



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

**LEYDIANE BEZERRA DE OLIVEIRA**

**MODELAGEM E ANÁLISE DA GARANTIA NATURAL DA PRODUÇÃO DE  
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2022**

LEYDIANE BEZERRA DE OLIVEIRA

MODELAGEM E ANÁLISE DA GARANTIA NATURAL DA PRODUÇÃO DE  
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Zootecnia. Área de concentração: 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  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- O48m    Oliveira, Leydiane Bezerra de.  
          Modelagem e análise da garantia natural da produção de gramíneas forrageiras em sequeiro no  
          Semiárido brasileiro / Leydiane Bezerra de Oliveira. – 2022.  
          85 f. : il.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-  
          Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2022.  
          Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.  
          Coorientação: Profª. Dra. Ana Clara Rodrigues Cavalcante.
1. Níveis de garantia. 2. Modelagem; . 3. Phytogrow. 4. Sequeiro. 5. Simulação. I. Título.
- CDD 636.08
-

LEYDIANE BEZERRA DE OLIVEIRA

MODELAGEM E ANÁLISE DA GARANTIA NATURAL DA PRODUÇÃO DE  
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Zootecnia. Área de concentração: Forragicultura.

Aprovada em: 29/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof. Dr. José Moraes Pereira Filho  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

Dr. Tadeu Vinhas Voltolini  
Embrapa Semiárido

---

Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Dr. Francisco Gleyson da Silveira Alves  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, pelo incentivo a seguir em busca do conhecimento, em especial, ao meu pai (Chico).

À minha companheira de vida, de lutas, de glória e de caminhada (Ana).

Com muito carinho, dedico a vocês!

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Deus, por me guiar durante toda caminhada, pela vida e disposição para enfrentar os desafios de cada dia e em especial dos dias de pandemia.

À Universidade Federal do Ceará, ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia - PDIZ/UFC/UFPB, pela oportunidade de realizar a prova e ser aprovada para o doutorado.

Ao meu orientador, Professor Dr. Magno José Duarte Cândido, pelos ensinamentos na área da forragicultura, pela atenção para melhor resultado da tese.

À minha coorientadora, com grande estima, Dr. Ana Clara Rodrigues Cavalcante, por estar presente na minha caminhada acadêmica desde a graduação.

Ao Dr. Jay Peter Angerer, pela disponibilidade e atenção que teve comigo para tirar dúvidas em relação ao PHYGROW e modelagem. Você foi essencial!

Aos colegas do projeto de modelagem de ecossistemas pastoris no semiáridos pelos encontros e discussões, troca de conhecimento.

Aos membros da banca examinadora, pelas imprescindíveis contribuições para a melhoria dessa tese.

À Secretária da Pós-Graduação, em nome de Francisca, sempre disponível para tirar dúvidas sobre o programa de pós-graduação e aos professores do Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia - PDIZ/UFC/UFPB, pelos ensinamentos.

Ao NEEF, pela oportunidade de fazer parte e aprender muito.

Aos amigos de universidade, Leonardo Fiúsa, Samuel, Bruninho, Barbara, Milena, pela amizade, tornando esta etapa mais grandiosa.

Aos alunos da graduação que tive o prazer de acompanhar nas suas trajetórias acadêmicas: Gabriela, Josias, Adriane, Lucas e Marília, pela partilha de conhecimento.

Ao amigo Lucas Guedes, em especial, pela amizade, troca de conhecimento, companheirismo, ensinamentos, ajuda e opiniões nos estudos, e trabalho de modelagem.

À Embrapa e CNA pela parceria no projeto, enfim, a todos que colaboram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e por que não dizer sonho. Muitíssimo obrigada a todos vocês!

“A força não vem de vencer. Suas lutas desenvolvem suas forças. Quando você atravessa dificuldades e decide não se render, isso é força” (Arnold Schwarzenegger).

## RESUMO

As regiões áridas e semiáridas no mundo com suas características climáticas peculiares são as principais causas da volatilidade na produção de vegetal e animal, juntamente com outros fatores. Essa variabilidade climática afeta a produção de forragem, porém hoje já se conhece técnicas de conservação de forrageiras no intuito de mitigar os efeitos da estacionalidade. Técnicas de manejo, armazenamento de alimentos, planejamento forrageiro e o uso da modelagem são ferramentas que auxiliam no planejamento e consequentemente no sucesso da produção animal a pasto em regiões áridas. Assim, objetivou-se prever o crescimento de cinco forrageiras por meio do modelo PHYGROW e associar tais previsões a determinados níveis de garantia, para nortear produtores no manejo e utilização dos seus recursos forrageiros. O trabalho foi executado com base em colheitas de dados realizadas durante os anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 em 10 Unidades de Referência Tecnológica (URT'S), a maioria situada na região semiárida brasileira. Foram utilizados os dados de 5 gramíneas forrageiras, 4 perenes (capins Buffel, Piatã, Massai, Corrente) e 1 anual (Sorgo Ponta Negra). Para determinar o tempo de corte foi levada em consideração a altura do pasto de 60; 40; 55 e 50 cm para os capins buffel, piatã, massai e corrente, respectivamente. Para colheita da biomassa foi utilizado uma moldura de 0,50 x 0,50 m. Todo o material acima de 20 cm presente na moldura foi pesado. A coleta do Sorgo foi realizada com corte das três linhas centrais da parcela a uma altura de 20 cm do solo. Esse corte foi realizado quando os grãos apresentaram ponto de silagem. Foi definido como ponto de corte, o momento em que as plantas estavam com grãos na consistência pastosa. O material foi colocado em estufa de ventilação forçada a 55°C por para obtenção do peso pré-seco. A produção de Biomassa de Forragem Total (BFT) foi utilizado para realização das simulações de produção de biomassa vegetal o *Phytomass Growth* (PHYGROW). Os dados de campo colhidos nas URTs foram utilizados para parametrizar e calibrar o modelo. O desempenho do modelo, foi realizado através dos testes: erro médio da previsão (BIAS %), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e índice de concordância de Willmott (d). Em seguida foi realizado, na plataforma PHYWEB 2.0, o download de uma série temporal de 71 anos referente a biomassa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) simulada para cada URT. Foi selecionado dessas séries o maior valor de biomassa simulado. Os maiores valores para cada ano da série temporal analisadas foram avaliados no implemento @Risk quanto a sua distribuição de probabilidade. Após definida a função de densidade de probabilidade, foram geradas 3 séries sintéticas de 1000 valores cada. Por fim, foram realizados cálculos de probabilidade da produção de biomassa,

com base em diferentes níveis de garantia. A partir desses níveis de garantia, realizaram-se cálculos de regressão entre os níveis de garantia verificados e suas respectivas biomassas com o auxílio do software SigmaPlot (11.0). Para o capim-buffel foram obtidas calibrações do modelo para Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, todos com o índice de Willmott maior que 0,85. Considerando como muito bom as simulações para Ibaretama-CE com índice de 0,85. Para URT de São João-PE foi classificado com bom a simulação com índice de 0,72. Já para Fortuna-MA foi determinado como sofrível com índice de 0,55 e péssimo para Baixa Grande-BA com índice de 0,37. Para o capim-piatã as simulações foram ótimas para Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Fortuna-MA, todos com o índice maior que 0,88. Muito bom para Tenório-PB com índice de 0,77. Ibaretama-CE foi mau com índice de 0,42. Para o capim-massai as simulações foram ótimas para Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Fortuna-MA e São João-PE. Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE todos com o índice maior que 0,85. Muito bom para Itapetinga-BA com índice de 0,79. Bom para Tenório-PB com índice de 0,68. Mau para Montes Claros-MG com índice de 0,47. Para o capim-corrente as simulações foram ótimas para Montes Claros-MG e Ibaretama-CE. Muito bom para Itapetinga-BA e Baixa Grande-BA. Já Tenório-PB teve mau simulação. Para o Sorgo Ponta Negra as simulações foram ótimas para Montes Claros-MG e Tenório-PB. Muito bom para Itapetinga-BA. Carlos Chagas-MG e Fortuna foram bom. Foram péssimos para Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE e São João-PE. Conclui-se que as simulações de biomassas das forrageiras foram eficientes através do PHYGROW. A utilização de ferramentas tecnológicas como o PHYGROW pode ser de grande ajuda para o planejamento da produção vegetal e animal de produtores no longo prazo.

**Palavras-chave:** níveis de garantia; modelagem; phygrow; sequeiro; simulação.

## ABSTRACT

The arid and semi-arid regions of the world with their peculiar climatic characteristics are the main causes of volatility in plant and animal production, along with other factors. This climatic variability affects forage production, but techniques for forage conservation are now known in order to mitigate the effects of seasonality. Management techniques, food storage, forage planning and the use of modeling are tools that support on the planning and consequently on the success of animal production on pasture in arid regions. Thus, the objective was to predict the growth of five forage plants by the PHYGROW model and associate such predictions with certain guarantee levels, to guide producers in the management and use of their forage resources. The work was carried out based on data collected during the years 2018, 2019, 2020 and 2021 in 10 Technological Reference Units (URT'S), most located in the Brazilian semi-arid region. Data from 5 forage grasses, 4 perennials (Buffel, Piatã, Massai, Corrente) and 1 annual (Sorgo Ponta Negra) were used. To determine the cutting time, the pasture height of 60 was taken into account; 40; 55 and 50 cm for buffel, piatã, massai and current grasses, respectively. To harvest the biomass, a 0.50 x 0.50 m frame was used. All material over 20 cm present in the frame was weighed. Sorghum collection was carried out by cutting the three central lines of the plot at a height of 20 cm from the ground. This cut was performed when the grains presented a silage point. The cut-off point was defined as the moment when the plants had grains in pasty consistency. The material was placed in a forced ventilation oven at 55°C to obtain the pre-dry weight. The production of Total Forage Biomass (BFT) was used to carry out simulations of plant biomass production, Phytomass Growth (PHYGROW). Field data collected from the URTs were used to parameterize and calibrate the model. The performance of the model was performed through the tests: mean forecast error (BIAS %), square root mean error (RMSE), mean absolute error (MAE) and Willmott's concordance index (d). Then, on the PHYWEB 2.0 platform, a 71-year time series related to dry biomass (kg ha<sup>-1</sup>) simulated for each URT was downloaded. The highest simulated biomass value was selected from these series. The highest values for each year of the analyzed time series were evaluated in the @Risk implement regarding their probability distribution. After defining the probability density function, 3 synthetic series of 1000 values each were generated. Finally, calculations of the probability of biomass production were carried out, based on different levels of guarantee. From these guarantee levels, regression calculations were performed between the verified guarantee levels and their respective biomasses with the aid of the SigmaPlot software (11.0). For buffel

grass, model calibrations were obtained for Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, all with Willmott index greater than 0.85. Considering the simulations for Ibaretama-CE as very good with an index of 0.85. For the URT of São João-PE, the simulation was classified as good with an index of 0.72. As for Fortuna-MA, it was determined as poor with an index of 0.55 and terrible for Baixa Grande-BA with an index of 0.37. For piatã grass, the simulations were excellent for Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Fortuna-MA, all with the index greater than 0.88. Very good for Tenório-PB with an index of 0.77. Ibaretama-CE was bad with an index of 0.42. For massai grass, the simulations were excellent for Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Fortuna-MA and São João-PE. Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE all with an index greater than 0.85. Very good for Itapetinga-BA with an index of 0.79. Good for Tenório-PB with an index of 0.68. Bad for Montes Claros-MG with an index of 0.47. For current grass, the simulations were excellent for Montes Claros-MG and Ibaretama-CE. Very good for Itapetinga-BA and Baixa Grande-BA. Tenório-PB had a bad simulation. For Sorghum Ponta Negra, the simulations were excellent for Montes Claros-MG and Tenório-PB. Very good for Itapetinga-BA. Carlos Chagas-MG and Fortuna were good. They were terrible for Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE and São João-PE. It is concluded that the forage biomass simulations were efficient through PHYGROW. The use of technological tools such as PHYGROW can be of great help in planning the plant and animal production of producers in the long term.

