foram gerados (DOURADO-NETO et al., 1998). Já os modelos mecanicistas têm um potencial mais amplo de utilização, permitindo extrapolações nas estimativas fora dos limites em que foram gerados (CHANTER, 1981), apesar de apresentarem desenvolvimento mais difícil e demorado (TONATO et al., 2012).

No que diz respeito ao histórico de utilização, apesar dos primeiros modelos voltados para os cultivos agrícolas terem surgido na década de 60 e 70, baseando-se basicamente na transpiração, fotossíntese, clima e água no solo (MONTEITH, 1996), no Brasil, os esforços para desenvolvimento de modelos para cultivos agrícolas é mais recente e talvez em função disso, o número de modelos efetivamente gerados no país seja relativamente pequeno (TONATO et al., 2012).

Andrade et al. (2015) indicaram que, apesar de sua importância e disseminação, os modelos de cultivo ainda são pouco utilizados na maioria das áreas tropicais e poucos estudos revisaram ou avaliaram a aplicação de modelos criados ou adaptados para forragens tropicais. Isso é parcialmente explicado pela falta de compreensão das capacidades e limitações dessas regiões, bem como a falta de experiência na calibração, na avaliação e uso de modelos pelos técnicos, o que gera uma falta de credibilidade (MARIN; JONES, 2014).

Nos últimos anos, têm-se observado um aumento potencial de trabalhos que buscam o desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos no Brasil e no mundo. Tais modelos têm sido desenvolvidos para prever a biomassa de forragem, podendo, a partir disso, em um segundo momento, auxiliar no planejamento forrageiro dos pecuaristas e conseqüentemente tornar mais assertiva as suas tomadas de decisão (ZAMORA et al., 2009).

Dentre estes trabalhos e modelos, destacam-se os estudos realizados por Pedreira et al. (2011), Lara et al. (2012), Pequeno et al. (2014) e Santos et al. (2019), nos quais os autores realizaram um ajuste no modelo mecanicista CROPGRO *perennial forage*, com o objetivo de simular o crescimento e produção de biomassa de espécies de forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, que representam a maior parte das pastagens cultivadas no Brasil (SILVA, 2005).

Em relação aos trabalhos desenvolvidos utilizando modelos empíricos, pode-se citar como exemplos, os estudos realizados por Cruz et al. (2011), Pezzopane et al. (2012) e Pezzopane et al. (2014), que demonstraram o potencial dos modelos de crescimento baseados nas condições agrometeorológicas para simulação do crescimento e produção de espécies forrageiras para pastejo.

Dadas as particularidades edafoclimáticas, fisiográficas e paisagísticas de cada ecossistema pastoril, observa-se a necessidade da realização de trabalhos com o intuito de gerar modelos baseados nas condições locais. No tocante às regiões semiáridas, dada sua imprevisibilidade especialmente no tocante à produção de forragem em decorrência da precipitação, Silva et al. (2013) e Silva et al. (2014) aplicaram técnicas de modelagem como forma de interpretar o seu comportamento ao longo do tempo, com posterior utilização destes conhecimentos no planejamento e gestão do suprimento de alimentos volumosos para os rebanhos criados nesses ambientes.

Ainda no tocante ao desenvolvimento de modelos adaptados às regiões semiáridas, cabe-se destacar o PHYGROW *Phytomass Growth* (STUTH et al., 2003), tendo em vista que tal modelo tem sido uma ferramenta utilizada em projetos de alerta precoce e para o monitoramento da biomassa de forragem em regiões áridas e semiáridas do mundo, tais como Estados Unidos (ANGERER, 2008), Mongólia (ANGERER, 2012), Quênia (MATERE et al., 2020) e, mais recentemente, no Brasil (MARANHÃO, 2021).

Vale ressaltar que, para sistemas de cultivo de sequeiro, como os observados na maioria dos casos nas regiões semiáridas, o emprego de modelos para estimativa da produção de forragem deve-se ser realizado com cautela tendo em vista que alguns modelos são desenvolvidos para situações de condições hídricas favoráveis, como é o caso do CROPGRO *perennial forage* e até mesmo o APSIM. Esse fato faz do PHYGROW possivelmente um modelo mais útil dada as condições observadas no Semiárido Brasileiro.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização**

O trabalho foi realizado a partir da coleta de dados efetuadas entre os anos de 2018 e 2021 em seis Unidades de Referência Tecnológica (URTs) situadas em seis municípios representativos da região Semiárida Brasileira, sendo eles: Carlos Chagas - MG, Fortuna - MA,

Ibaretama - CE, Itapetinga - BA, Montes Claros - MG e Tenório - PB. Na Tabela 1, encontram-se os estados e os municípios que foram estudados, suas classificações climáticas e as informações geográficas das referidas URTs.

Tabela 1 - Estados, municípios, clima e localização geográfica das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro

Estados	Municípios	Clima*	Latitude	Longitude
Bahia	Itapetinga	Aw	-15,261611 S	-40,241000 O
Ceará	Ibaretama	As	-4,739194 S	-38,746306 O
Maranhão	Fortuna	Aw	-5,757694 S	-44,146111 O
Minas Gerais	Carlos Chagas	Aw	-17,683306 S	-40,797694 O
Minas Gerais	Montes Claros	Aw	-16,662306 S	-43,737694 O
Paraíba	Tenório	BSh	-7,009306 S	-36,675889 O

\*Classificação climática conforme Köppen (1936).

Na Tabela 2 encontram-se os valores anuais acumulados de precipitação e as temperaturas médias, máximas e mínimas. Na Figura 1, por sua vez, encontra-se o mapa de localização geoespacial dos referidos municípios e na Figura 2, encontram-se as informações climáticas do período avaliado.

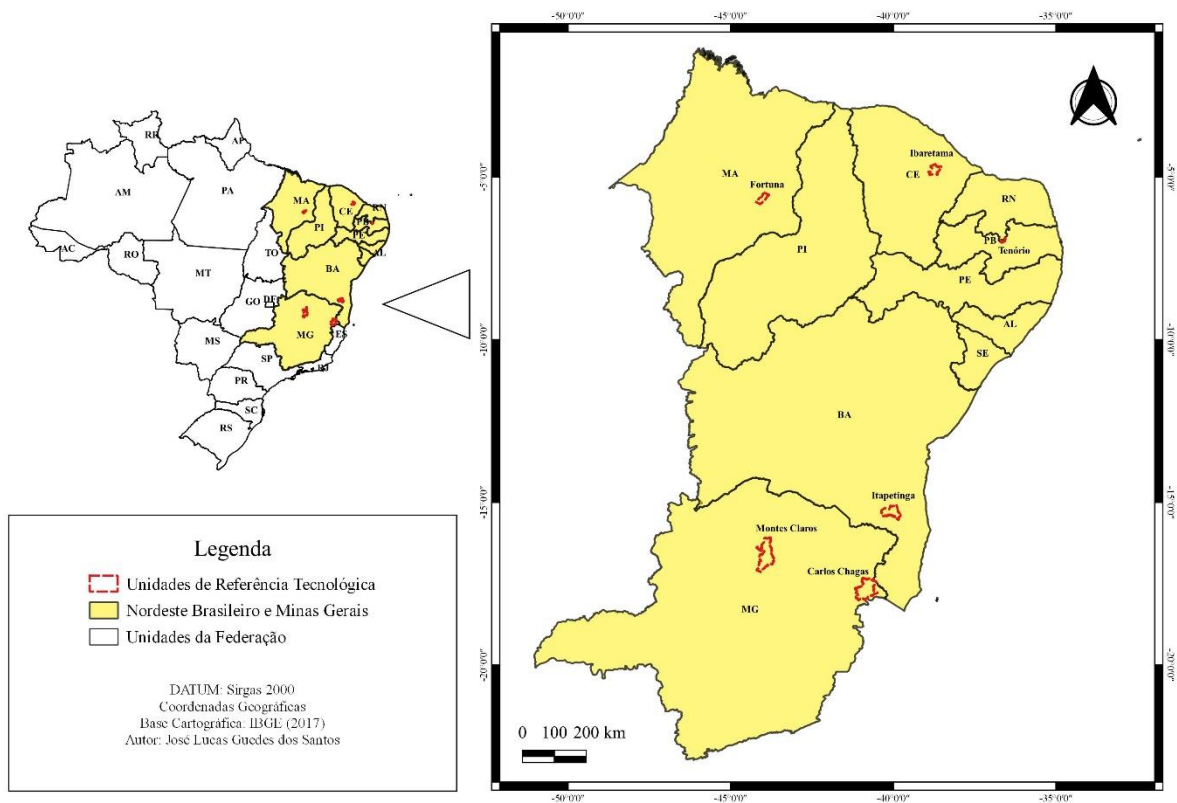
Tabela 2 - Precipitação acumulada e temperaturas média, máxima e mínima das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro

Municípios	Anos	Precip. (mm)	Temp. média (°C)	Temp. máxima (°C)	Temp. mínima (°C)
Itapetinga	2018	527,8	23,6	25,7	21,0
	2019	547,6	24,8	27,2	21
	2020	989,0	23,9	27,4	20,4
Ibaretama	2018	737,2	27,4	29,1	26,0
	2019	830,1	27,4	29,2	26,2
	2020	809,0	27,4	29,1	26,1
Fortuna	2018	933,8	26,9	29,4	25,4
	2019	743,3	26,7	29,1	25,8
	2020	1046,2	27,0	29,6	25,9

Carlos Chagas	2018	998,4	24,2	26,9	20,8
	2019	580,7	24,9	28,1	20,4
	2020	1199,8	24,1	27,7	20,7
Montes Claros	2018	1037,6	26,0	31,5	22,9
	2019	622,2	27,7	32,4	24,1
	2020	1113,0	24,1	26,6	18,8
Tenório	2018	441,8	24,4	25,8	22,6
	2019	484,4	24,5	26,6	22,1
	2020	445	24,7	26,4	22,5