**Keywords:** assurance levels; modeling; phygrow; rainfed; simulation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Mapa demonstrativo das URTs de Baixa Grande- BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB e Batalha-AL.....                                                                                                                                                  | 20 |
| Figura 2 – Precipitação média (mm) e temperatura média (°C) durante o período de colheita de dados, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 Baixa Grande-BA, São Raimundo Nonato-PI, Itapetinga-BA, 4-Carlos Chagas-MG, 5-Ibaretama-CE, 6-Montes Claros-MG.....                                                                                                 | 22 |
| Figura 3 – Precipitação média (mm) e temperatura média (°C) durante o período de colheita de dados, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. São João-PE, Tenório-PB, Fortuna-MA, Batalha-AL.....                                                                                                                                                               | 23 |
| Figura 4 – Simulação de biomassa do capim-buffel, expressa em kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, 5-Itapetinga-BA. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                               | 31 |
| Figura 5 – Simulação de biomassa do capim-buffel, expressa em kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                          | 32 |
| Figura 6 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-buffel em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA. Linha vermelha função Normal ou Weibull, e as barras são os dados.....    | 34 |
| Figura 7 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-buffel em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB. Linha vermelha função Normal, Weibull ou BetaGeneral e as barras são os dados..... | 35 |
| Figura 8 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-buffel em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA.....                                                                                                                                                                                        | 37 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 9 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-buffel em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB.....                                                                                                                                                                                                                            | 38 |
| Figura 10 – Simulação de biomassa do capim-piatã, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                                            | 40 |
| Figura 11 – Simulação de biomassa do capim-piatã, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Batalha-AL. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                                         | 41 |
| Figura 12 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-piatã em Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG. Linha vermelha função Normal, Weibull ou BetaGeneral e as barras são os dados..... | 43 |
| Figura 13 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-piatã em São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Fortuna-MA. Linha vermelha Normal ou Weibull, e as barras são os dados.....                                                     | 44 |
| Figura 14 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-piatã em Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA.....                                                                                                                                                                                                                   | 46 |
| Figura 15 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-piatã em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Fortuna-MA.....                                                                                                                                                                                                                | 47 |
| Figura 16 – Simulação de biomassa do capim-massai, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                                                               | 50 |
| Figura 17 – Simulação de biomassa do capim-massai, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em 1-Itapetinga-BA, 2-Montes Claros-MG, 3-São                                                                                                                                                                                                                    |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| João-PE, 4-Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 51 |
| Figura 18 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-massai em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuma-MA, Ibaretama-CE. Linha vermelha função Weibull, e as barras são os dados.....                                     | 53 |
| Figura 19 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-massai em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB. Linha vermelha função Weibull ou BetaGeneral, e as barras são os dados.....                    | 54 |
| Figura 20 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-massai em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE.....                                                                                                                                                                                                               | 56 |
| Figura 21 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-massai em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB.....                                                                                                                                                                                                             | 57 |
| Figura 22 – Simulação de biomassa do capim-corrente, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                  | 59 |
| Figura 23 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-corrente em Baixa Grande-BA, Ibaretama-BA, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB. Linha vermelha função Normal ou BetaGeneral, e as barras são os dados..... | 61 |
| Figura 24 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-corrente em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB.....                                                                                                                                                                                         | 63 |
| Figura 25 – Simulação de biomassa do Sorgo Ponta Negra, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021).....                                                                                                              | 65 |
| Figura 26 – Simulação de biomassa do Sorgo Ponta Negra, expressa em Kg ha <sup>-1</sup> de MS                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| da biomassa total disponível em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)                                                                                                                                                                                                    | 66 |
| Figura 27 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do Sorgo Ponta Negra em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Linha vermelha função Normal ou Weibull, e as barras são os dados..... | 67 |
| Figura 28 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do Sorgo Ponta Negra em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB. Linha vermelha função Normal, Weibull e as barras são os dados.....       | 68 |
| Figura 29 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem do Sorgo Ponta Negra em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE.....                                                                                                                                                                                     | 70 |
| Figura 30 – Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem do Sorgo Ponta Negra em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB.....                                                                                                                                                                                        | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|           |                                                                                            |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1  | – Informações de localização geográfica das Unidades de Referência Tecnológica (URTs)..... | 21 |
| Tabela 2  | – Composição das frações granulométricas e fator de rocha dos solos das URTs.....          | 24 |
| Tabela 3  | – Atributos químicos dos solos presentes nas URTs.....                                     | 24 |
| Tabela 4  | – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-buffel.....                        | 26 |
| Tabela 5  | – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-piatã.....                         | 26 |
| Tabela 6  | – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-massai.....                        | 27 |
| Tabela 7  | – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-corrente.....                      | 27 |
| Tabela 8  | – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-sorgo.....                         | 28 |
| Tabela 9  | – Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-buffel.....          | 33 |
| Tabela 10 | – Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-piatã.....           | 42 |
| Tabela 11 | – Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-massai .....         | 52 |
| Tabela 12 | – Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-corrente.....        | 60 |
| Tabela 13 | – Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o Sorgo Ponta Negra.....     | 67 |

## SUMÁRIO

|            |                                                                         |           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                  | <b>16</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                         | <b>20</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Localização e caracterização climática da área experimental.....</b> | <b>20</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Protocolo para amostragem de dados de campo.....</b>                 | <b>23</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Modelo da produção de biomassa.....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Método de Monte Carlo.....</b>                                       | <b>30</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Garantia natural.....</b>                                            | <b>30</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS.....</b>                                                  | <b>31</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Capim-buffel.....</b>                                                | <b>31</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Capim-piatã.....</b>                                                 | <b>40</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Capim-massai.....</b>                                                | <b>49</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Capim-corrente.....</b>                                              | <b>59</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Sorgo Ponta Negra.....</b>                                           | <b>64</b> |
| <b>4</b>   | <b>DISCUSSÃO.....</b>                                                   | <b>73</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                   | <b>78</b> |
| <b>6</b>   | <b>IMPLICAÇÕES.....</b>                                                 | <b>79</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>80</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas no mundo são de suma importância, pois representam quase um terço da superfície terrestre, abrigam cerca de um bilhão de pessoas, produzem 20% dos alimentos no mundo (Malagnoux; Sène; Atzmon, 2007) e a produção animal é predominante sobre a agricultura em quase todas as regiões, tendo papel socioeconômico de destaque (Pereira *et al.*, 2007).

Essas regiões apresentam características climáticas peculiares de precipitações baixas, distribuição irregular ao longo do ano, associadas a altas temperaturas, baixa umidade do ar, que são as principais causas da variabilidade na produção de vegetal e animal, juntamente com outros fatores físicos (Montenegro; Montenegro, 2012; Sivakumar *et al.*, 2005).

No que diz respeito à precipitação, seu comportamento incerto afeta a produção de biomassa e causa forte estacionalidade, porém hoje já se conhece técnicas de conservação de forragens que tem o intuito de mitigar tais efeitos. Técnicas de manejo, armazenamento de alimentos, planejamento forrageiro (Silva *et al.*, 2013; Soares Neto *et al.*, 2013) e o uso da modelagem são ferramentas que auxiliam no sucesso da produção animal a pasto nessas regiões.

Sabe-se que a vegetação nativa é a fonte básica de alimento, porém a biomassa e sua qualidade diminuem com o período seco (Pereira *et al.*, 2007; Alves *et al.*, 2007), requerendo estratégias alimentares diversificadas para a região (Pereira *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2007).

Uma das alternativas são as pastagens cultivadas, que quando manejadas de forma correta resultam em alto potencial de produção, sendo uma opção para elevar a produtividade e conseqüentemente a capacidade de suporte. Constituem ainda alternativa para incrementar os índices produtivos da pecuária no semiárido, especialmente para suprir as necessidades nutricionais dos animais quando o pasto nativo diminuir sua produção ou como principal fonte de alimento. Portanto, gramíneas mais adaptadas e pouco exigentes em fertilidade do solo produz com baixa precipitação pluvial características muito frequentes nas regiões áridas e semiáridas, torna tais plantas importantes recursos forrageiros para essas regiões (Souza Junior; Linhares, 2008; Silva, 2010).

A delimitação do semiárido leva em conta critérios de precipitação média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de aridez que é a razão entre precipitação e a evapotranspiração potencial, igual ou inferior a 0,50 e o risco de seca que é considerando o

déficit hídrico igual ou superior a 60%, isso em relação ao percentual diário (Cruz *et al.*, 2019; Marengo, 2011; Marengo, 2006; Teixeira, 2016; Malvezzi, 2007; Sá; Silva, 2010).

Diante dessa problemática, o cultivo de plantas adaptadas como as gramíneas perenes (*Pennisetum ciliare* (L.) Link cv. Áridus (capim-búffel), *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã (capim-piatã), *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs cv. Massai (capim-massai), *Urochloa mosambicensis* (Hack.) Dandy (capim-corrente)), e a anual *Sorghum bicolor* (L.) Moench. cv. BRS Ponta Negra (Sorgo Ponta Negra) podem mitigar a estacionalidade de forragem.

O capim-búffel possui alta tolerância ao déficit hídrico, é precoce na produção de sementes e pode entrar em dormência quando as condições climáticas são menos favoráveis. É muito versátil, podendo ser utilizado de diversas formas (Araújo Filho; Carvalho, 1998; Dantas Neto *et al.*, 2000). Devido às suas características morfológicas, pode ainda ser utilizado para feno. Em Serra Talhada-PE, a biomassa variou de 6.492 kg MS ha<sup>-1</sup> para 3356 kg MS ha<sup>-1</sup> com pasto diferido (Moreira *et al.*, 2007). Oliveira (1996) encontrou para mesma região uma biomassa de 5000 a 5500 kg MS ha<sup>-1</sup>. Porém, a produtividade pode ser cerca 8 a 12 toneladas MS ha<sup>-1</sup> a depender da variedade do capim-búffel (Oliveira, 1981).

O capim-piatã foi estudado no semiárido em conjunto ao pasto nativo herbáceo, especialmente com espécies da família *Fabaceae*, que tem alto potencial forrageiro, facilitando o manejo da pastagem e demonstrando ter boa compatibilidade com essas plantas além de facilitar o manejo (Oliveira *et al.*, 2015). Pode ser cultivado em solos de média fertilidade, arenoso e possui tolerância a cigarrinha-das-pastagens, (Valle *et al.*, 2007). Euclides *et al.* (2008) observaram que no período seco capim-piatã apresenta menor acúmulo de colmo em comparação a outras cultivares com o xaraés, tornando-se uma forrageira de melhor qualidade. A elevada tolerância ao estresse hídrico dessa gramínea também foi evidenciada por Pezzopane *et al.* (2015) trabalhando em casa de vegetação. Os autores concluíram que dentre as plantas avaliadas (marandú, paiaguás, piatã e xaraés) o piatã apresentou o melhor fluxo de biomassa. Em região de clima do tipo Aw, tropical chuvoso de savana com média anual de 1.560 mm, e o período considerado de seca é de maio a setembro (30% da precipitação anual) em um Latossolo Vermelho distrófico e altura do dossel de 45 cm o capim produziu 4.050 kg MS ha<sup>-1</sup> (Nantes *et al.*, 2013).

O capim-massai vem sendo estudado com potencial para produção de forragem em regiões tropicais mais secas, mostrando-se ser uma forrageira que suporta secas prolongadas (Pompeu, 2015; EMBRAPA, 2011). Essa gramínea tem porte baixo, crescimento cespitoso, formando touceiras de 60 cm de altura com grande quantidade de perfilhos, suas

folhas são finas e quebradiças com largura média de 09 mm. Essas características o tornam versátil para diversas formas de utilização, seja para pastejo em sistemas extensivos, intensivos, rotacionados e conservado na forma de feno (JANK *et al.*, 2010). Em Apodi-RN, região de clima BSh'W, em um solo Cambissolos Eutróficos, com irrigação e altura do dossel de 50,97 cm o capim-massai produziu 3971,82 Kg MS ha<sup>-1</sup> (Emerenciano Neto *et al.*, 2016).

O capim-corrente suporta de médios a longos períodos de estiagem, sendo utilizado de diversas maneiras na dieta dos animais, como para pastejo, feno e silagem. Sua composição químico-bromatológica apresenta alto teor de proteína e digestibilidade, favorecendo a aceitabilidade pelos animais (Oliveira, 1999, 2005). Essa forrageira é adaptada para ambientes com temperaturas altas, com precipitação pluvial média anual de 300 a 800 mm, tendo alta tolerância regiões semiáridas (Araújo, 2013). Sua produção média de matéria seca em condições de sequeiro é de 1.961,4 kg ha<sup>-1</sup> e 4.350,4 kg ha<sup>-1</sup> quando cultivado com irrigação (Oliveira *et al.*, 2016).

O Sorgo destaca-se na região semiárida por apresentar maior adaptação que o milho (*Zea mays* L.), acarretando maior produção na maior parte das situações (Rocha Júnior *et al.*, 2000). Essa forrageira produz 12.073,55 kg MS ha<sup>-1</sup> com um acumulado de 115 mm de precipitação pluvial, o que demonstra seu elevado potencial xerofílico e produtivo. As plantas apresentaram uma altura de 2,74 m e a eficiência do uso da chuva foi de 105 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Portanto, sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas do semiárido paraibano é confirmada (Perazzo *et al.*, 2013). O bom desenvolvimento do sorgo, segundo Saucedo (2008), deve-se ao seu sistema radicular bastante ramificado, presença de camada de cera nas folhas e caules e de grande quantidade de estômatos. Em períodos de escassez de chuvas, entra em dormência e volta a crescer quando as condições são favoráveis.

Portanto, conhecer a produção dessas plantas em diversos ambientes e com o uso dos modelos matemáticos para essas plantas parecem ser viáveis para auxiliar os produtores, pois a modelagem é fundamentada em equações que servem para especificar quantidades geradas das relações de causa e efeito das variáveis estudadas, ou variáveis de interesse da produção animal (Sands; Landsberg, 2002). Estudos de modelagem voltado para a área de Ciências Agrárias, apesar de recente, vem crescendo e ganhando espaço devido ao grande leque de possibilidades de seu uso, pois é possível compreender fatores que estão ligados à produção vegetal de uma determinada cultura ou animal como também obtém resultados que auxiliam nas tomadas de decisões perante as condições existentes (Costa; Barros, 2001; Jones *et al.*, 2017).

O modelo PHYGROW pode ser classificado como mecanicista/estocástico, pois modelos mecanicistas se baseiam em leis físicas, químicas e biológicas, pode ser construído dividindo o sistema em componentes para entender o comportamento do todo e estocástico pela aleatoriedade das variáveis ao longo do tempo (Tucci, 1998; Lara; Rakocevic, 2014).

Diante do exposto, faz-se necessária a utilização de softwares como o PHYGROW que gerem modelos de simulação da produção vegetal em função das mudanças climáticas, como flutuação de chuvas e temperaturas.

O PHYGROW é um software que utiliza informações de clima, vegetação, solo e pastejo para simular o crescimento vegetal (Stuth *et al.*, 2003). O modelo PHYGROW tem sido uma ferramenta utilizada em projetos de alerta precoce e para o monitoramento da produção de forragem em regiões áridas e semiáridas ao redor do mundo, como nos Estados Unidos (Angerer, 2008), no Quênia (Matere *et al.*, 2020) e na Mongólia (Angerer, 2012). O PHYGROW associado a métodos estatísticos como Monte Carlo (Metropolis; Ulam, 1949) que é um processo estatístico que sequencia números aleatórios para simulações com a garantia natural adaptado de Silva *et al.*, (2013), que é a base para o Sistema de Garantia do Balanceamento de Forragem, podem ser uma boa alternativa nas tomadas de decisões.

Embora a modelagem seja uma ferramenta já largamente explorada em muitos ramos da ciência (Costa; Barros, 2001), os estudos do crescimento de plantas forrageiras ainda são escassos, mas extremamente úteis para projetar a produção diante da variabilidade edafoclimática das diversas regiões do globo terrestre, especialmente das regiões áridas e semiáridas, auxiliando na tomada de decisão e no sucesso da produção agrícola e pecuária. Assim, objetivou-se prever o crescimento de cinco forrageiras por meio do modelo PHYGROW e associar tais previsões a determinados níveis de garantia, para nortear produtores no manejo e na utilização dos seus recursos forrageiros.

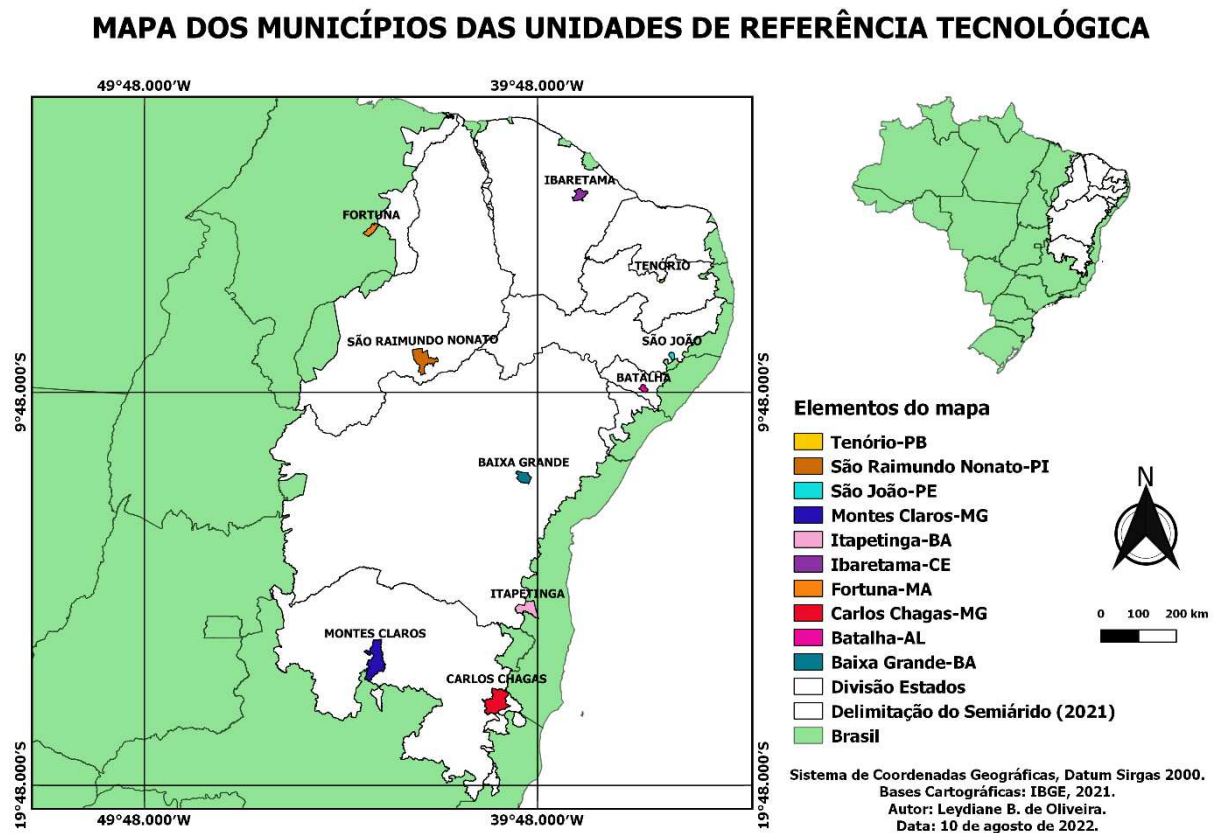
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização climática da área experimental

Os dados utilizados na modelagem foram obtidos das unidades de referência tecnológica (URTs), localizadas nos municípios de Baixa Grande- BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-, Tenório-PB e Batalha-AL (Figura 1). O cultivo foi em sequeiro em regiões semiáridas, exceto Fortuna-MA (não faz parte do documento oficial do semiárido), (IBGE, 2021).

As coordenadas geográficas das URTs estão apresentadas na tabela 1, as temperaturas e precipitações estão apresentadas nas figuras 2 e 3.

Figura 1 - Mapa demonstrativo das URTs de Baixa Grande- BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB e Batalha-AL



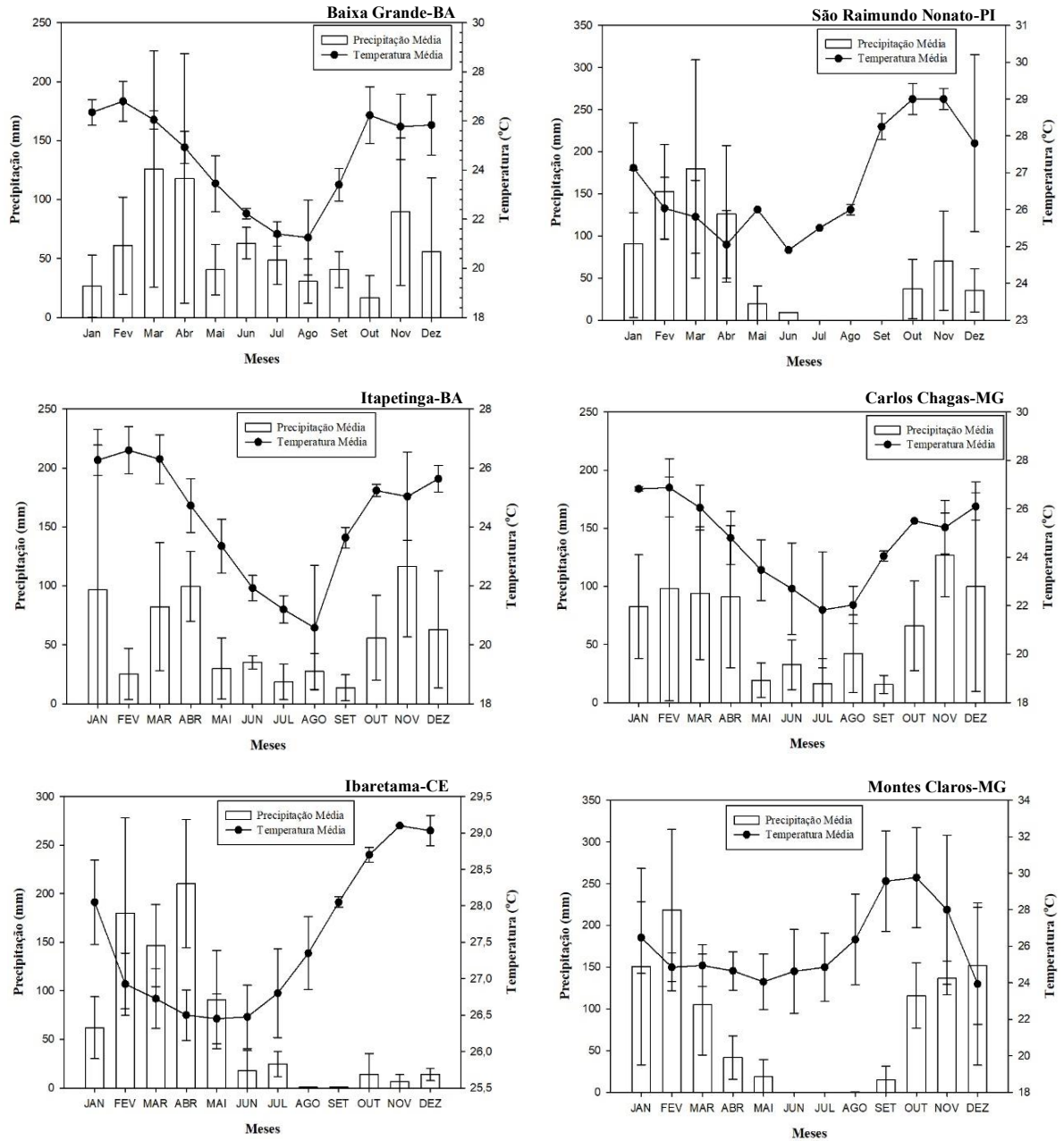
Fonte: Elaboração própria da autora.

Tabela 1 - Informações de localização geográfica das Unidades de Referência Tecnológica (URTs)

| <b>URTs</b>            | <b>Localização geográfica</b> |
|------------------------|-------------------------------|
| Baixa Grande-BA        | 11°57'56,5"S/40°17'37,7"O     |
| Carlos Chagas-MG       | 17°40'59,9"S/40°47'51,7"O     |
| Ibaretama-CE           | 4°44'21,1"S/38°44'46,7"O      |
| Itapetinga-BA          | 15°15'41,8"S/40°14'27,6"O     |
| Montes Claros-MG       | 16°39'44,3"S/43°44'15,7"O     |
| São João-PE            | 8°49'26,4"S/36°25'24,2"O      |
| São Raimundo Nonato-PI | 9°05'04,9"S/42°42'58,7"O      |
| Tenório-PB             | 7°00'33,5"S/36°40'33,2"O      |
| Fortuna-MA             | 5°45'27,7"S/44°08'46,0"O      |
| Batalha-AL             | 9°40'09,1"S/37°08'25,1"O      |

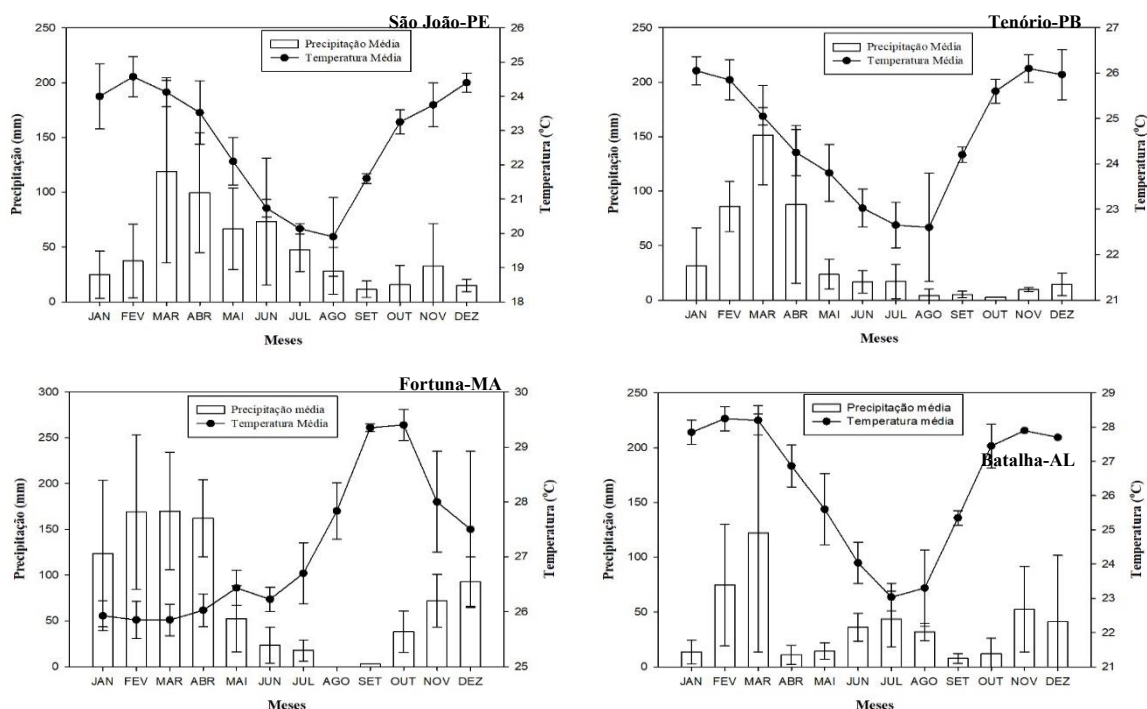
Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 2 - Precipitação média (mm) e temperatura média (°C) durante o período de colheita de dados, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 Baixa Grande-BA, São Raimundo Nonato-PI, Itapetinga-BA, 4-Carlos Chagas-MG, 5-Ibaretama-CE, 6-Montes Claros-MG



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 3 - Precipitação média (mm) e temperatura média (°C) durante o período de colheita de dados, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. São João-PE, Tenório-PB, Fortuna-MA, Batalha-AL



Fonte: Elaboração própria da autora.