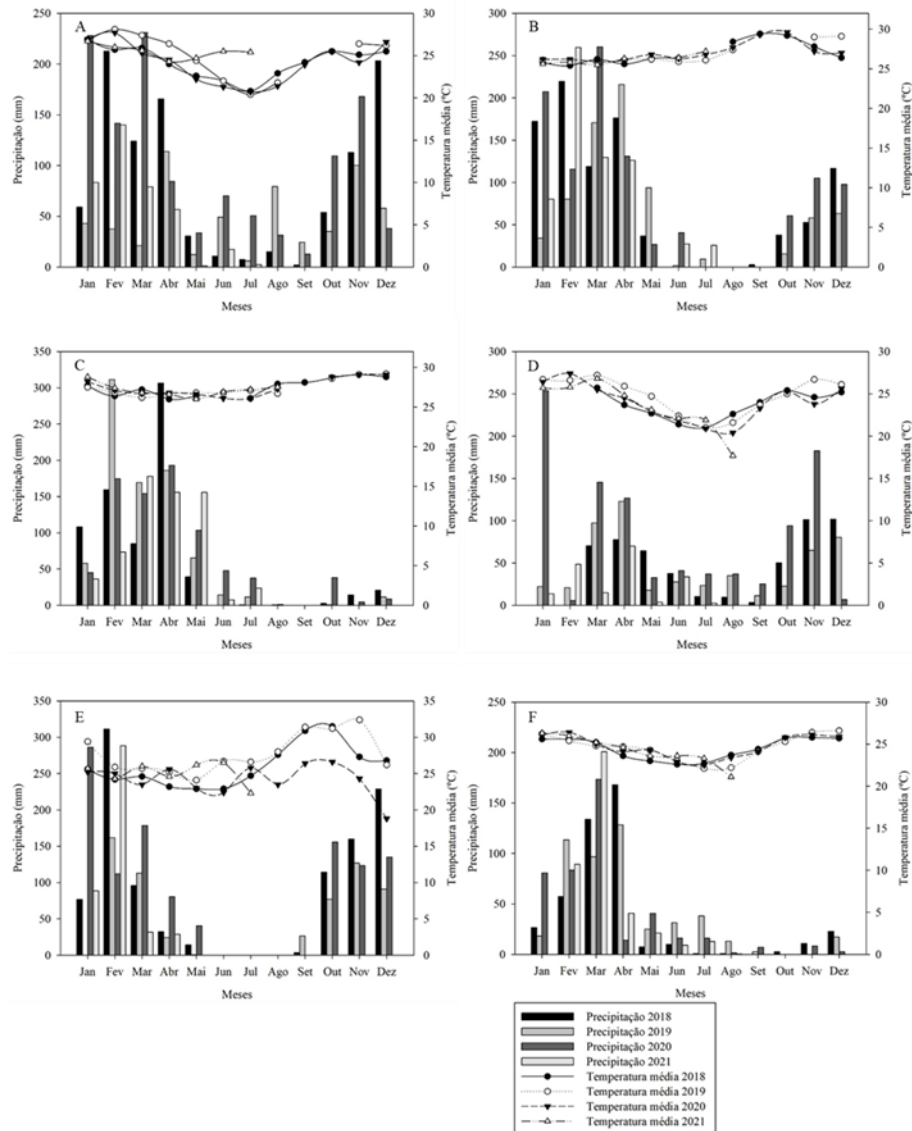
Precip. = precipitação; Temp. média = temperatura média; Temp. máxima = temperatura máxima; Temp. mínima = temperatura mínima

Figura 1 - Mapa de localização geoespacial das Unidades de Referência Tecnológica situadas no Semiárido Brasileiro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica e temperatura média observadas nas URTs de (A) - Carlos Chagas - MG, (B) - Fortuna - MA, (C) - Ibaretama - CE, (D) - Itapetinga - BA, (E) - Montes Claros - MG e (F) - Tenório - PB entre os anos de 2018 e 2021



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2 Amostragem e análise do solo

Antes da implantação da cultura em campo, foi realizada previamente, a coleta de amostras de solo referentes a camada de 0-20 cm. Após a coleta, as referidas amostras foram encaminhadas para laboratório de análise de solos para que fossem mensuradas suas características químicas e físicas (Tabela 3).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos dos solos presentes nas URTs de Carlos Chagas - MG (A), Fortuna - MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga - BA (D), Montes Claros - MG (E) e Tenório - PB (F)

URT <sub>s</sub>	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	CTC	V	Argila	Silte	Areia
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>											
Carlos Chagas - MG	5,0	14	8,0	5,1	20,0	22,0	22,0	1,0	47,0	69,0	68,0	498,0	222,0	280,0
Fortuna - MA	4,7	23	10,0	0,8	14,0	8,0	42,0	5,0	23,0	65,0	35,0	262,0	78,0	660,0
Ibaretama - CE	5,1	5	8,0	2,0	29,0	24,0	22,0	0,0	55,0	77,0	71,0	141,0	19,0	840,0
Itapetinga - BA	4,9	14	12,0	6,2	26,0	31,0	31,0	1,0	63,0	94,0	67,0	302,0	28,0	670,0
Montes Claros - MG	5,8	25	8,0	5,4	41,0	13,0	22,0	0,0	59,0	81,0	73,0	452,0	358,0	190,0
Tenório - PB	5,3	5	13,3	1,8	14,3	4,0	15,3	0,7	20,3	35,6	56,6	175,0	11,6	813,3

M.O = Matéria orgânica; SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions; V = Saturação de bases

### **3.3 Cultura estudada e implantação**

A cultura utilizada para realização do trabalho foi a gliricídia (*Gliricidia sepium*), espécie perene, e classificada como planta arbórea. Em cada URT a gliricídia foi implantada, a partir de mudas, em um conjunto de 4 parcelas, cada uma com área de  $35,0 \times 12,5$  m, com 2 repetições por parcela. Cada parcela apresentou 5 linhas de plantio com espaçamento de  $1,0 \times 3,0$  m (1 m entre plantas e 3 m entre linhas), tendo como meta, um *stand* de 36 plantas por linha. Ao longo do período de avaliação todas as URTs mantiveram-se com 100% do *stand* inicial, com exceção de Montes Claros que apresentou uma mortalidade de 4% do *stand*. O plantio das mudas foi realizado em covas com profundidade de, no mínimo, 30 cm.

### **3.4 Tratos Culturais**

#### **3.4.1 Adubação**

A adubação de fundação foi realizada após a abertura das covas, sendo introduzida, após esse procedimento, 100 g do adubo composto N-P-K na formulação 5-25-15 no fundo de cada cova. Em seguida, o adubo foi coberto com parte do solo retirado da escavação para evitar o contato direto entre as raízes e o fertilizante. Terminada essa operação, cada muda foi retirada do saco plástico e introduzida na cova, sendo esta preenchida com o restante de solo advindo da sua abertura.

### **3.5 Coleta de dados**

#### **3.5.1 Avaliação da biomassa das forrageiras**

Objetivando-se a quebra da dominância apical das plantas e conseqüentemente o favorecimento das brotações laterais, foi realizado um corte inicial assim que as plantas atingiram 100 cm. A partir do segundo ano após a implantação, foi iniciada a coleta de biomassa, levando em consideração a seguinte frequência e intensidade de colheita respectivamente: 200 e 70 cm em relação ao nível do solo. Foram escolhidas 10 plantas das 3 linhas centrais que melhor representassem a condição média

de cada parcela para avaliação. Após esse procedimento, foram feitas amostras de todo material cortado para posterior análise em laboratório.

### 3.5.2 Avaliação laboratorial

Imediatamente após a colheita, com o material verde, foi realizada a pesagem de toda biomassa (matéria fresca), com o auxílio de uma balança digital. A biomassa forragem fresca por hectare foi obtida a partir da multiplicação entre a biomassa fresca média das plantas colhidas e o número de plantas por hectare. Após a pesagem e estimativa da biomassa fresca por hectare, a referida biomassa foi acondicionada em sacos de papel, que foram, em seguida, colocados em estufa de ventilação forçada à 55°C por 72 horas. Após o processo de secagem, o material foi pesado novamente para que se fosse possível calcular a matéria seca (%) de cada amostra, conforme a equação 01 representada abaixo.

$$MS (\%) = 1 - \frac{(\text{Matéria fresca} - \text{Matéria seca})}{(\text{Matéria fresca})} \times 100 \quad (01)$$

A partir da multiplicação entre a estimativa de biomassa fresca por hectare e o percentual de MS do material, calculou-se a biomassa de forragem seca, utilizada no processo de modelagem.

### 3.6 Modelagem da produção de biomassa

A simulação da produção de biomassa da forrageira foi realizada por meio do modelo de simulação de crescimento de biomassa vegetal *Phytomass Growth* (PHYGROW) (STUTH et al., 2003) utilizando a interface *on-line* do software, o PHYWEB 2.0. Os dados de campo colhidos nas URTs foram utilizados para parametrizar e calibrar o modelo.

Para parametrizar os componentes de solo de cada local, tal componente foi identificado utilizando o banco de dados de solos para o Brasil e escolhido baseado nas características químicas e físicas encontradas nas análises de solo de cada URT.

Dados históricos de precipitação para alimentar o modelo foram obtidos da base de dados do Centro de Predição Climática da *National Oceanic and Atmospheric*



*Administration* (NOAA) e de temperatura da base de dados da *Global Daily Assimilation System* (GDAS). A radiação solar foi estimada a partir da temperatura e latitude do local, utilizando o procedimento descrito por Samani (2000).

Assim como os dados de solo, os dados referentes as forrageiras, como por exemplo, a biomassa produzida, foram inseridos no banco de dados no PHYGROW, que contém uma estrutura de tabela relacional para armazenar dados de parâmetros para cada uma das URTs monitoradas. Os dados dos parâmetros do solo inseridos incluíram profundidade do solo e fator de rocha, obtido conforme método aplicado por Maranhão (2021).

Os dados dos parâmetros da planta para a caracterização da comunidade da planta incluíram parâmetros específicos para espécies estudadas como, profundidade de enraizamento, altura da planta e temperaturas ótimas de crescimento e supressão, inseridos no sistema através de dados colhidos e de dados da literatura publicados em bancos de dados on-line como EcoCrop (FAO, 1994) e *Global Leaf Area Index Database* (SCURLOCK et al., 2001). Na Tabela 4 encontram-se alguns parâmetros depois da calibração do modelo.

O processo de calibração consistiu na modificação dos parâmetros de entrada descritos anteriormente, com a finalidade de que a biomassa simulada pelo software fosse a mais próxima possível da biomassa coletada *in loco* em cada URT. A calibração envolveu a execução do modelo e a comparação da produção simulada da biomassa forrageira com a medida durante as coletas nas URTs.

Tabela 2 - Parâmetros do modelo PHYGROW depois da calibração

	Unidades de Referência Tecnológica					
	Carlos Chagas - MG	Fortuna - MA	Ibaretama - CE	Itapetinga - BA	Montes Claros - MG	Tenório - PB
TS (°C)	35	35	35	35	35	35
TO (°C)	27	27	27	27	27	27
TB (°C)	14	14	14	14	14	14
PDR (cm)	150	100	60	60	100	120
AD (cm)	290	400	260	240	330	480
MBAS (kg ha-1)	10650	4980	2840	3100	3150	8560
DBD (cm)	5	7	4	14	5	7
DC (cm)	200	200	200	200	200	200
AIR (cm)	70	70	70	70	70	70
FR	0,04	0,27	0,14	0,04	0,04	0,11

TS = Temperatura de supressão; TO = Temperatura ótima; TB = Temperatura basal; PDR = Profundidade da raiz; AD = Altura do dossel; MBAS = Máxima biomassa acima do solo; DBD = Diâmetro da base do dossel; DC = Diâmetro da copa; AIR = Altura do início da rebrotação; FR = Fator

### 3.7 Avaliação do desempenho do modelo

Após a calibração, foi realizada a avaliação do desempenho do modelo por meio dos seguintes parâmetros estatísticos: erro médio da previsão (BIAS %), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (EMA) e índice de concordância de Willmott (Willmott, 1981; Willmott et al., 1985).

O erro médio da previsão (BIAS %), que reflete o percentual de subestimação ou superestimação dos dados estimados pelo modelo em relação aos dados colhidos, foi calculado com base na equação 2, representada abaixo:

$$\text{BIAS (\%)} = \frac{(\bar{E} - \bar{O})}{\bar{O}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

BIAS (%) = erro médio da previsão

$\bar{E}$  = média dos valores estimados

$\bar{O}$  = média dos valores observados

O RMSE, uma medida da magnitude média da diferença entre a simulação e os dados de biomassa observados em kg ha<sup>-1</sup> (ANGERER, 2008), foi calculado com base na equação 3, representada abaixo:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2} \quad (3)$$

Onde:

RMSE = raiz quadrada do erro médio

N = número de observações

O<sub>i</sub> = valor observado

E<sub>i</sub> = valor estimado

O EMA fornece uma indicação da diferença absoluta média entre os valores simulados e observados na série de pares de dados que estão sendo avaliados e foi calculado com base na equação 4, representada abaixo (LEGATES; MCCABE JR., 1999):

$$\text{EMA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - E_i| \quad (4)$$

Onde:

EMA = erro médio absoluto

$O_i$  = valor observado

$E_i$  = valor estimado

O índice de concordância de Willmott varia de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando boas previsões do modelo (LARA et al., 2012). Tal índice foi calculado com base na equação 5, representada abaixo:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (5)$$

Onde:

$d$  = índice de concordância de Willmott

$O_i$  = valor observado

$E_i$  = valor estimado

$\bar{O}$  = média dos valores observados

### 3.8 Análise da garantia natural por meio da simulação de Monte Carlo

Foi realizado, na plataforma PHYWEB 2.0, o download de uma série temporal de 71 anos (1950 – 2021) referente a produção de biomassa (kg de matéria seca ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) simulada para cada modelo calibrado. Essas séries foram exportadas para o software Microsoft Excel e posteriormente selecionados, para cada ano, o maior valor de biomassa encontrado.

Os maiores valores para cada ano da série temporal analisada foram avaliados no software @RISK (PALISADE CORPORATION, 2020) quanto a sua distribuição de probabilidade (teste de aderência). Posteriormente, com base nos parâmetros estatísticos da distribuição de probabilidade definida, foram geradas 10 séries sintéticas de 1.000 valores cada utilizando o software @RISK, resultando em um total de 10.000 números pseudoaleatórios.

Por fim, as 10 séries sintéticas foram exportadas para o software Microsoft Excel, onde foram realizados cálculos de probabilidade da produção de biomassa, com base em diferentes níveis de garantia, conforme metodologia proposta por Silva et al., (2013). A partir desses níveis de garantia, realizou-se cálculos de regressão entre os níveis de garantia encontrados e a respectiva biomassa de forragem com o auxílio do software SigmaPlot (11.0).

### 3.9 Análise da capacidade de suporte

A partir dos dados obtidos com a aplicação da análise da garantia natural, realizou-se o cálculo da capacidade de suporte atendida pela produção de biomassa de forragem de gliricídia considerando os cenários de 95 e 50% de garantia, conforme a equação 6 e 7.

$$CSA = \left( \frac{\text{Biomassa de forragem disponível}}{PC \times CMS} \right) \times PA \quad (6)$$

Onde:

CS = Capacidade de suporte (animais ha<sup>-1</sup>)

PC = Peso corporal (kg)

CMS = Consumo de matéria seca (kg)

PA = Período de alimentação (dias)

$$CS = \left( \frac{PC^{0,75}}{450^{0,75}} \right) \times CSA \quad (7)$$

Onde:

CS = Capacidade de suporte (UA ha<sup>-1</sup>)

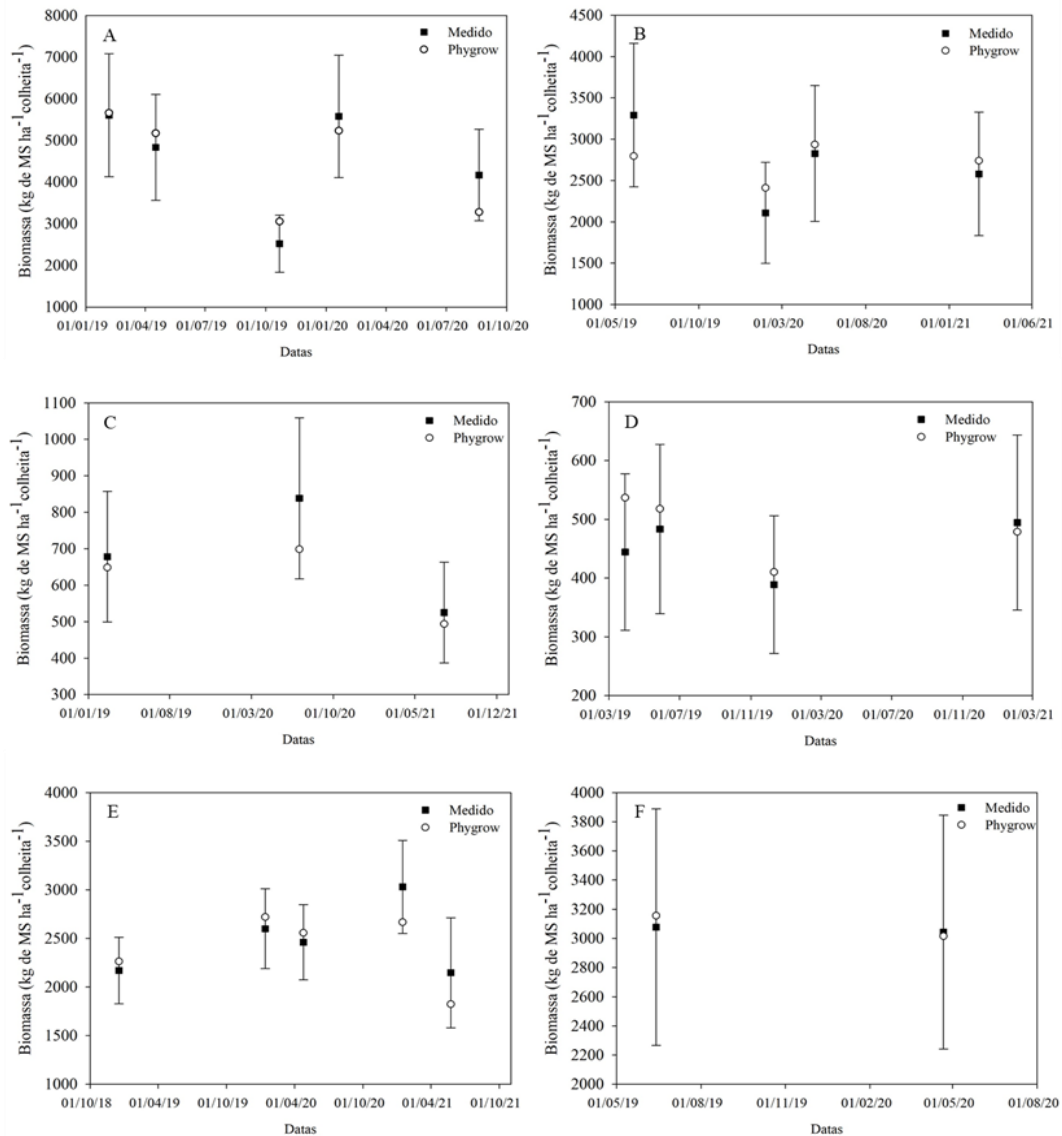
PC = Peso corporal (kg)

CSA = Capacidade de suporte (animais ha<sup>-1</sup>)

#### **4 RESULTADO E DISCUSSÃO**

O modelo PHYGROW apresentou capacidade satisfatória em simular a produção de biomassa de forragem total (BFT) da gliricídia em quase todas as URTs estudadas (Figura 3). A URT de Carlos Chagas foi a que apresentou maior produtividade, com uma média de 4.540 kg de MS ha<sup>-1</sup>, seguida pelas URTs de Tenório (3.060 kg de MS ha<sup>-1</sup>), Fortuna (2.701 kg de MS ha<sup>-1</sup>), Montes Claros (2.481 kg de MS ha<sup>-1</sup>), Ibaretama (680 kg de MS ha<sup>-1</sup>) e Itapetinga (452 kg de MS ha<sup>-1</sup>) (Figura 3).