## 2.2 Protocolo para amostragem de dados de campo

Antes da implantação das culturas no campo, foram realizadas amostragens de solo, na profundidade de 0-20 cm. Após a coleta, as referidas amostras foram encaminhadas para laboratório de análise de solos para determinar a composição das frações granulométricas e o fator de rocha (Tabela 2 e 3). Para a obtenção desse fator, foram colhidas amostras indeformadas de solo em vários pontos das parcelas com o auxílio de um trado. O solo foi levado para estufa a 105 °C por cerca de 72 horas. Em temperatura ambiente, as amostras foram pesadas e peneiradas em malha de 2 mm, o material retido na peneira foi pesado. Por diferença percentual, obtemos o Rock Factor em volume de solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

Tabela 2 – Composição das frações granulométricas e fator de rocha dos solos das URTs

| URT                    | Argila (%) | Silte (%) | Areia (%) | Fator de rocha |
|------------------------|------------|-----------|-----------|----------------|
| Baixa Grande-BA        | 13,4       | 3,6       | 83        | 0,040          |
| Itapetinga-BA          | 25,1       | 3,9       | 71        | 0,040          |
| Tenório-PB             | 12,0       | 1,0       | 87        | 0,075          |
| São Raimundo Nonato-PI | 16,2       | 5,8       | 78        | 0,014          |
| São João-PE            | 10,5       | 3,5       | 86        | 0,135          |
| Carlos Chagas-MG       | 46,7       | 17,3      | 36        | 0,054          |
| Montes Claros-MG       | 45,2       | 35,8      | 19        | 0,096          |
| Fortuna-MA             | 26,2       | 7,8       | 66        | 0,401          |
| Ibaretama-CE           | 14,1       | 1,9       | 84        | 0,140          |
| Batalha-AL             | 27,5       | 11,5      | 61        | 0,280          |

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 3 – Atributos químicos dos solos presentes nas URTs

| pH                     | M.O                | P                   | K                   | Ca   | Mg   | H+Al                   | Al  | SB   | CTC  | V    |
|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------|------|------------------------|-----|------|------|------|
| CaCl <sub>2</sub>      | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |      |      | mmolc dm <sup>-3</sup> |     |      |      | %    |
| Carlos Chagas-MG       |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 5.0                    | 14.0               | 8.0                 | 5.1                 | 20.0 | 22.0 | 22.0                   | 1.0 | 47.0 | 69.0 | 68.0 |
| Fortuna-MA             |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.7                    | 23.0               | 10.0                | 0.8                 | 14.0 | 8.0  | 42.0                   | 5.0 | 23.0 | 65.0 | 53.0 |
| Ibaretama-CE           |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 5.1                    | 5.0                | 8.0                 | 2.0                 | 29.0 | 24.0 | 22.0                   | 0.0 | 55.0 | 77.0 | 71.0 |
| Itapetinga-BA          |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.9                    | 14.0               | 12.0                | 6M.2                | 26.0 | 31.0 | 31.0                   | 1.0 | 63.0 | 94.0 | 67.0 |
| Montes Claros-MG       |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 5.8                    | 25.0               | 8.0                 | 5.4                 | 41.0 | 13.0 | 22.0                   | 0.0 | 59.0 | 81.0 | 73.0 |
| Tenório-PB             |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 5.3                    | 5.0                | 13.3                | 1.8                 | 14.3 | 4.0  | 15.3                   | 0.7 | 20.3 | 35.6 | 56.6 |
| Baixa Grande-BA        |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.6                    | 7.0                | 4.0                 | 2.3                 | 11.0 | 6.0  | 22.0                   | 2.0 | 19.0 | 41.0 | 47.0 |
| São Raimundo Nonato-PI |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.9                    | 11.0               | 8.0                 | 3.3                 | 34   | 12   | 22.0                   | 1.0 | 49.0 | 71.0 | 69.0 |
| São João-PE            |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.8                    | 9.0                | 27.0                | 45.0                | 15.0 | 6.0  | 22.0                   | 1.0 | 26.0 | 48.0 | 54.0 |
| Batalha-AL             |                    |                     |                     |      |      |                        |     |      |      |      |
| 4.7                    | 7.0                | 24.0                | 4.2                 | 16.0 | 7.0  | 20.0                   | 5.0 | 27.0 | 47.0 | 58.0 |

M.O = Matéria Orgânica; SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para determinar a frequência de corte das gramíneas perenes em sequeiro foi levado em consideração o alcance da altura do pasto de 60; 40; 55; 50 cm para os capins búffel, piatã, massai e corrente, respectivamente, segundo recomendação da EMBRAPA. Para colheita da biomassa foi utilizada uma moldura de 0,50 x 0,50 m. Foram coletadas duas molduras por piquete com duas repetições. Todo o material acima de 20 cm da superfície do solo presente na moldura foi colhido, pesado, separado uma subamostra, pesado e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir peso constante, para a obtenção da biomassa pré-seca. A coleta do Sorgo foi realizado quando os grãos apresentaram ponto de silagem, ou seja, o momento em que as plantas estavam com grãos na consistência pastosa. Foi realizado o corte das três linhas centrais de duas parcelas a uma altura de 20 cm do solo. Em seguida, o material foi picado, uniformizado e separado uma subamostra e pesado. O material foi colocado em estufa de ventilação forçada a 55 °C por no mínimo três dias para obtenção do peso pré-seco.

Foram realizadas adubações anuais com 100 kg/ha de NPK (N: 8; P: 28; K: 16). Após cada corte foi realizada adubação de cobertura com adubo nitrogenado (ureia) na dose equivalente a 50 kg/ha.

### **2.3 Modelo da produção de biomassa**

Com os dados obtidos no campo, dados da planta (biomassa, cobertura vegetal, produção máxima, altura do dossel), comprimento de raiz (através de conhecimento empírico local) e obtidos da literatura (temperatura máxima, mínima e ótima; índice de área foliar - IAF, eficiência do uso da radiação - EUR)(Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8) e os dados climáticos gerados automaticamente pelo programa PHYGROW, a partir das informações de latitude e de longitude, foi estimada por meio deste programa a biomassa de forragem total de cada planta forrageira estudada dentro do intervalo das coletas realizadas no campo. Esses dados foram utilizados para parametrizar e calibrar o modelo.

Tabela 4 – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-buffel

| URT's                         | Capim  | IAF | EUR | T. Máx. | T. Ótima | T. Mín. | Citações |
|-------------------------------|--------|-----|-----|---------|----------|---------|----------|
| Baixa Grande-BA               |        | 3.5 | 2.7 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Carlos Chagas-MG              |        | 3   | 1.5 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Fortuna-MA                    |        | 3   | 2.1 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Ibaretama-CE                  |        | 3   | 2.1 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Itapetinga-BA                 | Buffel | 3   | 2.1 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Montes Claros-MG              |        | 3.2 | 2.1 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| São João-PE                   |        | 3   | 1.5 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| São R <sup>do</sup> Nonato-PI |        | 3   | 2   | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |
| Tenório-PB                    |        | 3   | 1.8 | 38°C    | 27°C     | 5°C     |          |

URT's = Unidades de Referência Tecnológica; IAF = Índice de Área Foliar; EUR = Eficiência de Uso da Radiação; T = Temperatura

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 5 – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-piatã

| URT's                         | Capim | IAF | EUR | T. Máx. | T. Ótima | T. Mín. | Citações |
|-------------------------------|-------|-----|-----|---------|----------|---------|----------|
| Baixa Grande-BA               |       | 4   | 2.2 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Carlos Chagas-MG              |       | 3.1 | 1.8 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Fortuna-MA                    |       | 3.2 | 1.8 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Ibaretama-CE                  |       | 3   | 3   | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Itapetinga-BA                 | Piatã | 3.5 | 2.1 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Montes Claros-MG              |       | 4   | 3   | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| São João-PE                   |       | 4.2 | 2.3 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| São R <sup>do</sup> Nonato-PI |       | 3.5 | 2.5 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Tenório-PB                    |       | 3.5 | 2   | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |
| Batalha-AL                    |       | 3.1 | 1.8 | 38°C    | 22°C     | 5°C     |          |

URT's = Unidades de Referência Tecnológica; IAF = Índice de Área Foliar; EUR = Eficiência de Uso da Radiação; T = Temperatura

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 6 – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-massai

| URT <sup>s</sup> | Capim  | IAF | EUR | T.<br>Máx. | T.<br>Ótima | T.<br>Mín. | Citações                                                                                                                      |
|------------------|--------|-----|-----|------------|-------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carlos Chagas-MG |        | 3.2 | 1.5 | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Fortuna-MA       |        | 2.5 | 2   | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Ibaretama-CE     |        | 2.5 | 2   | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Itapetinga-BA    |        | 2.5 | 1.6 | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Montes Claros-MG | Massai | 4.7 | 2.4 | 38°C       | 25°C        | 5°C        | ARAÚJO, 2012;<br>MORENO, 2004;<br>MARANHÃO, 2021;<br>RODRIGUES, 2004<br>EcoCrop e Global Leaf<br>Area Index Database<br>(FAO) |
| São João-PE      |        | 4.5 | 2   | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Tenório-PB       |        | 3.5 | 1.5 | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |
| Batalha-AL       |        | 4   | 1.7 | 38°C       | 25°C        | 5°C        |                                                                                                                               |

URT<sup>s</sup> = Unidades de Referência Tecnológica; IAF = Índice de Área Foliar; EUR = Eficiência de Uso da Radiação; T = Temperatura  
 Fonte: elaboração da própria autora.

Tabela 7 – Dados utilizados nas simulações das URTs para o capim-corrente

| URT <sup>s</sup> | Capim    | IAF | EUR | T.<br>Máx. | T.<br>Ótima | T.<br>Mín. | Citações                                                                          |
|------------------|----------|-----|-----|------------|-------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Baixa Grande-BA  |          | 2.5 | 2.1 | 38°C       | 23°C        | 5°C        | ZANCHI et. al.,<br>2009; EcoCrop<br>e Global Leaf<br>Area Index<br>Database (FAO) |
| Ibaretama-CE     |          | 2.5 | 2.1 | 38°C       | 23°C        | 5°C        |                                                                                   |
| Itapetinga-BA    | Corrente | 2.5 | 2.1 | 38°C       | 23°C        | 5°C        |                                                                                   |
| Montes Claros-MG |          | 2.5 | 2.1 | 38°C       | 23°C        | 5°C        |                                                                                   |
| Tenório-PB       |          | 2.5 | 2.1 | 38°C       | 23°C        | 5°C        |                                                                                   |

URT<sup>s</sup> = Unidades de Referência Tecnológica; IAF = Índice de Área Foliar; EUR = Eficiência de Uso da Radiação; T = Temperatura  
 Fonte: Elaboração própria da autora.

Tabela 8 – Dados utilizados nas simulações das URTs para o Sorgo Ponta Negra

| URT <sup>s</sup> | Capim | IAF | EUR | T.<br>Máx. | T.<br>Ótima | T.<br>Mín. | Citações                                                                                                                                            |
|------------------|-------|-----|-----|------------|-------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixa Grande-BA  | Sorgo | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       | ROSENTHAL et. al., 1993; KAITANIEMI et al., 2000; MAGALHÃES et. Al., 2008; BRAZ, 2005; RAMOS, 2014; EcoCrop e Global Leaf Area Index Database (FAO) |
| Carlos Chagas-MG |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| Fortuna-MA       |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| Ibaretama-CE     |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| Itapetinga-BA    |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| Montes Claros-MG |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| São João-PE      |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |
| Tenório-PB       |       | 5   | 4.9 | 38°C       | 29°C        | 11°C       |                                                                                                                                                     |

URT<sup>s</sup> = Unidades de Referência Tecnológica; IAF = Índice de Área Foliar; EUR = Eficiência de Uso da Radiação; T = Temperatura  
 Fonte: Elaboração própria da autora.

A versão do PHYGROW utilizada foi a PHYWEB 2.0, que funciona on-line. O programa é alimentado diariamente com dados da *Climate Hazards Group Infrared Precipitation* (CHIRPS), *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA), onde foram inseridos dados de vegetação (biomassa, cobertura vegetal), solo (textura de solo e fator de rocha) e pastejo (corte) para simular crescimento de cada planta forrageira, considerando o seu crescimento sob condições ótimas e sob condições de estresse hídrico e térmico (Stuth *et al.*, 2003; Angerer, 2012).

Os dados coletados nas unidades de referência tecnológica (URT<sup>s</sup>) foram utilizados para calibrar o modelo de estimativa da biomassa total. Inicialmente o procedimento de parametrização do modelo envolveu os dados de caracterização local e da biomassa vegetal colhida nas URT<sup>s</sup> para fins de geração do modelo (calibração). O modelo foi considerado calibrado quando a biomassa simulada apresentou um erro padrão da média de  $\pm 1$  em relação à biomassa de forragem total colhida nas URT<sup>s</sup> (FAO, 2012). Posteriormente foi realizado o download de 71 anos de biomassa.

Após a calibração foi avaliado o desempenho dos modelos por meio dos seguintes testes estatísticos:

a) Erro médio da previsão (viés, do inglês *bias*), que reflete a diferença normalizada entre os valores simulados pelo modelo e os valores colhidos conforme a equação (Andales *et al.*, 2005):

$$\text{BIAS (\%)} = \frac{Si - Oi}{N} \quad (1)$$

Onde:

BIAS = Erro médio da previsão

$O_i$  = valor observado

$S_i$  = valor simulado

b) Raiz quadrada do erro médio (RMSE), que é uma medida da magnitude média da diferença entre a simulação e os dados de biomassa colhida e simulada em  $\text{kg ha}^{-1}$  (Willmott, 1982), sendo calculado com base na equação 2, representada abaixo:

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

Onde:

RMSE = Raiz quadrada do erro médio

$O_i$  = valor observado

$S_i$  = valor simulado

c) Erro médio absoluto (MAE), que indica a diferença absoluta média entre os valores simulados e colhidos na série de pares de dados que estão sendo avaliados e é calculado com base na equação 3, representada abaixo (Legates; McCabe Jr., 1999):

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - E_i| \quad (3)$$

Onde:

MAE = erro médio absoluto

$O_i$  = valor observado

$E_i$  = valor estimado

d) Índice de concordância de Willmott, que varia de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando boas previsões do modelo (Willmott, 1981; Willmott *et al.*, 1985). Foi calculado com base na equação 4, representada abaixo:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (4)$$

Onde:

$d$  = índice de concordância de Willmott

$O_i$  = valor observado

$E_i$  = valor estimado

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

Os testes estatísticos para avaliação do desempenho do modelo foram realizados com auxílio do software (versão 7) e apresentados por meio de métodos gráficos e numéricos com o auxílio do software sigma plot (versão 11.0).