Figura 3 - Estimativa da biomassa de forragem total de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F)



Em relação BFT estimada pelo modelo PHYGROW, observou-se produtividades de 4.479; 3.086; 2.720; 2.406; 613 e 485 kg de MS ha<sup>-1</sup> para as cidades de Carlos Chagas, Tenório, Fortuna, Montes Claros, Ibaretama e Itapetinga, respectivamente. Observou-se que em três dos seis cenários estudados, o modelo PHYGROW subestimou a biomassa colhida, sendo a URT de Ibaretama a que apresentou maior subestimação (-9,83 %) (Tabela 5)

Tabela 3 - Avaliação do desempenho do modelo PHYGROW em simular a produção de biomassa total de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas - MG (A), Fortuna - MA (B), Ibaretama - CE (C), Itapetinga - BA (D), Montes Claros - MG (E) e Tenório - PB (F)

URT	Parâmetros			
	BIAS (%)	RMSE (kg de MS ha <sup>-1</sup> )	EMA (kg de MS ha <sup>-1</sup> )	IW (cm)
Carlos Chagas – MG	-1,33	943,95	806,71	0,83
Fortuna – MA	0,69	528,44	392,15	0,51
Ibaretama – CE	-9,83	125,94	88,55	0,73
Itapetinga – BA	7,32	176,54	139,57	0,35
Montes Claros – MG	-3,03	342,96	275,8	0,76
Tenório – PB	0,85	1.046,24	778,67	0,10

BIAS = Erro médio da previsão; RMSE = Raiz quadrada do erro médio; EMA = Erro médio absoluto; IW = Índice de Willmott

A partir dessa perspectiva, a utilização dos dados de produção simulados pelo modelo para as condições do presente estudo em termos de planejamento forrageiro para os rebanhos, pode acabar refletindo, por exemplo, em um subpastejo das áreas de pastagem das propriedades, uma vez que, a partir de tais dados, se dimensionará os sistemas de produção para uma capacidade de suporte inferior a observada na realidade.

Conforme apontado por Mott (1960), à medida que se diminui as taxas de lotação observa-se um favorecimento do ganho individual dos animais, em detrimento ao ganho por área, uma vez que nessas condições, o animal tem um maior poder de seleção da forragem consumida. Isso acaba refletindo sobre a produtividade do sistema de produção e, conseqüentemente, sobre a eficiência econômica da propriedade, já que quando se dimensiona um sistema de produção subestimando a disponibilidade de forragem ali presente, percebe-se um custo de oportunidade maior, tendo em vista que o produtor passa a colocar na área, uma quantidade de animais inferior à que ele poderia.

Ressalta-se que, nem a subestimação nem a superestimação da forragem disponível é interessante para o sistema de produção. Em condições de superestimação, por exemplo, acaba-se dimensionando os sistemas para suportar quantidades excessivas de animais, o que acaba também os levando a degradação. O pastejo excessivo frequentemente resulta em uma cascata de efeitos, começando com mudanças drásticas na composição das espécies vegetais e levando à erosão acelerada do solo, redução da função hidrológica e do solo e menor produção primária e secundária. A manutenção de números artificialmente altos de animais por meio de alimentação suplementar durante períodos menos produtivos potencializa ainda mais a degradação (OESTERHELD et al., 1992; MILCHUNAS; LAUENROTH, 1993). A título de informação, a URT de Itapetinga foi a que apresentou maior superestimação (7,32 %) (Tabela 5D) por parte do referido modelo.

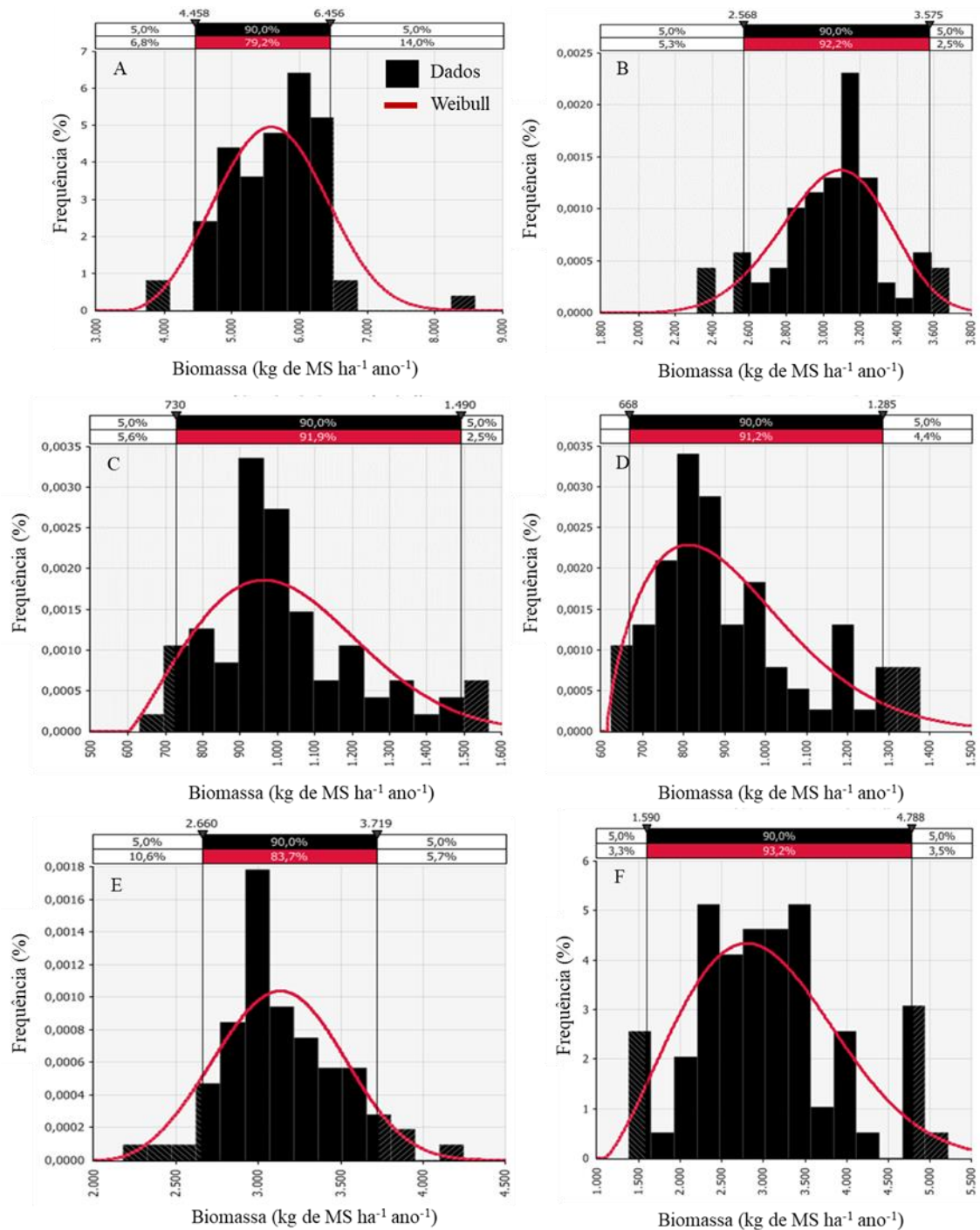
Adicionalmente, observou-se uma baixa diferença entre os valores referentes à raiz quadrada do erro médio (RMSE) e ao erro médio absoluto (EMA) para todas as URTs, com exceção da URT de Tenório (Tabela 5). A baixa diferença entre tais parâmetros, indica uma menor quantidade de *outliers* no conjunto de dados colhidos. Por ser um parâmetro mais sensível, quando aquele é muito superior ao EMA (2 ou 3 vezes), subentende-se uma baixa qualidade do conjunto de dados utilizados (ANGERER, 2008). Isso se explica pelo fato de que o RMSE, em seu método de cálculo, leva em consideração a diferença entre os valores observados e estimados elevando essa diferença ao quadrado, enquanto que o EMA leva em consideração apenas a diferença. Por esse fato, os valores de RMSE tendem a ser superiores que os valores de EMA.



Quando considerando o índice de Willmott, foi possível observar que o modelo de simulação teve boa capacidade em estimar a BFT de gliricídia na maioria das URTs, apresentando um valor aquém do que se espera ( $d > 0,5$ ) apenas nas URTs de Itapetinga (0,35) e Tenório (0,10) (Tabela 5). Entretanto, apesar da baixa concordância entre as biomassas observadas e simuladas para essas duas URTs, o modelo pode ainda ser considerado um preditor melhor que apenas a média das biomassas observadas, tendo em vista seus valores superiores a 0 (ANGERER, 2008; MOON et al., 2004; LEGATES; MC CABE JR., 1999). Salienta-se que o desempenho do modelo foi avaliado baseado em 3 anos de coleta de dados e, deste modo, com a adição de novos conjuntos de dados, as estimativas aqui apresentadas podem ser alteradas melhorando a capacidade preditiva do modelo para a cultura estudada.

A partir do teste de aderência realizado por meio do @RISK, observou-se que a função Weibull foi a Função Densidade de Probabilidade (FDP) que melhor se ajustou às séries históricas de biomassas anuais simuladas pelo modelo PHYGROW, baseado no teste de qui-quadrado. Vale ressaltar ainda que, a citada função apresentou, respectivamente, valores de média, moda e mediana que variaram, respectivamente, entre: 5603; 5579; 5591 para Carlos Chagas (Figura 4A), 3051; 3093; 3063 para Fortuna (Figura 4B), 1030; 963; 1009 para Ibaretama (Figura 4C), 917; 811; 886 para Itapetinga (Figura 4D), 3130; 3133; 3129 para Montes Claros (Figura 4E) e, por fim, 3025; 2798; 2954 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Tenório (Figura 4F).

Figura 4 - Ajuste da função do tipo Weibull para o comportamento do histórico de produção de biomassa estimado pelo PHYGROW para gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F)



Vale destacar que entre todos os cenários estudados, apenas a URT Fortuna apresentou assimetria negativa (-0,18), sendo em todas as URTs observada curtose platicúrtica ( $< 3$ ), com exceção de Ibaretama e Itapetinga, que apresentaram curtose leptocúrtica ( $> 3$ ) (Figura 4). A partir de tais resultados, infere-se que pelo fato de a maior parte das URTs apresentar assimetria positiva, existe a possibilidade do surgimento de valores superiores àqueles simulados pelo modelo PHYGROW, conforme demonstrado por Maranhão (2021).

No que diz respeito a função densidade de probabilidade, definida por Silva (2018) como uma função que descreve a densidade relativa de probabilidade de uma variável aleatória apresentar um dado valor, semelhantemente ao que foi observado no presente trabalho, Maranhão (2021), avaliando a garantia natural de produção de biomassa de capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* (L)), capim-massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) e palma forrageira (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) no Ceará, constatou a função Weibull como aquela que melhor descrevia os dados de uma série histórica de 70 anos. Feitosa (2021), entretanto, avaliando dados de biomassa do capim-buffel em um município do estado da Paraíba, observou que a FDP que melhor se ajustou aos dados de biomassa de uma série histórica, foi a função normal.

No que concerne às séries sintéticas de números estimados pelo @RISK a partir da FDP ajustada aos dados anuais de biomassa de gliricídia, observou-se produtividades médias de BFT e valores de BFT mínima e máxima variando, respectivamente, entre: 5603; 3479 e 8808 para a URT de Carlos Chagas (Tabela 6A), 3051 2072 e 3954 para Fortuna (Tabela 6B), 1030; 604 e 1990 para Ibaretama (Tabela 6C), 917; 615 e 2161 para Itapetinga (Tabela 6D), 3130; 2087 e 4438 para Montes Claros (Tabela 6E) e por fim, 3025; 1121 e 7021 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Tenório (Tabela 6F).

Tabela 4 - Séries sintéticas de dados de produção de biomassa de gliricídia compostas por números pseudoaleatórios baseados na função Weibull para as URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F)

Séries sintéticas	Carlos Chagas - MG					
	1	2	3	4	. . .	1000
Série 01	5471,66	6509,48	5010,41	4765,76	. . .	6325,69
Série 02	4288,09	5399,71	4830,21	5496,9	. . .	5527,95
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
Série 10	5348,11	7091,8	6036,44	4323,66	. . .	6056,07

Séries sintéticas		Fortuna - MA					
	1	2	3	4	. . .	1000	
Série 01	3199,5	2562,7	3050,2	2766,7	. . .	2912,2	
Série 02	2991,9	2336,2	3143,1	3265,0	. . .	3273,8	
.	.	.	.	.	.	.	
Série 10	3003,3	2800,0	3516,6	2603,2	. . .	3141,5	
Séries sintéticas		Ibaretama - CE					
	1	2	3	4	. . .	1000	
Série 01	831,846	859,474	974,619	1079,07	. . .	1053,55	
Série 02	896,476	1110,65	1195,64	1445,6	. . .	1069,08	
.	.	.	.	.	.	.	
Série 10	1220,41	883,4	1024,99	1362,66	. . .	931,772	
Séries sintéticas		Itapetinga - BA					
	1	2	3	4	. . .	1000	
Série 01	804,09	1148,68	805,28	951,74	. . .	766,681	
Série 02	838,236	877,453	870,941	1124,2	. . .	810,056	
.	.	.	.	.	.	.	
Série 10	1146,98	959,3	893,326	792,408	. . .	1021,59	
Séries sintéticas		Montes Claros - MG					
	1	2	3	4	. . .	1000	
Série 01	3332,01	3390,36	3168,51	3401,38	. . .	2940,77	
Série 02	3327,79	2308,82	2755,35	3214,0	. . .	2759,74	
.	.	.	.	.	.	.	
Série 10	3685,23	3393,7	2945,61	2997,65	. . .	4341,94	
Séries sintéticas		Tenório - PB					
	1	2	3	4	. . .	1000	
Série 01	3820,42	3410,58	1791,35	3877,41	. . .	2302,11	
Série 02	4917,66	4402,35	1997,59	5375,41	. . .	2797,74	
.	.	.	.	.	.	.	
Série 10	2567,12	3512,94	2370,5	2605,85	. . .	2711,01	

Para simulação de Monte Carlo faz-se necessária a geração de números aleatórios, ou seja, valores que representem uma variável aleatória uniformemente distribuída em (0,1). Tais números, com o avanço da tecnologia, passaram a ser concebidos por computadores com

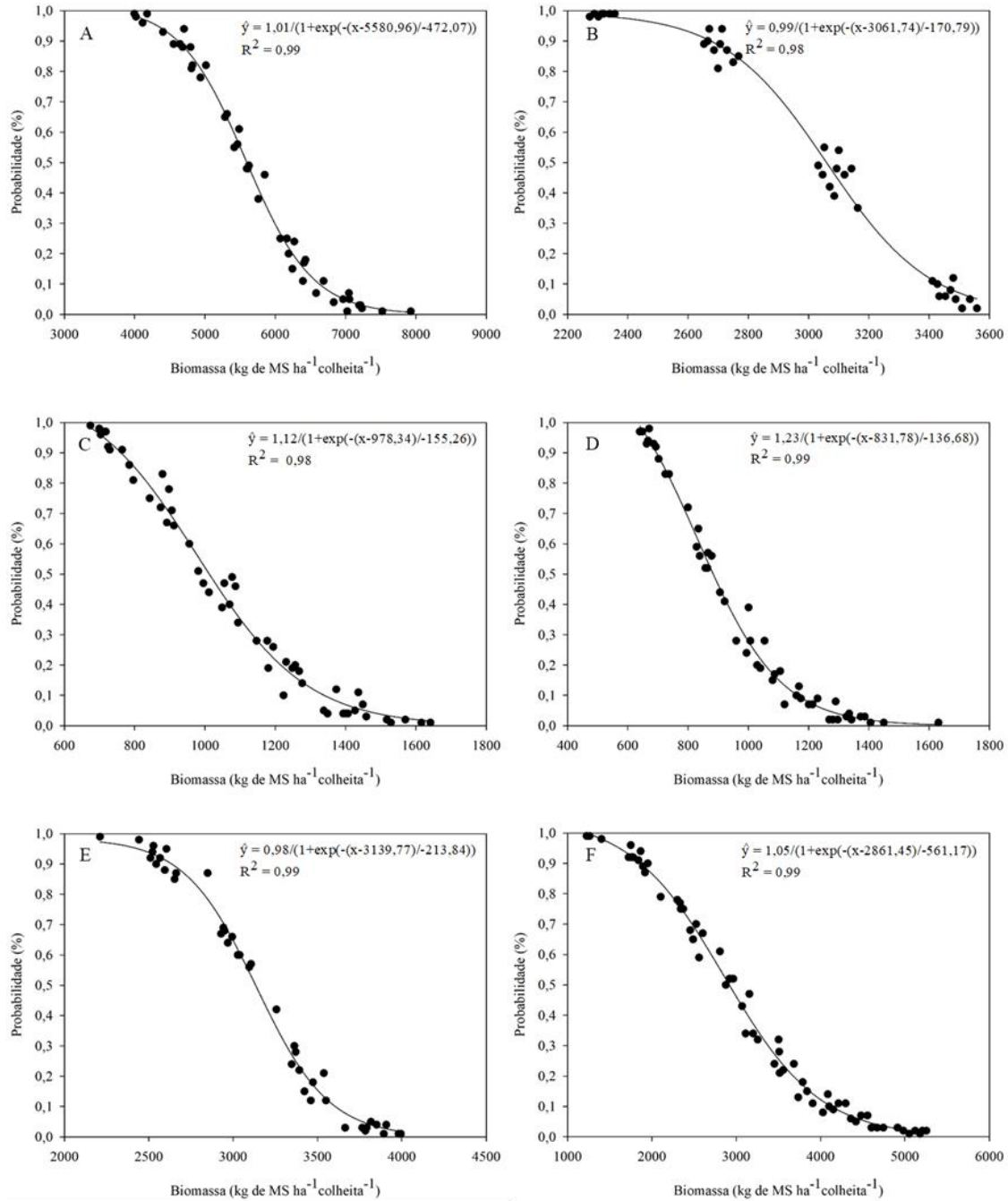
o objetivo de gerar sucessivamente, aproximações para uma verdadeira sequência de variáveis aleatórias uniformes, os chamados números pseudoaleatórios (RUBINSTEIN; KROESE, 2017; PAULA, 2014).

Vale ressaltar que, os números pseudoaleatórios, apresentados pelas séries sintéticas, não são necessariamente aleatórios. Eles são, na verdade, sequências de valores aparentemente independentes um dos outros, uma vez que se originam de um vetor, um valor ou uma semente (número inicial), em que é instaurada uma série “cíclica” a partir do qual os números são devolvidos pelo gerador (MIYAMOTO; SHIOHARA, 2020).

Através do elevado número de simulações com o intuito de gerar os chamados números pseudoaleatórios, torna-se se possível reduzir o erro das estimativas de produção de biomassa, uma vez que, através do aumento de simulações, a variável (produção de biomassa) tende a se aproximar cada vez mais a uma variável de distribuição normal, conforme é proposto pelo teorema do limite central (KWAK; KIM, 2017). Em outras palavras, sabendo-se que uma variável com distribuição normal apresenta média, moda e mediana amostral iguais, a partir do aumento das simulações, torna-se possível que esses valores de média, moda e mediana sejam cada vez mais próximos dos valores encontrados para a população em que se está mensurando a variável (MORETTIN; BUSSAB, 2010).

Baseado nos números pseudoaleatórios apresentados na Tabela 6 e em cálculos de probabilidade associados a produtividade de biomassa, tornou-se possível realizar as análises de regressão de diferentes níveis de garantia em função da BFT de gliricídia, conforme exemplificado na Figura 5. Com 95% de garantia ou 5% de risco, espera-se as seguintes produtividades: 4277; 2520; 711; 664; 2400 e 1598 kg de MS ha<sup>-1</sup> colheita<sup>-1</sup> para as URTs de Carlos Chagas, Fortuna, Ibaretama, Itapetinga, Montes Claros e Tenório, respectivamente (Figura 5).

Figura 5 - Garantias naturais de produtividade de biomassa de gliricídia nas URTs de Carlos Chagas – MG (A), Fortuna – MA (B), Ibaretama – CE (C), Itapetinga – BA (D), Montes Claros – MG (E) e Tenório – PB (F)



Essas produtividades, associadas à perda de 10% durante a colheita, uma inclusão na matéria seca total consumida de 30% e considerando-se o consumo de 2,7% do peso corporal (PC) para uma vaca de 450 kg de PC durante 180 dias, equivaleria as seguintes capacidades de

suporte (CS): 5,86; 3,45; 0,97; 0,91; 3,29 e 2,19 unidades animal (UA) por hectare para as URTs de Carlos Chagas, Fortuna, Ibaretama, Itapetinga, Montes Claros e Tenório, respectivamente.