## 2.4 Método de Monte Carlo

Para essa etapa do trabalho foi utilizada a série histórica de 71 anos (1950-2021) de biomassa de cada cultura forrageira estimada pelo PHYGROW e foi selecionado o maior valor de biomassa de cada ano para cada cultura forrageira. Essas séries de 71 anos foram submetidas ao @RISK®, componente do DecisionTools Suite 8.0.0 package (Palisade Corporation, 2020), onde foi identificada a função densidade de probabilidade (teste de aderência) que descreveu melhor o comportamento da variável, pelo teste do qui-quadrado.

Com o intuito de minimizar o erro natural das estimativas e possibilitar novos valores prováveis de biomassa contemplados pela função, foram geradas 3 séries sintéticas de 1000 dados ainda no software @RISK®. Cada nova série sintética gerada recebe uma nova seed, ou semente aleatória, número utilizado para identificar e distinguir e possibilitar novos números na série sintética (Metropolis; Ulam, 1949).

## 2.5 Garantia natural

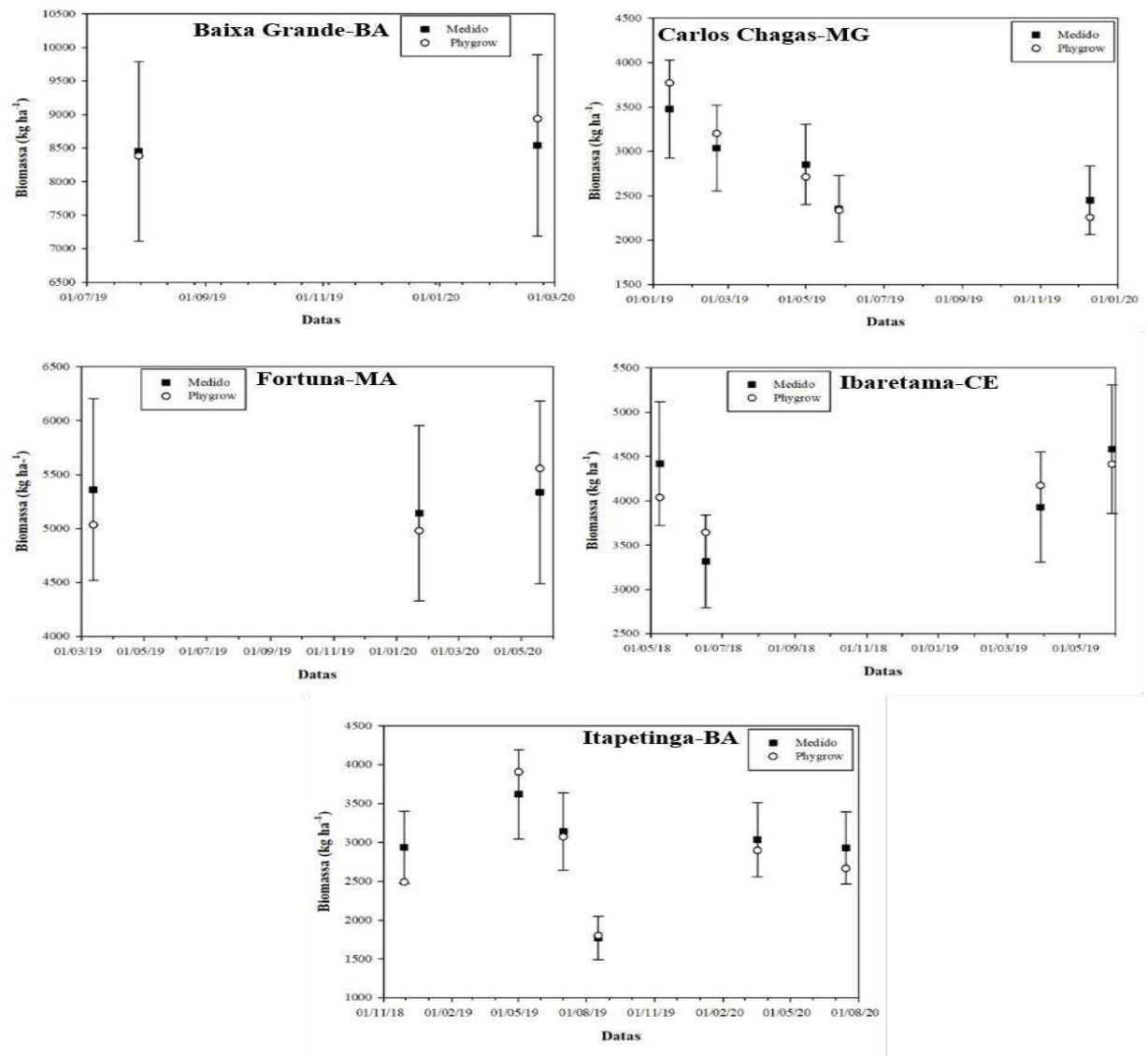
Após os passos já descritos foi aplicado o conceito de garantia, adaptado de Silva *et al.*, (2013) que é a base para o Sistema de Garantia do Balanceamento de Forragem. Essa proposta demonstra a capacidade do sistema em estabilizar o suprimento de alimentos ao longo dos anos, mesmo diante da variação natural da biomassa em resposta ao ambiente. Portanto, essa biomassa é associada a um nível de garantia (probabilidade). Com esses níveis de garantia, realizaram-se cálculos de regressão entre os níveis de garantia observados e a respectiva biomassa de forragem com o auxílio do software SigmaPlot (11.0).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Capim-buffel

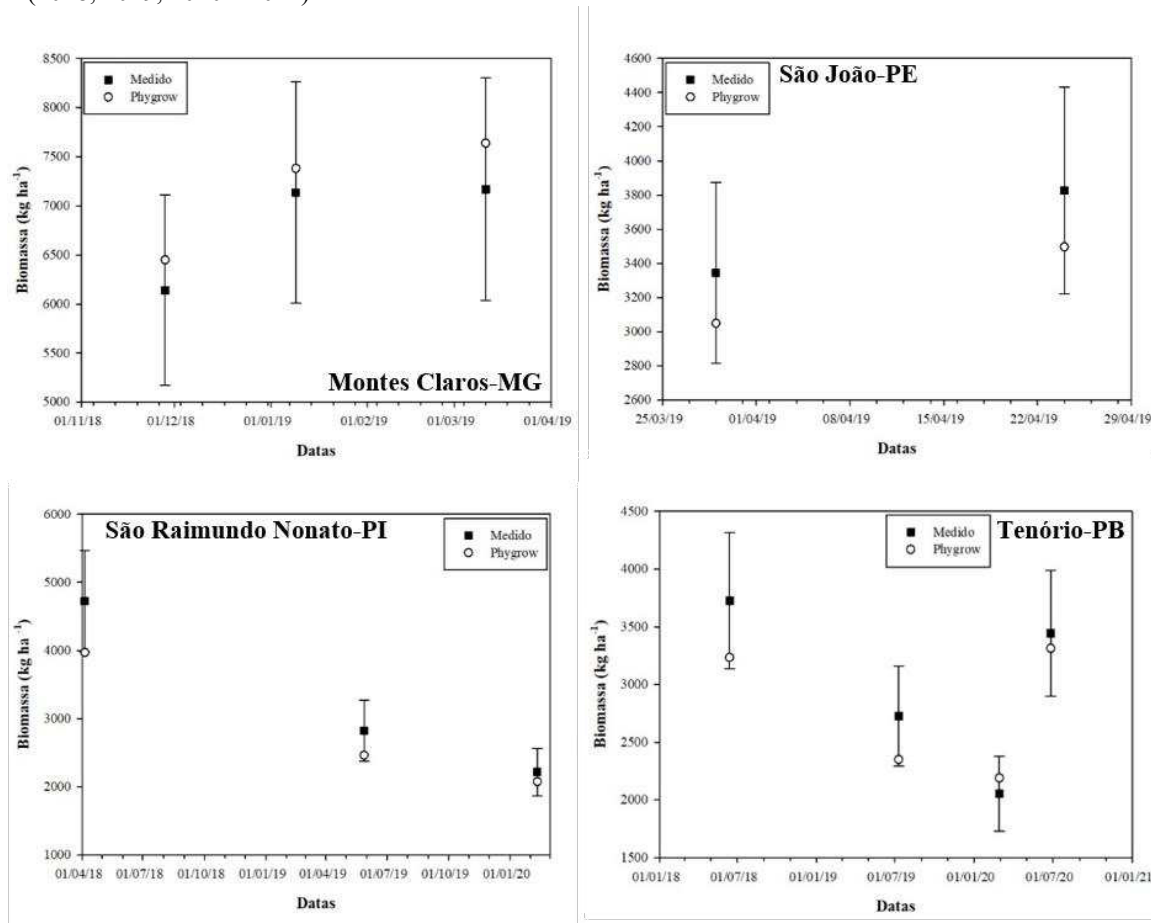
As simulações das biomassas do capim-buffel proveniente das URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB estão apresentadas nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Simulação de biomassa do capim-buffel, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 5 - Simulação de biomassa do capim-buffel, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

A biomassa de forragem total média colhida nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB foi de  $8496,87 \pm 63,25$ ;  $2833,44 \pm 456,52$ ;  $5279,77 \pm 119,51$ ;  $4062,79 \pm 568,44$ ;  $2906,29 \pm 612,35$ ;  $6815,75 \pm 583,91$ ;  $3585,37 \pm 341,28$ ;  $3257 \pm 1305,75$ ;  $2987,05 \pm 750,99 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Por sua vez, a biomassa de forragem total média estimada nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB foi de  $8662,29 \pm 391,41$ ;  $2855,55 \pm 633,82$ ;  $5191,33 \pm 318,41$ ;  $4067,75 \pm 322,44$ ;  $2806,64 \pm 695,87$ ;  $7157,25 \pm 625,86$ ;  $3273,49 \pm 315,94$ ;  $2839,46 \pm 999,53$ ;  $2772,71 \pm 583,35 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Os valores estimados foram superiores aos observados nas URTs Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Montes Claros-MG e foram inferiores nas URTs de Fortuna-MA, Itapetinga-BA, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB.

De acordo com Willmott *et al.*, (2012) e Camargo e Sentelhas (1997), pode-se considerar como ótimas as simulações para Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, todas com o índice maior que 0,85 (tabela 9); muito boas a simulação para Ibaretama-CE, com índice de 0,85; boa a simulação realizada para a URT de São João-PE, com índice de 0,72, sofrível a simulação para Fortuna-MA, com índice de 0,55 e péssima a de Baixa Grande-BA, com índice de 0,37 (Tabela 9). O índice de concordância de Willmott varia de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando boas previsões do modelo.

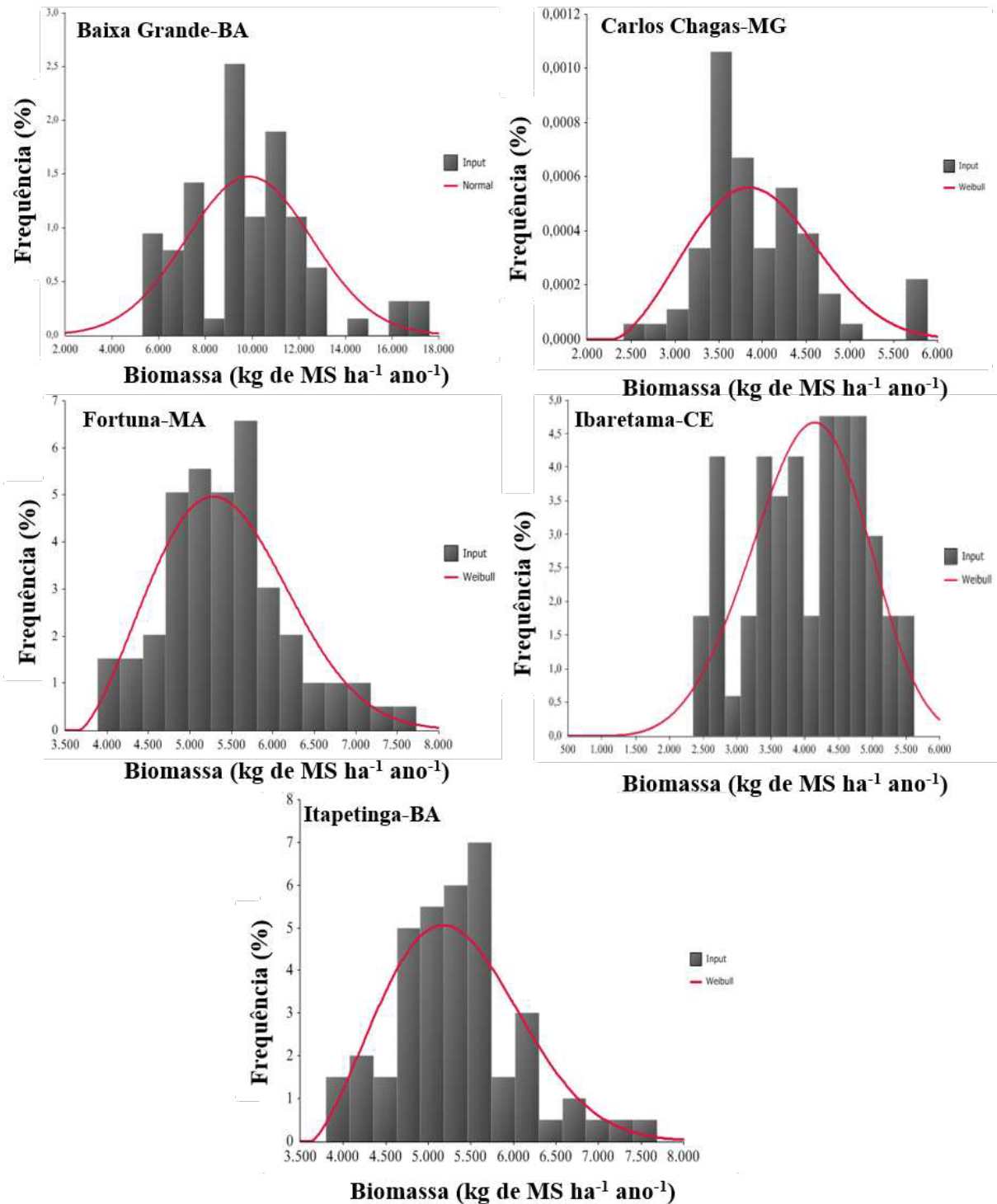
Tabela 9 - Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-buffel