Considerando a garantia natural de apenas 50%, espera-se, por sua vez, produtividades 30, 21, 42, 32, 30 e 82% superior, ou seja: 5590; 3058; 1011; 883; 3131 e 2914 kg de MS ha<sup>-1</sup> colheita<sup>-1</sup> o que representaria, respectivamente, as seguintes CS: 7,66; 4,19; 1,38; 1,21; 4,29; 3,99 UA ha<sup>-1</sup> para as URTs de Carlos Chagas, Fortuna, Ibaretama, Itapetinga, Montes Claros e Tenório.

Em relação aos aspectos ligados a garantia natural de produção, por sua vez, observa-se na Figura 5, considerando a média de produtividade de todas as URTs estudadas para uma garantia natural de 95%, que a gliricídia apresentou uma média de  $2028 \pm 1357$  kg de MS ha<sup>-1</sup> colheita<sup>-1</sup>. Cabendo-se destacar que a cultura em questão demonstrou ser uma espécie de boa aclimação em ambientes contrastantes, tendo em vista a sua adequada produtividade tanto em URTs com maior fertilidade de solo e precipitação, como por exemplo, Montes Claros (Tabela 3 e Figura 2) como em URTs de menor fertilidade do solo e baixa precipitação (Tabela 3 e Figura 2), como por exemplo Tenório.

Entretanto, vale destacar que, apesar da média observada para a cultura da gliricídia (2028 kg de MS ha<sup>-1</sup> colheita<sup>-1</sup>) e da sua faixa de adaptação a condições de fertilidade e precipitação, constata-se, a partir da Figura 3 - C e D que as URTs de Ibaretama e Itapetinga apresentaram menor produtividade que URTs de pior fertilidade e menor precipitação, como por exemplo Tenório. Isso se deve, possivelmente, a questões relacionadas a física do solo dessas duas URTs (Ibaretama e Itapetinga) que possuem solo de baixa profundidade efetiva, o que acaba prejudicando o crescimento radicular (Tabela 4), tornando as plantas mais favoráveis a estresse hídrico e, por exemplo.

A boa aclimação em diferentes tipos de clima e solo é apontada também por Maraschin (1997) e confirmadas por Petrone e Preti (2008) e Petrone e Preti (2010) que observaram elevadas taxas de sobrevivência após implantação (76 e 100%) em diferentes condições climáticas. De acordo com Kumar e Mishra (2013), a gliricídia adapta-se muito bem a uma ampla gama de solos, desde ácidos até aqueles mais próximos a neutralidade, não necessitando, segundo Carvalho Filho; Drumond; Languidey (1997) e Marak e Wani (2018), de solos férteis embora apresente melhor desempenho naqueles de maior fertilidade e profundos o suficiente para um bom enraizamento, fator importantíssimo para a maior ou menor produção.

Mesmo a gliricídia apresentando capacidade de produzir biomassa em condições de baixa disponibilidade hídrica, conforme indicado por (MARIN; MENEZES; SALCEDO, 2007), a profundidade do solo pode ser fator primordial na maior ou menor produção de

biomassa, considerando que o cultivo em sítios ecológicos com presença de solo raso possa ser um fator limitante à produção, tendo em vista o impedimento ao crescimento radicular das plantas, o que, pode prejudicar a capacidade produtiva da espécie, uma vez que esses ambientes apresentam baixa capacidade de armazenamento de água.

Freire et al. (2012), avaliando o efeito de regimes hídricos sobre o acúmulo de matéria seca e de nutrientes em plantas de gliricídia, constataram que o estresse hídrico reduziu a produção de massa seca da cultura além de diminuir o acúmulo de nutrientes. O estresse hídrico pode promover uma série de alterações morfofisiológicas nas plantas, dentre elas, a redução da área foliar, a menor absorção de CO<sub>2</sub> e redução na fotossíntese (ULLAH et al., 2017) o que, conseqüentemente, afeta negativamente a produção de biomassa dos vegetais.

Maranhão (2021) estimou capacidades de suporte, considerando 95% de garantia natural para as culturas do capim-buffel, capim-massai e palma forrageira, os seguintes valores: 0,22; 0,66 e 1,1 UA ha<sup>-1</sup>, respectivamente, considerando as eficiências do uso da forragem (EUF): 60, 70 e 90%. Observa-se, a partir desses dados, que os valores encontrados pelo autor em questão foram inferiores as estimadas para o presente trabalho. Essa diferença está, basicamente, relacionada aos níveis de utilização da forragem nos cálculos da simulação. Enquanto que, no trabalho de Maranhão (2021) considerou-se que toda a matéria seca consumida pelos animais seria advinda exclusivamente das forrageiras citadas (capim-buffel, capim-massai e palma forrageira), no presente trabalho, considerou-se que o nível de inclusão na dieta dos animais, em termos de matéria seca, seria de apenas 30%.

Em outras palavras, ao se considerar um maior nível de inclusão na dieta, menor o número de animais que podem ser mantidos com a forragem produzida por 1 hectare de gliricídia, sendo o inverso também verdadeiro. Na presente simulação, considerou-se o nível de 30% devido à presença de fatores anti-nutricionais na forrageira estudada, como por exemplo, a cumarina (OMOKANYE et al., 2001), que possivelmente poderia causar limitação no consumo, desempenho e sanidade dos animais, no caso de altas concentrações.

A partir da observação da Figura 05, nota-se que a garantia natural, caracterizada como a produtividade de biomassa estimada, associada à um certo nível de garantia, resultante da variação natural da produção de biomassa de forragem, em função das condições edafoclimáticas locais (SILVA et al., 2013), apresenta uma resposta inversamente proporcional a produtividade de biomassa de forragem total, ou seja, quanto maior o nível de garantia, 95% por exemplo, menor a estimativa de produção mínima de forragem. Ressalta-se ainda, que a garantia está intrinsecamente relacionada ao risco de produção. Desse modo, quanto maior a garantia, menor o risco de produção de forragem.



O nível de garantia ou de risco adotado deve ser utilizado no auxílio do planejamento do estoque de forragem de longo prazo de uma dada propriedade, podendo ser interpretado como o percentual de anos, dado um período estimado de planejamento, em que se terá, para a cultura estudada, no mínimo aquela dada produtividade. Por exemplo: Trabalhando-se com uma garantia natural de 95% em um cenário de 20 anos de planejamento, estima-se que em 19 anos se obterá, no mínimo, a produtividade atrelada àquela garantia.

O conhecimento prévio da produção de biomassa de forragens com determinado nível de garantia, permite a realização de interferências de manejo que permitem ganhos na produção vegetal e, conseqüentemente na produção animal, sendo a produção de forragem preponderante para o ganho animal e, este último de grande importância para o êxito do sistema de produção e permanência do proprietário no ramo pecuário (SILVA et al., 2013), o que em última análise, influencia diretamente na redução do êxodo rural.

Ressalta-se que não existe um nível de garantia ou de risco fixo para se trabalhar em todos os cenários. Tal definição dependerá, principalmente, da variabilidade climática do local em que se está fazendo a estimativa de produtividade, o tamanho e características do rebanho da propriedade, as condições edáficas do local e a presença de reservas estratégicas de alimentos, bem como, o cultivo de outras forrageiras na área. Entretanto, apesar de não existir um nível fixo, recomenda-se, principalmente pensando em planejamento forrageiro de regiões semiáridas, a garantia de 95% ou 5% de risco.

## 5 CONCLUSÃO

O modelo PHYGROW mostrou-se útil em estimar a biomassa da gliricídia nas condições do Semiárido Brasileiro, apresentando potencial para estudos futuros sobre orçamentação forrageira.

A gliricídia apresentou, para uma garantia natural de 95%, biomassa média de  $2028 \pm 1357$  kg de MS  $\text{ha}^{-1}$  colheita $^{-1}$ , o que propiciaria a adoção de uma taxa de lotação média de 2,77 UA  $\text{ha}^{-1}$ , considerando um nível de inclusão na matéria seca total consumida de 30% e o consumo de 2,7% do peso corporal (PC) para uma vaca de 450 kg de PC durante 180 dias.

A gliricídia demonstrou ser uma opção interessante para produção de forragem de leguminosa em condições semiáridas.

## REFERÊNCIAS

- ABDULRAZAK, S. A. *et al.* The effects of supplementation with *Gliricidia sepium* or *Leucaena leucocephala* forage on intake, digestion and live-weight gains of *Bos taurus* × *Bos indicus* steers offered napier grass. **Animal Science**, Cambridge, v. 63, n. 3, p. 381-388, 1996.
- ADGER, W. N. *et al.* Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in development studies**, Thousand Oaks, v. 3, n. 3, p. 179-195, 2003.
- ANDRADE, A. S. *et al.* Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application. **Grass and forage science**, Hoboken, v. 71, n. 1, p. 54-65, 2015.
- ANDRADE, B. M. S. *et al.* Uso da gliricídia (*Gliricidia sepium*) para alimentação animal em Sistemas Agropecuários Sustentáveis. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 4, 2015.
- ANGERER, J. P. **Examination of high resolution rainfall products and satellite greenness indices for estimating patch and landscape forage biomass.** 2008. 143 f. Tese (Doutorado em Ecologia e manejo de pastagens) - Texas A & M University, Texas, 2008.
- ANGERER, J. P. Gobi Forage Livestock Early Warning System. *In: Conducting national feed assessments.* Rome, Italy: Food and Agriculture Organization. v. 15, pp. 115-130, 2012.
- ARAÚJO FILHO, J. A. *et al.* **Dieta e desempenho de caprinos em bancos de proteína na região de Sobral, Ceará.** Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1990. 15 p. (EMBRAPA-CNPC. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 15).
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo de pastagens nativas no sertão cearense. *In: Simpósio Brasileiro de Pastagem Nativa do Trópico Semiárido*, 1, Fortaleza, CE, **Anais... XVII Reunião da SBZ**, 1980, Fortaleza: SBZ, p.45-58, 1980.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga.** Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013, 200 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris.** Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1995. 18 p. (EMBRAPA-CNPC. Circular Técnica, 11).
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga.** Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1997. 19 p. (EMBRAPA-CNPC. Circular técnica, 13).
- VASCONCELOS, V. R. *et al.* Caracterização química de forrageiras do semiárido brasileiro e suas correlações com alguns parâmetros de degradação. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 34, Juiz de Fora, 1997. **Anais... Juiz de Fora: SBZ**, 1997. p.58-59.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; TORRES, S. M. de S.; GADELHA, J. A.; MACIEL, D.F. & CATUNDA, A. G. **Estudos de pastagem nativa do Ceará.** Fortaleza, BNB, 1982. 75p. (BNB. Estudos Econômicos e Sociais).