| URT                    | Parâmetros Estatísticos    |                                                          |                                                  |                    |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                        | Erro médio da previsão (%) | Raiz quadrada do erro médio (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Erro médio absoluto (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Índice de Willmott |
| Baixa Grande-BA        | 1,95                       | 284,97                                                   | 232,05                                           | 0,37               |
| Carlos Chagas-MG       | 0,76                       | 184,94                                                   | 161,99                                           | 0,96               |
| Fortuna-MA             | -1,68                      | 245,90                                                   | 236,25                                           | 0,55               |
| Ibaretama-CE           | 0,12                       | 291,05                                                   | 279,91                                           | 0,85               |
| Itapetinga-BA          | -3,43                      | 250,98                                                   | 206,16                                           | 0,95               |
| Montes Claros-MG       | 5,01                       | 354,49                                                   | 341,5                                            | 0,88               |
| São João-PE            | -8,70                      | 312,39                                                   | 311,88                                           | 0,72               |
| São Raimundo Nonato-PI | -12,82                     | 488,36                                                   | 417,69                                           | 0,93               |
| Tenório-PB             | -7,18                      | 322,55                                                   | 282,81                                           | 0,92               |

Fonte: Elaboração própria da autora.

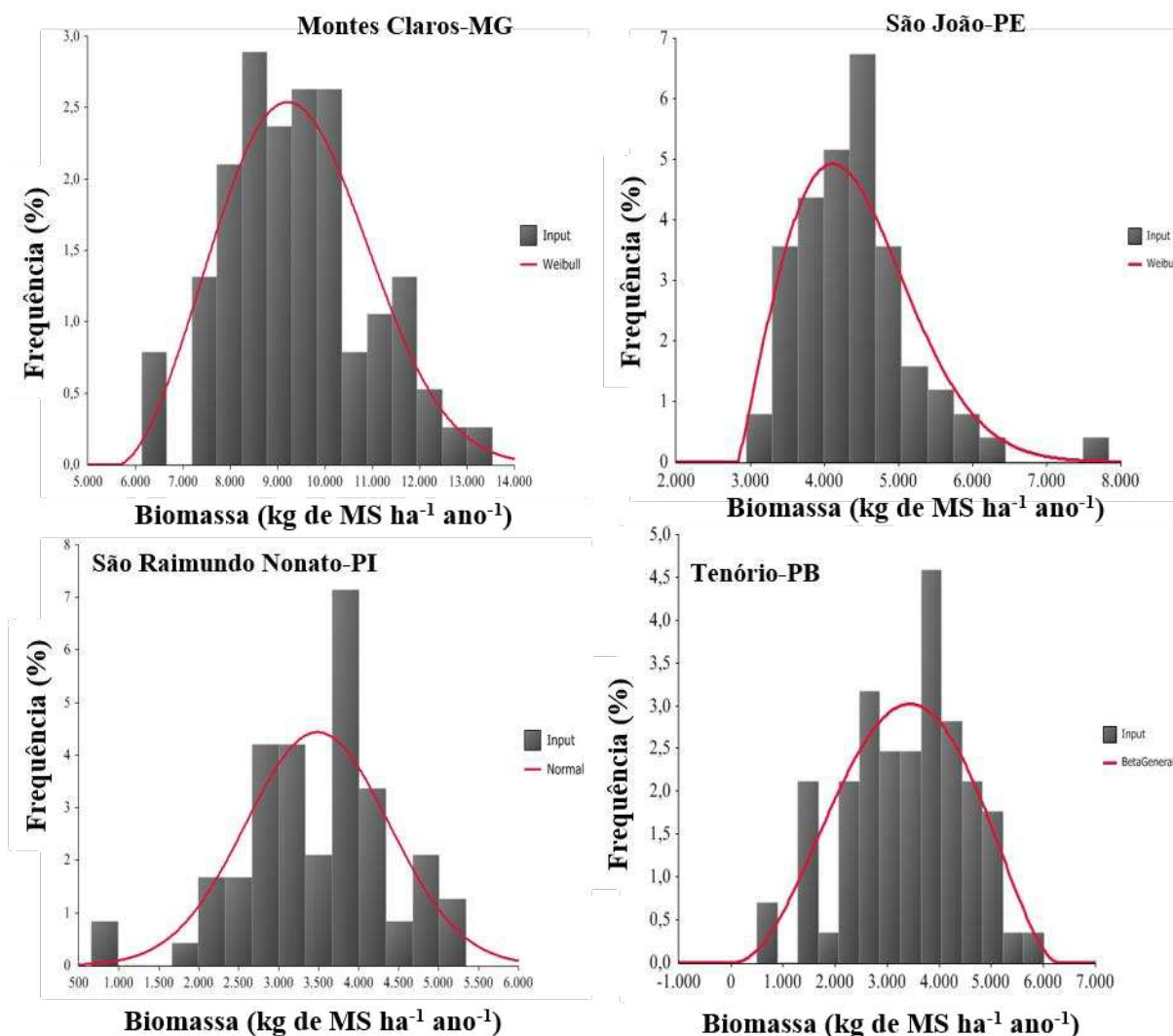
As funções que melhor se ajustam foram a Normal, Weibull e BetaGeneral em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-BA, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB com um valor no teste de qui-quadrado de 11,6111; 13,5556; 8,2778; 3,8333; 6,0556; 6,8889; 9,9444; 9,9859; 8,8333, respectivamente.

Figura 6 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-buffel em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA. Linha vermelha função Normal ou Weibull, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 7 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-búffel em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB. Linha vermelha função Normal, Weibull ou BetaGeneral e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-búffel em Baixa Grande-BA com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana 9.869,979; 9.869,979 e 9.869,979 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 6).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-búffel em Carlos Chagas-MG com assimetria positiva (0,3101), com média, moda e mediana de 3.989,178; 3.845,364 e 3.913,168 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,4000) (Figura 6).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-buffel em Fortuna-MA com assimetria positiva (0,3804), com média, moda e mediana de 5.440,579; 5.281,840 e 5.389,098 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8789) (Figura 6).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-buffel em Ibaretama-CE com assimetria negativa (-0,1310), com média, moda e mediana de 4.046,770; 4.145,967 e 4.073,142 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7731) (Figura 6).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-buffel em Itapetinga-BA com assimetria positiva (0,3989), com média, moda e mediana de 4.046,770; 4.145,967 e 4.073,142 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8989) (Figura 6).

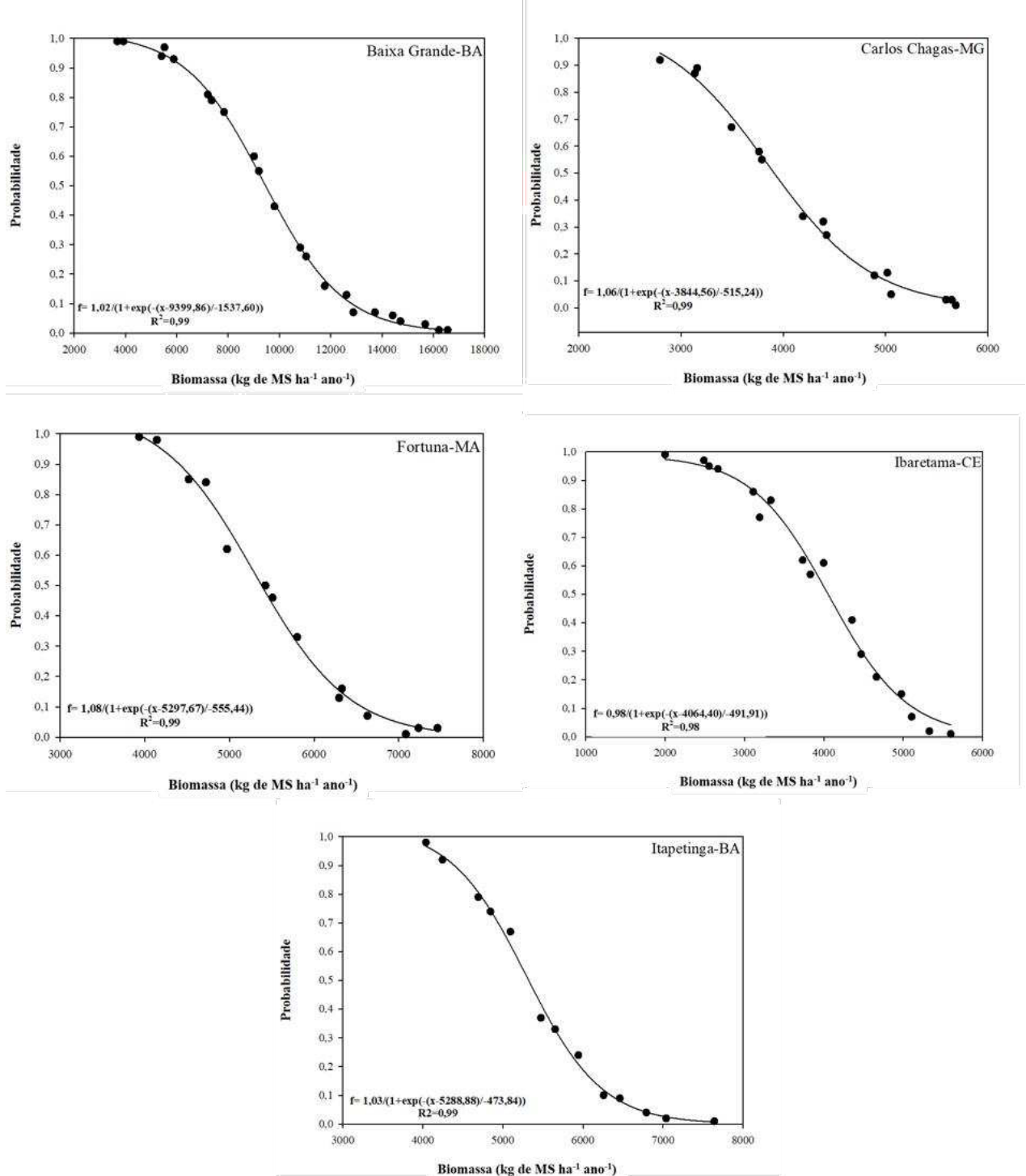
A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-buffel em Montes Claros-MG com assimetria positiva (0,2748), com média, moda e mediana de 9.407,109; 9.209,458 e 9.338,521 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7861) (Figura 7).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-buffel em São João-PE com assimetria positiva (0,6001), com média, moda e mediana de 4.401,406; 4.109,279 e 4.313,262 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,1888) (Figura 7).

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-buffel em São Raimundo Nonato-PI com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 3.482,5273; 3.482,5273 e 3.482,5273 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 7).

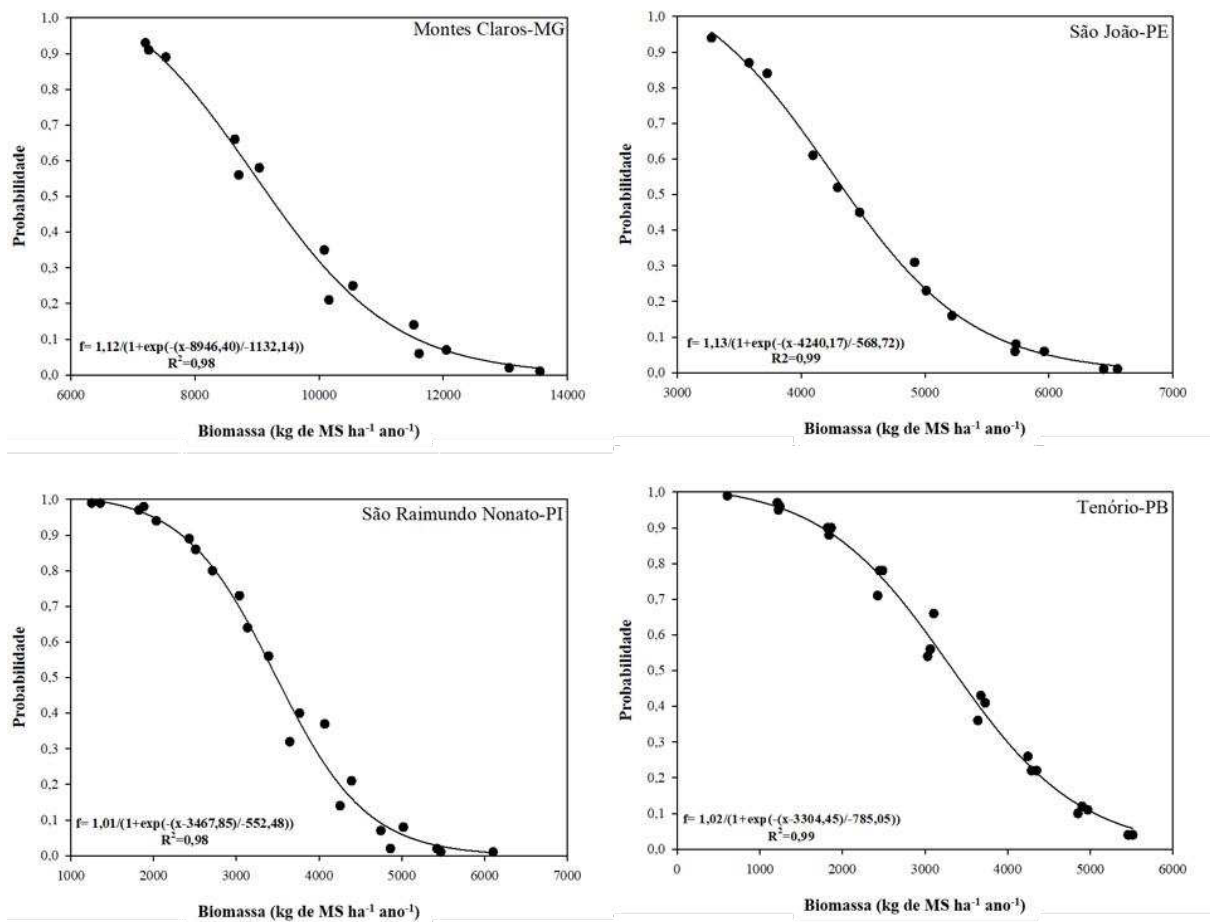
A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-buffel em Tenório-PB com assimetria negativa (-0,0784), com média, moda e mediana de 3.341,314; 3.432,223 e 3.362,989 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,3515) (Figura 7).

Figura 8 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-buffel em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 9 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-buffel em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB



Fonte: Elaboração própria da autora.

Em Baixa Grande-BA, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer biomassa de 12812,11 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 95% de garantia uma biomassa de 5389,85 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com 50% de garantia terá uma biomassa de 9460,17 (Figura 8).

Em Carlos Chagas-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma biomassa de 5009,90 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2733,70 Kg ha<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3902,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 8). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim buffel pode produzir 2795,34 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Fortuna-MA, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6565,40 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4192,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5380,11 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 8). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 3935,35 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Ibaretama-CE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5134,17 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2364,71 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4044,32 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 8). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 1998,29 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Itapetinga-BA houve pouca variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6345,55 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4116,38 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5316,49 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 8). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 4037, kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Montes Claros-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 11575,67 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 6998,37 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 9189,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 9). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 7202,80 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em São João-PE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5566,51 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3294,10 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4371,61 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 9). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 3276,79 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

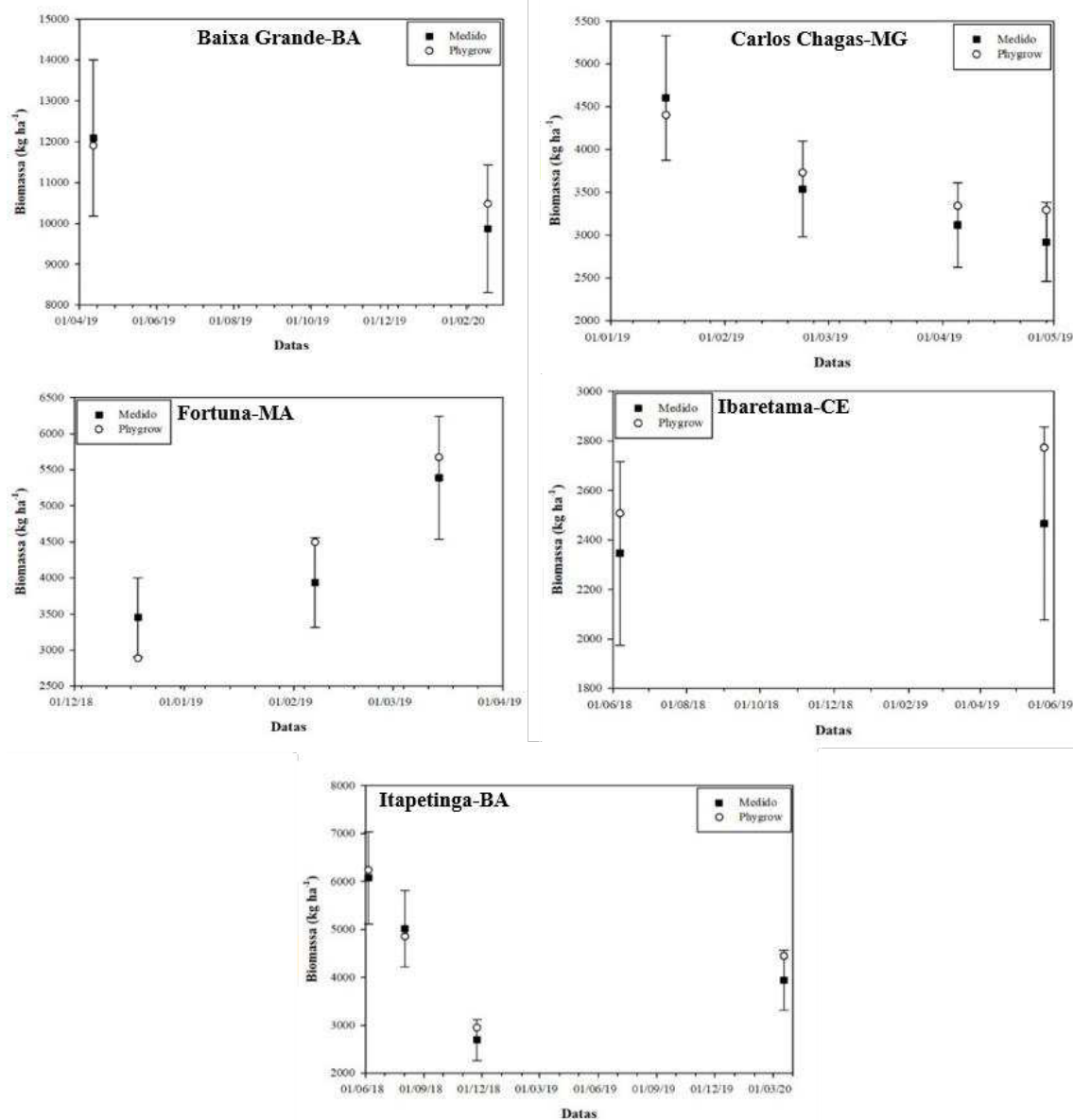
Em São Raimundo Nonato-PI, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 4687,88 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 1941,83 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3478,78 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 9). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim búffel pode produzir 1254,52 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Tenório-PB houve grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5046,64 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 1257,07 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3335,24 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 9). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 606,41 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

### 3.2 Capim-piatã

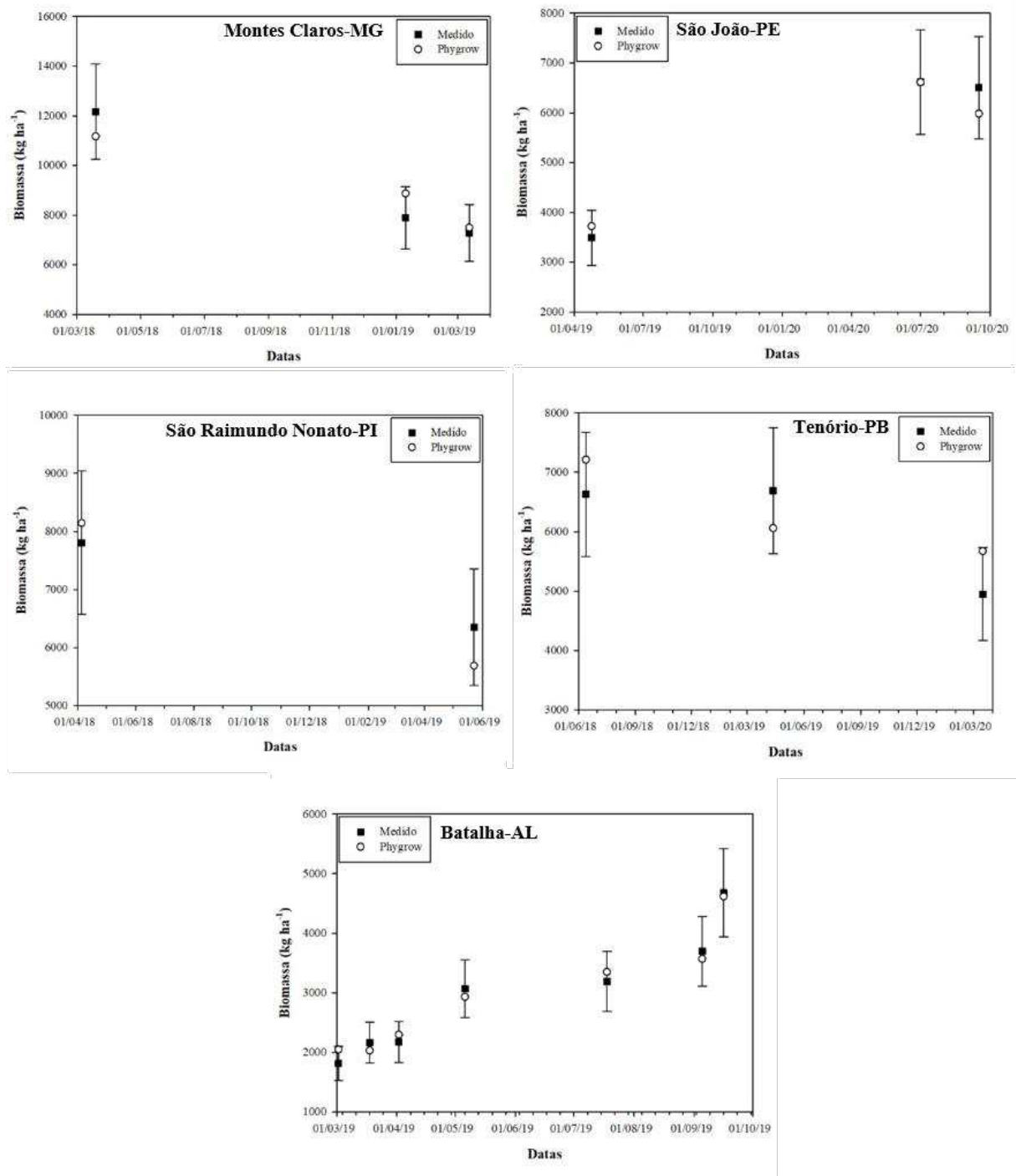
As simulações das biomassas do capim-piatã proveniente das URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB e Batalha-AL estão na figura 10 e 11.

Figura 10 - Simulação de biomassa do capim-piatã, expressa em  $\text{Kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 11 - Simulação de biomassa do capim-piatã, expressa em Kg ha<sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Batalha-AL. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

A biomassa de forragem total média colhida nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Batalha-AL foi de  $10979,92 \pm 1569,80$ ;  $3544,10 \pm 751,52$ ;  $4258,82 \pm 1006,54$ ;  $2406 \pm 84,84$ ;  $4431,8 \pm 1448,48$ ;  $9112,07 \pm 2661,17$ ;

5536,07  $\pm$  1774,15; 7080,10  $\pm$  1028,26; 6089,59  $\pm$  986,18; 2970,78  $\pm$  1008,91 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por sua vez a biomassa de forragem total média estimada nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Batalha-AL foi de 11192,11  $\pm$  1011,87; 3692,13  $\pm$  513,17; 4353,42  $\pm$  1397,85; 2640,30  $\pm$  187,42; 4623,45  $\pm$  1351,24; 9182,99  $\pm$  1854,11; 5440,12  $\pm$  1522,41; 6919,50  $\pm$  1735,98; 6316,89  $\pm$  800,56; 2980,25  $\pm$  948,40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os valores estimados foram superiores aos observados nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB, Batalha-AL.