ARAÚJO FILHO, J. C. *et al.* Ambientes e solos do semiárido: potencialidades limitações e aspectos socioeconômicos. *In: XIMENES, L. F. et al. (Org.). Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro.* Embrapa Semiárido-Livro técnico (INFOTECA-E), 2019. p. 19-84.

ARAÚJO FILHO, J.A. Combined species grazing in extensive caatinga conditions. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GOATS, 4, Brasília, DF, 1987, Anais.* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1987. p. 47-54.

ARAÚJO, G. G. L. *et al.* Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semiárido do Nordeste. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUARIOS NA AMERICA DO SUL, 2000, Juiz de Fora. Anais...* Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite/FAO, 2000. CD-ROM., 2000.

ARAÚJO, S. M. S de. A região semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista Rios Eletrônica**, Paulo Afonso, v. 5, n. 5, p. 88-98, 2011.

BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B. Caprinovinocultura no semiárido brasileiro - fatores limitantes e ações de mitigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 11, n. 1, p. 01-09, 2015.

BAYÃO, G. F. V. *et al.* Desidratação e composição química do feno de *Leucena leucocephala* e *Gliricidia (Gliricidia sepium)*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 17, n. 3, p. 365-373, 2016.

BLACKIE, M. J.; DENT, J. B. **Information systems for agriculture.** London: Applied Science Publishers, 1979. 176 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco.** Recife: Sudene, 1973. v.1, 359 p. (Sudene. Boletim Técnico, 26).

BRASIL. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba.** Recife: Sudene: DNPEA, 1972. 683 p. (Sudene. Pedologia, 8; DNPEA. Boletim Técnico, 15).

BRITO, L. T. L. *et al.* Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 102-109, 2012.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CÂNDIDO, M. J. D. *et al.* Pastagens no ecossistema semiárido brasileiro: atualização e perspectiva futuras. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia, GO. Anais...* Goiânia: SBZ; Universidade Federal de Goiânia, 2005.

CARVALHO, C. A. B. *et al.* Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim 'tifton 85' sob pastejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.591-600, 2000.

CARVALHO FILHO, O. M. *et al.* ***Gliricidia sepium*: leguminosa promissora para regiões semiáridas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1997. 17 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 35).

CASTRO FILHO, E. S. **Aspectos produtivos da gliricídia em diferentes densidades de cultivo e avaliação nutricional de silagens de gliricídia com diferentes proporções de milho**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

CHANTER, D. O. Use and misuse of linear regression methods in crop modelling. **Mathematics and plant physiology**, p. 253-267, 1981.

CLAPHAM, W. M. *et al.* Forage pasture production, risk analysis, and the buffering capacity of triticale. **Agronomy journal**, Hoboken, v. 100, n. 1, p. 128-135, 2008.

CORREIA, R. C. *et al.* A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Org.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. cap. 1, p. 21-4.

COSTA, S. B. M. *et al.* Proportion and digestibility of tree legumes in diets of grazing cattle in a tropical silvopastoral system. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 252, p. 104689, 2021.

COSTA, B. M. *et al.* Avaliação de folhas de *Gliricidia sepium* (JACQ.) walp por ovinos. **Archivos de zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 221, p. 33-41, 2009.

COUGHENOUR, M. B.; MAKKAR, H. P. S. **Conducting national feed assessments**. FAO Animal Production and Health Manual, Rome, Italy, n. 15, 2012, 212 p.

CRUZ, P. G. *et al.* Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7, p. 675-681, 2011.

DÍAZ, Y. *et al.* Efecto de la substitución parcial del suplemento convencional por follaje de pachecoa (*Pachecoa venezuelensis*) o gliricidia (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de corderos postdestete. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 7, n. 1, 1995.

DIAZ-SOLIS, H. *et al.* Application of a simple ecological sustainability simulator (SESS) as a management tool in the semi-arid rangelands of northeastern Mexico. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 88, n. 2-3, p. 514-527, 2006.

DOURADO-NETO, D. *et al.* Principles of crop modeling and simulation: 1. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. SPE, p. 46-50, 1998.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semiárida do Nordeste Brasileiro. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. p. 973-980.

DRUMOND, M. A. *et al.* **Espécies arbóreas exóticas de uso múltiplo para o semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 32 p.

EDVAN, R. L. *et al.* The forage yield of *Gliricidia sepium* during the rainy and dry seasons following pruning management in Brazil. **Ciencia e investigación agraria**, Santiago, v. 41, n. 3, p. 309-316, 2014.

EL-HACK, M. E. A. *et al.* Effect of Forage *Moringa oleifera* L.(moringa) on Animal Health and Nutrition and Its Beneficial Applications in Soil, Plants and Water Purification. **Agriculture**, Basel, v. 8, n. 9, p. 145, 2018.

FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Ecocrop Version 1.1**. Rome, Italy, 1994.

FEITOSA, J. F. F. **Modelagem da produção de forragem do capim-buffel pelo software Phyweb em caatinga raleada no semiárido**. 2021. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2021.

FERNANDES, D. L. **Produtividade e composição bromatológica da forragem de moringa**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

FREIRE, A. L. O. Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e as doses de fósforo. **Semina**, Londrina, v. 33, n.1, p. 19-26, 2012.

GIANG, N. T. T. *et al.* Level of *Leucaena leucocephala* silage feeding on intake, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy steers. **Tropical animal health and production**, Dordrecht, v. 48, n. 5, p. 1057-1064, 2016.

GÓMEZ, M. H. *et al.* **Arboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón (*Gliricidia sepium*), Nacadero (*Trichantheragigantea*), Pízano (*Erythrinagusca*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*)**. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV, 2002. 171 p.

GUPTA, K. BARAT, G. K.; WAGLE, D. S.; CHAWLA, H. K. L. Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. **Food chemistry**, Oxford, v. 31, n. 2, 1989.

HARDAKER, J. B. *et al.* **Coping with risk in agriculture: Applied decision analysis**. 3. ed. Oxfordshire: Cabi, 2015. 276 p.

HIGGINS, S. I. *et al.* Sustainable management of extensively managed savanna rangelands. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 102-114, 2007.

HINTON, A. W. **Economics of beef production in the Dalrymple Shire**. Australia, Department of Primary Industries, Brisbane, 1993. 100 p.

HUGHES, C. E. Biological considerations in designing a seed collection strategy for *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.(Leguminosae). **The Commonwealth Forestry Review**, Nova York, v. 66, p. 31-48, 1987.

HUNT, L. P. *et al.* Principles and guidelines for managing cattle grazing in the grazing lands of northern Australia: stocking rates, pasture resting, prescribed fire, paddock size and water points—a review. **The Rangeland Journal**, Clayton, v. 36, n. 2, p. 105-119, 2014.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. *In*: ALVAREZ V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: UFV: SBCS, 1996. p. 95-133.

JIMÉNEZ, A. C. *et al.* Características forrajeras de la especie *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend, Fabaceae. **Boletín Científico Museo de Historia Natural**, v. 17, n. 1, p. 33-45, 2013.

KIILL, L. H. P.; DRUMOND, M. A. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae-Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 31, n. 4, p. 597-601, 2001.

KÖPPEN, W. Das Geographische System der Klimate, Vol. 1., Part C. *In*: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Gebruder Borntraeger, Berlin, 1936. p. 1-44.

KUMAR, P.; MISHRA, P. K. Cultivation of *Gliricidia sepium* (*Gliricidia*) and its use for improving soil fertility. **Journal of the Kalash Science**, Allahabad, v. 1, n. 1, 2013.

KWAK, S. G.; KIM, J. H. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. **Korean journal of anesthesiology**, Seul, v. 70, n. 2, 2017.

LARA, M. A. S. *et al.* Predicting growth of *Panicum maximum*: an adaptation of the CROPGRO—perennial forage model. **Agronomy Journal**, Hoboken, v. 104, n. 3, p. 600-611, 2012.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LEGATES, D. R.; MCCABE JR, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, Washington, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LEMOS, A. J. *et al.* Consumo, comportamento ingestivo, desempenho, características de carcaça e rendimento de cortes comerciais de cordeiros em terminação alimentados com feno ou silagem de gliricídia. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 25, n. 2, p. 94-110, 2020.

LIMA, G. F. C.; AGUIAR, E. M.; VASCONCELOS, S. H. L. **Produção e conservação de forragens para caprinos e ovinos: Criação Familiar de caprinos e ovinos no Rio Grande do Norte**. Natal: EMPARN, p. 145-191, 2006.

- LIYANAGE, M. S.; DANSO, S. K. A.; JAYASUNDARA, H. P. S. Biological nitrogen fixation in four *Gliricidia sepium* genotypes. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 161, n. 2, p. 267-274, 1994.
- LOBELL, D. B. *et al.* Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature climate change**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 42-45, 2011.
- LUSTOSA, P. R. B. *et al.* Simulação. In: CORRAR, L. J.; THEOPHILO, C. R. (orgs.). **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004.
- MALAGNOUX, M.; SÈNE, E. H.; ATZMON, N. Forests, trees and water in arid lands: a delicate balance. **Unasyuva**, Roma, v. 58, n. 229, p. 24-29, 2007.
- MARAK, M. K.; WANI, A. Majid. Monitoring of Vegetative and Floral Characters of *Gliricidia sepium*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v. 7, n. 9, 2018.
- MARANHÃO, S. R. **Modelagem de sistemas aplicada à produção de forragem e ao uso da água, nas condições atuais e sob mudanças climáticas, no semiárido brasileiro**. 2021. 118 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- MARASCHIN, G. E. Oportunidade do uso de leguminosas em sistemas intensivos de produção animal a pasto. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (eds). **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 139-160.
- MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S. *et al.* (org.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 383-416.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, 2007.
- MARIN, F. R.; JONES, J. W. Process-based simple model for simulating sugarcane growth and production. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 1, p. 1-16, 2014.
- MATERE, J. *et al.* Predictive Livestock Early Warning System (PLEWS): Monitoring forage condition and implications for animal production in Kenya. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdam, v. 27, p. 1-8, 2020.
- MESQUITA, R.C.M. **Seasonal feeding behaviour and forage selection by goats in cleared and thinned deciduous woodland in northeastern Brazil**. 1985. 124 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Pastagem Nativa), Utah State University, Logan, Utah. 1985.



- MILCHUNAS, D. G.; LAUENROTH, W. K. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments: ecological archives M063-001. **Ecological monographs**, Hoboken, v. 63, n. 4, p. 327-366, 1993.
- MIYAMOTO, K.; SHIOHARA, K. Reduction of qubits in a quantum algorithm for Monte Carlo simulation by a pseudo-random-number generator. **Physical Review A**, College Park, v. 102, n. 2, 2020.
- MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Hoboken, v. 88, n. 5, p. 695-697, 1996.
- MOON, J.; SRINIVASAN, R.; JACOBS, J. H. Stream flow estimation using spatially distributed rainfall in the Trinity River basin, Texas. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 47, n. 5, p. 1445, 2004.
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Decision modeling with Microsoft Excel**. 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- MORAIS, D. A. E. F.; VASCONCELOS, A. M. Alternativas para incrementar a oferta de nutrientes no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2007.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 557 p.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. Saraiva Educação SA, 2010. 557 p.
- MORSE, W. J.; ROTH, H. P. **Cost Accounting: Processing, Evaluating, and Using Cost Data**. 3rd ed. Addison Wesley Publishing Company, 1986.
- MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences**, Washington, v. 104, n. 50, p. 19680-19685, 2007.
- MOTT, G. O. Grazing pressures and the measurement of pastures production. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 8, 1960. **Proceedings...** 1960. p. 606-611.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 10, p. 282-290, 1970.
- NAYLOR, T. J. et al. **Computer Simulation Techniques**. John Wiley & Sons, New York, 1966.
- OESTERHELD, M. et al. Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. **Nature**, Berlin, v. 356, n. 6366, p. 234-236, 1992.
- OMOKANYE, A. T.; BALOGUN, R. O.; ONIFADE, O. S.; AFOLAYAN, R. A.; OLAYEMI, M. E. Assessment of preference and intake of browse species by Yankasa sheep at Shika, Nigeria. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 42, n. 3, 2001.

- PALISADE CORPORATION. **The DecisionTools Suite 8.0.0**. New York, 2020.
- PANADERO, A. N. Bancos forrajeros de *Moringa oleífera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, Bogotá, v. 20, n. 2, p. 207-218, 2019.
- PARENTE, H. N.; PARENTE, M. O. M. Impacto do pastejo no ecossistema caatinga. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, Umuarama, v. 13, n. 2, 2010.
- PAULA, R. R. **Método de Monte Carlo e aplicações**. 2014. 83 f. Monografia (Bacharelado em Matemática) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2014.
- PEDREIRA, B. C. *et al.* Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 370-379, 2011.
- PEQUENO, D. N. L. *et al.* Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 65, n. 12, p. 1335-1348, 2014.
- PETRONE, A.; PRETI, F. Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. **Hydrology and Earth System Sciences**, Gottingen, v. 14, n. 2, 2010.
- PETRONE, A.; PRETI, F. Suitability of soil bioengineering techniques in Central America: a case study in Nicaragua. **Hydrology and Earth System Sciences**, Gottingen, v. 12, n. 5, 2008.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 471-477, 2012.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Simple agrometeorological models for estimating guineagrass yield in Southeast Brazil. **International journal of biometeorology**, Nova York, v. 58, n. 7, p. 1479-1487, 2014.
- PFISTER, J.A. **Nutrition and feeding behaviour of goats and sheep grazing deciduous shrub-woodland in northeastern Brazil**. 1983. 130 f. Tese (Doutorado em Nutrição Animal), Utah State University, Logan, Utah. 1983.
- ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. **Climate variability and the global harvest: Impacts of El Niño and other oscillations on agro-ecosystems**. Oxford University Press, 2008.
- RUBINSTEIN, R. Y.; KROESE, D. P. **Simulation and the Monte Carlo method**. John Wiley & Sons, 2017. 396 p.
- SÁ, I. B. *et al.* As paisagens e o processo de degradação do semiárido nordestino. *In*: **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: MMA-UFPE; Brasília, DF: 2004. p. 17-36.

SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 402 p. (Embrapa Semiárido).

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of irrigation and drainage engineering**, Reston, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.

SANTANA, A. A. et al. Effect of a mixed silage of king grass (*Cenchrus purpureus*) and forage legumes (*Leucaena leucocephala* or *Gliricidia sepium*) on sheep intake, digestibility and nitrogen balance. **Animal Production Science**, Clayton, v. 59, n. 12, p. 2259-2264, 2019.

SANTOS, M. G. et al. Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 70, n. 2, p. 159-168, 2019.

SARAIVA JÚNIOR, A. F. et al. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 149-164, 2011.

SCURLOCK, J. M. O. et al. **Global leaf area index data from field measurements, 1932–2000**. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, USA, 2001.

SHAMBLIN, J. E.; STEVENS, G. T. **Operations research: a fundamental approach**. New York: McGraw-Hill, 1974.

SILVA, C. M. M. S. **Avaliação do gênero Leucaena na região semi-árida de Pernambuco**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1992. 21 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 44).

SILVA, F. B. R. et al. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, Recife: Embrapa-CNPS, UEP Recife, 1993. v. 2 (Embrapa-CPATSA. Documentos, 80).

SILVA, P. B. A. **Modelagem probabilística de parâmetros de onda para análise de estruturas marítimas**. 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, R. G.; LOPES, M. N.; ARAÚJO, J. C.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, M. J. D. Orçamentação Forrageira de Longo Prazo no Semiárido. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v.15, n. 2, p. 98-110, 2013.

SILVA, R. M. A. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 18, n. 1/2, p. 361-385, 2003.

SILVA, S. C.; CARVALHO, P. C. F. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/subtropics. *In*: MCGILLOWAY, D. A. (ed.). **A Global Resource**. Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2005. p. 81–96.

SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SIMBAYA, J. **Potential of fodder tree/shrub legumes as a feed resource for dry season supplementation of smallholder ruminant animals**, 2002.

SIMOES, A. F. et al. Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. **Environmental science and policy**, Oxford, v. 13, n. 8, p. 801-808, 2010.

SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N. G. Crop modeling: from infancy to maturity. **Agronomy Journal**, Hoboken, v. 88, n. 5, p. 698-704, 1996.

SOBOL I. **O método de Monte Carlo**. Editora Mir, 1983.

SOLANGI, A. H. et al. Preliminary studies on the major characteristic, agronomic feature and nutrient value of *Gliricidia sepium* in coconut plantations of Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 42, n. 2, p. 825-832, 2010.

SOLON, A. O. **Estimativas dos valores esperados das durações de secas hidrológicas - estudo de caso: reservatório Castanhão**. 1999. 12 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

STUTH J.W. *et al.* **PHYGROW Users Guide and Technical Documentation**. Texas A&M University, 2003. Disponível em: [http://cnrit.tamu.edu/physite/PHYGROW\\_userguide.pdf](http://cnrit.tamu.edu/physite/PHYGROW_userguide.pdf).

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Nova delimitação Semiárido**. 63 p., 2018. Disponível em: [http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Munic%C3%ADpios\\_Semi%C3%A1rido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf). Acesso em: 17 de julho de 2020.

SUMBERG, J. E. *et al.* Note on flowering and seed production in a young *Gliricidia sepium* seed orchard. **Tropical Agriculture**, St. Augustine, v. 62, n. 1, p. 17-19, 1985.

TAVARES, B. S. et al. Análise de risco e otimização de recursos hídricos e retorno financeiro em nível de fazenda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 338-346, 2011.

TEAGUE, W. R. *et al.* An ecological economic simulation model for assessing fire and grazing management effects on mesquite rangelands in Texas. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 64, n. 3, p. 611-624, 2008.

THOMOPOULOS, N. T. **Essentials of Monte Carlo simulation: Statistical methods for building simulation models**. Springer Science & Business Media, 2013. 183 p.

THORNLEY, J. H. M, et al. **Mathematical models in plant physiology**. London: Academic Press (Inc.), 1976.

THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. **Plant and crop modeling**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 669 p.

TONATO, F. *et al.* Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem e sustentabilidade de sistemas de produção em pastejo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA*, 22, 2012, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2012.

ULLAH, A. *et al.* Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. **Plant biotechnology journal**, Hoboken, v. 15, n. 3, p. 271-284, 2017.

VAN DE KOPPEL, J.; RIETKERK, M. Herbivore regulation and irreversible vegetation change in semi-arid grazing systems. **Oikos**, Hoboken, v. 90, n. 2, p. 253-260, 2000.

VOSE, D. **Risk analysis: A quantitative guide**. John Wiley & Sons, 2000. 735 p.

WESSELS, K. J. *et al.* Relevance of rangeland degradation in semiarid northeastern South Africa to the nonequilibrium theory. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 17, n. 3, p. 815-827, 2007.

WILLMOTT, C. J. *et al.* Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, Oxon, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WINSTON, W. L.; GOLDBERG, J. B. **Operations research: applications and algorithms**. 3rd ed. Belmont: Duxbury Press, 2004.

ZAMORA, D. S. *et al.* Modeling cotton production response to shading in a pecan alleycropping system using CROPGRO. **Agroforestry systems**, Dordrecht, v. 76, n. 2, p. 423-435, 2009.

## **ANEXO A – DECLARAÇÃO DE REVISÃO ORTOGRÁFICA**

Eu, **Lívia de Oliveira Sena**, declaro para os devidos fins e para fazer prova junto a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, que realizei a revisão da dissertação “PREDIÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GLIRICÍDIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO” de José Lucas Guedes dos Santos, consistindo na correção gramatical, adequação do vocabulário, inteligibilidade do texto e correção de acordo com as normas técnicas vigentes.

Fortaleza, 17 de julho de 2022

## **ANEXO B – DECLARAÇÃO DE CORREÇÃO DE INGLÊS**

Eu, **Lívia de Oliveira Sena**, declaro para os devidos fins e para fazer prova junto a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, que realizei a revisão de inglês do ABSTRACT contido na dissertação “PREDIÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GLIRICÍDIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO” de José Lucas Guedes dos Santos, consistindo na correção gramatical, adequação do vocabulário, inteligibilidade do texto e correção de acordo com as normas técnicas vigentes.

Fortaleza, 17 de julho de 2022