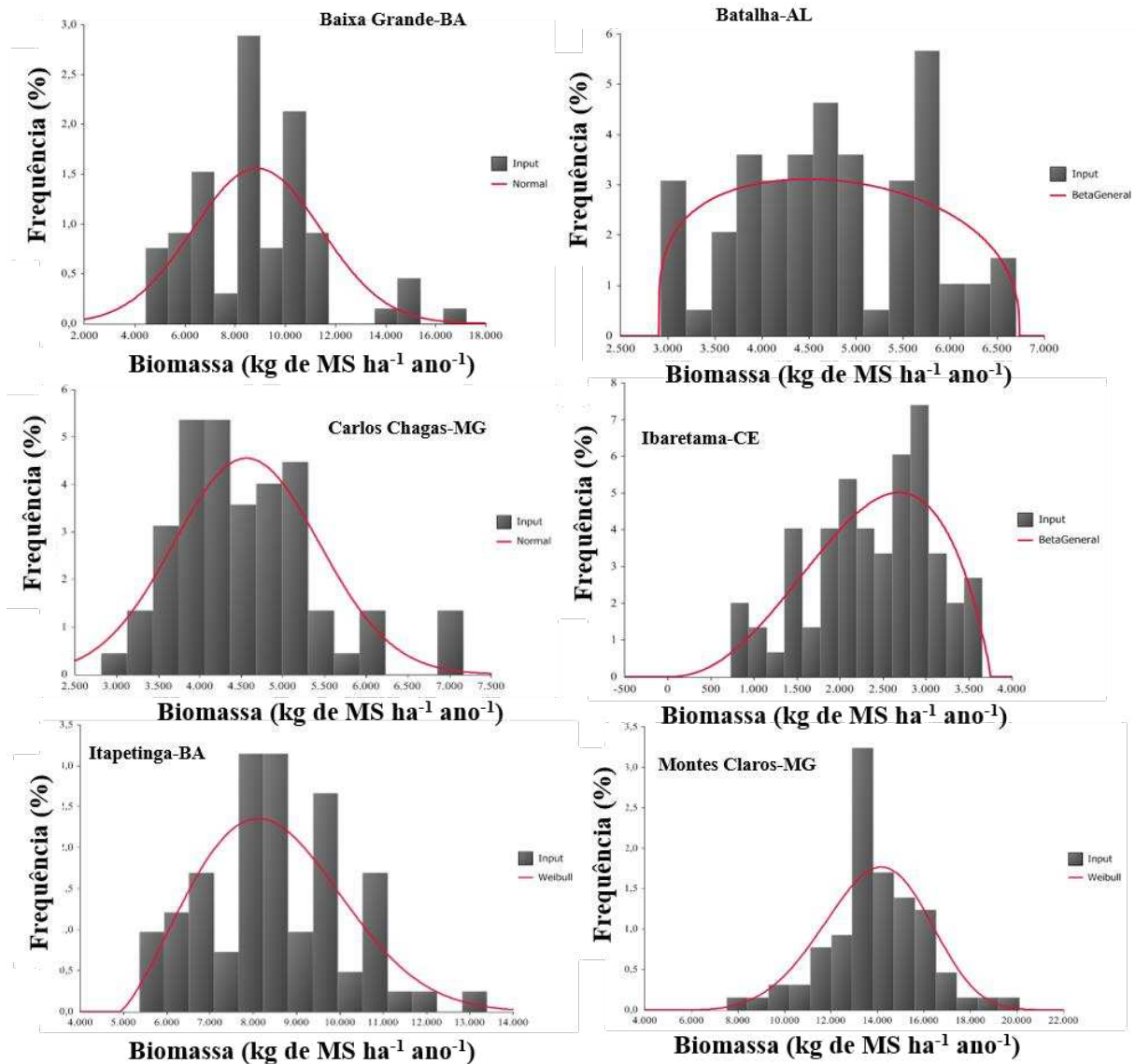
Segundo Willmott *et al.*, (2012) e Camargo e Sentelhas (1997), as simulações foram ótimas para Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Fortuna-MA, todos com o índice maior que 0,88. Muito bom para Tenório-PB com índice de 0,77. O ajuste do modelo para Ibaretama-CE foi classificado como mau, com índice de 0,42, sendo que uma das razões para esta baixa acurácia foi o número reduzido de dados utilizados e possíveis falhas no processo de amostragem.

Tabela 10 - Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-piatã

| URT                    | Parâmetros Estatísticos    |                                                          |                                                  |                    |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                        | Erro médio da previsão (%) | Raiz quadrada do erro médio (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Erro médio absoluto (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Índice de Willmott |
| Baixa Grande-BA        | 1,93                       | 447,96                                                   | 394,52                                           | 0,94               |
| Batalha-AL             | 0,32                       | 146,19                                                   | 137,9                                            | 0,99               |
| Carlos Chagas-MG       | 4,18                       | 258,52                                                   | 247,49                                           | 0,94               |
| Ibaretama-CE           | 9,74                       | 245,26                                                   | 234,3                                            | 0,42               |
| Itapetinga-BA          | 4,32                       | 306,23                                                   | 272,28                                           | 0,98               |
| Montes Claros-MG       | 0,78                       | 817,18                                                   | 733,06                                           | 0,95               |
| São João-PE            | -1,73                      | 329,73                                                   | 251,93                                           | 0,98               |
| São Raimundo Nonato-PI | -2,27                      | 525,56                                                   | 500,43                                           | 0,92               |
| Tenório-PB             | 3,73                       | 647,08                                                   | 644,44                                           | 0,77               |
| Fortuna-MA             | 2,22                       | 489,76                                                   | 471,72                                           | 0,93               |

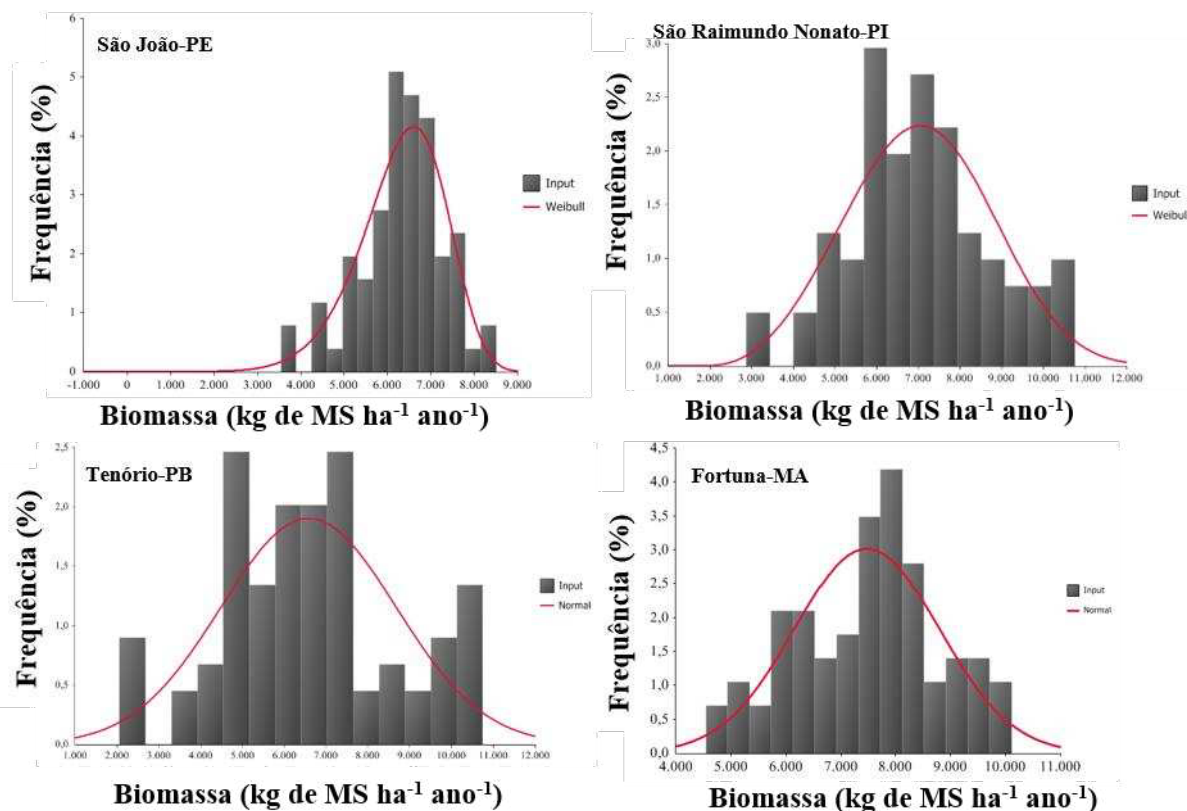
Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 12 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-piatã em Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG. Linha vermelha função Normal, Weibull ou BetaGeneral e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 13 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-piatã em 1-São João-PE, 2-São Raimundo Nonato-PI, 3-Tenório-PB, 4-Fortuna-MA. Linha vermelha Normal ou Weibull, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Os dados foram submetidos ao método de Monte Carlo, realizando os testes de aderência, identificação da função densidade de probabilidade e geração das séries sintéticas. Assim, identificou-se as funções que melhor descreveram a distribuição dos dados das culturas (histórico do PHYGROW), pelo teste de qui-quadrado (Figura 12 e 13).

As funções que melhor se ajustam foram a Normal, Weibull e BetaGeneral em Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-BA, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Fortuna-MA com um valor no teste de qui-quadrado de 14,6667; 5,2222; 7,4444; 3,7887; 14,6667; 12,1667; 2,7222; 6,8889; 12,7222; 5,5000, respectivamente.

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Baixa Grande-BA com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana 8.869,060; 8.869,060 e 8.869,060 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 12).

A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Batalha-AL com assimetria positiva (0,0724), com média, moda e mediana 4.733,627; 4.479,344 e 4.709,772 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (1,9475) (Figura 12).

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Carlos Chagas-MG com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 4.559,3931; 4.559,3931 e 4.559,3931 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 12).

A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Ibaretama-CE com assimetria negativa (-0,3805), com média, moda e mediana de 2.375,100; 2.685,404 e 2.442,980 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,4599) (Figura 12).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Itapetinga-BA com assimetria positiva (0,4357), com média, moda e mediana de 8.504,960; 8.103,587 e 8.377,814 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,9421) (Figura 12).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Montes Claros-MG com assimetria negativa (-0,1608), com média, moda e mediana de 13.861,403; 14.159,320 e 13.943,038 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7943) (Figura 12).

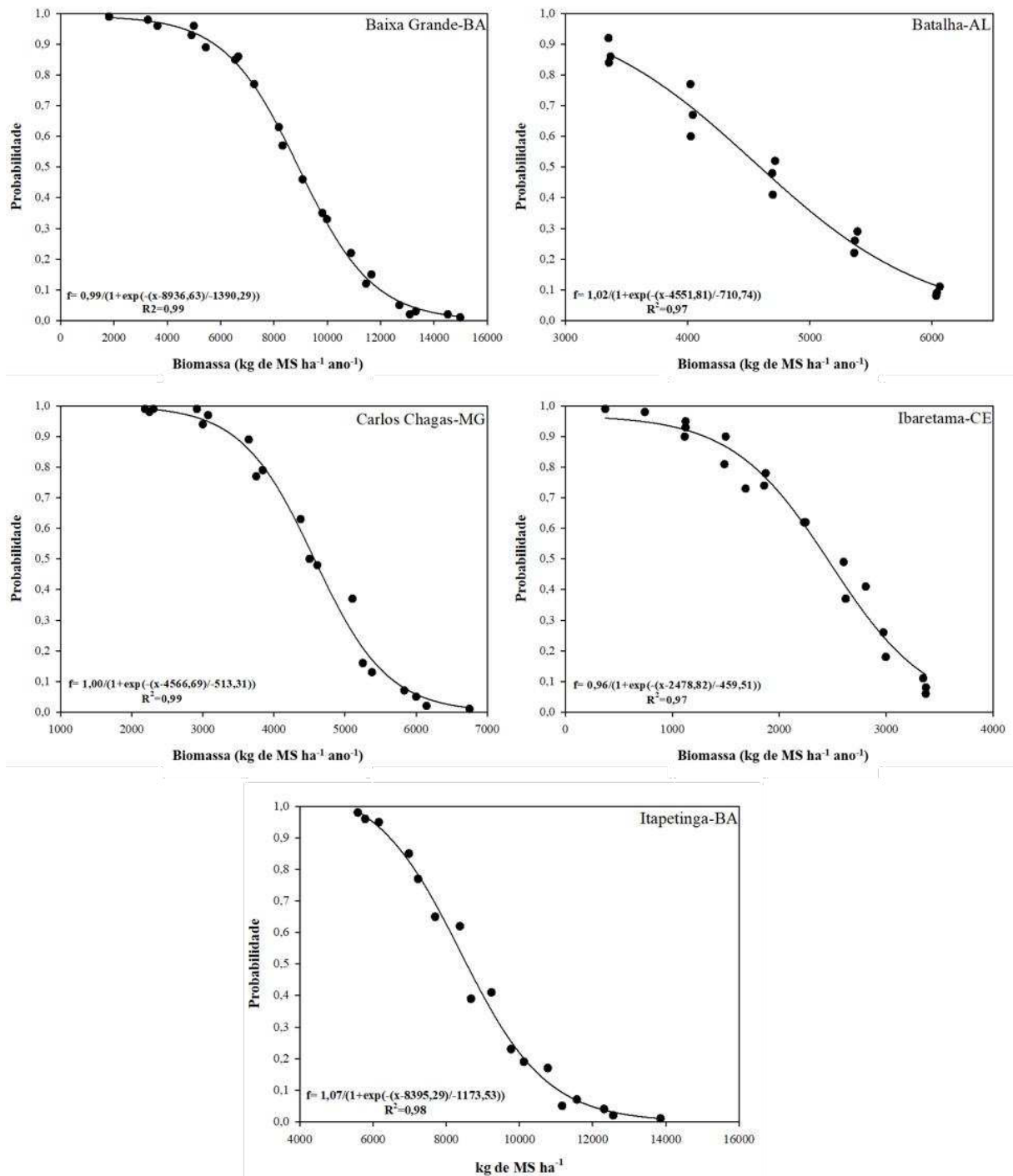
A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-piatã em São João-PE com assimetria negativa (-0,5032), com média, moda e mediana de 6.317,345; 6.602,022 e 6.408,567 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,2644) (Figura 13).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-piatã em São Raimundo Nonato-PI com assimetria positiva (0,0705), com média, moda e mediana de 7.045,416; 7.049,610 e 7.035,980 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7106) (Figura 13).

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Tenório-PB com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 6.577,780; 6.577,780 e 6.577,780 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 13).

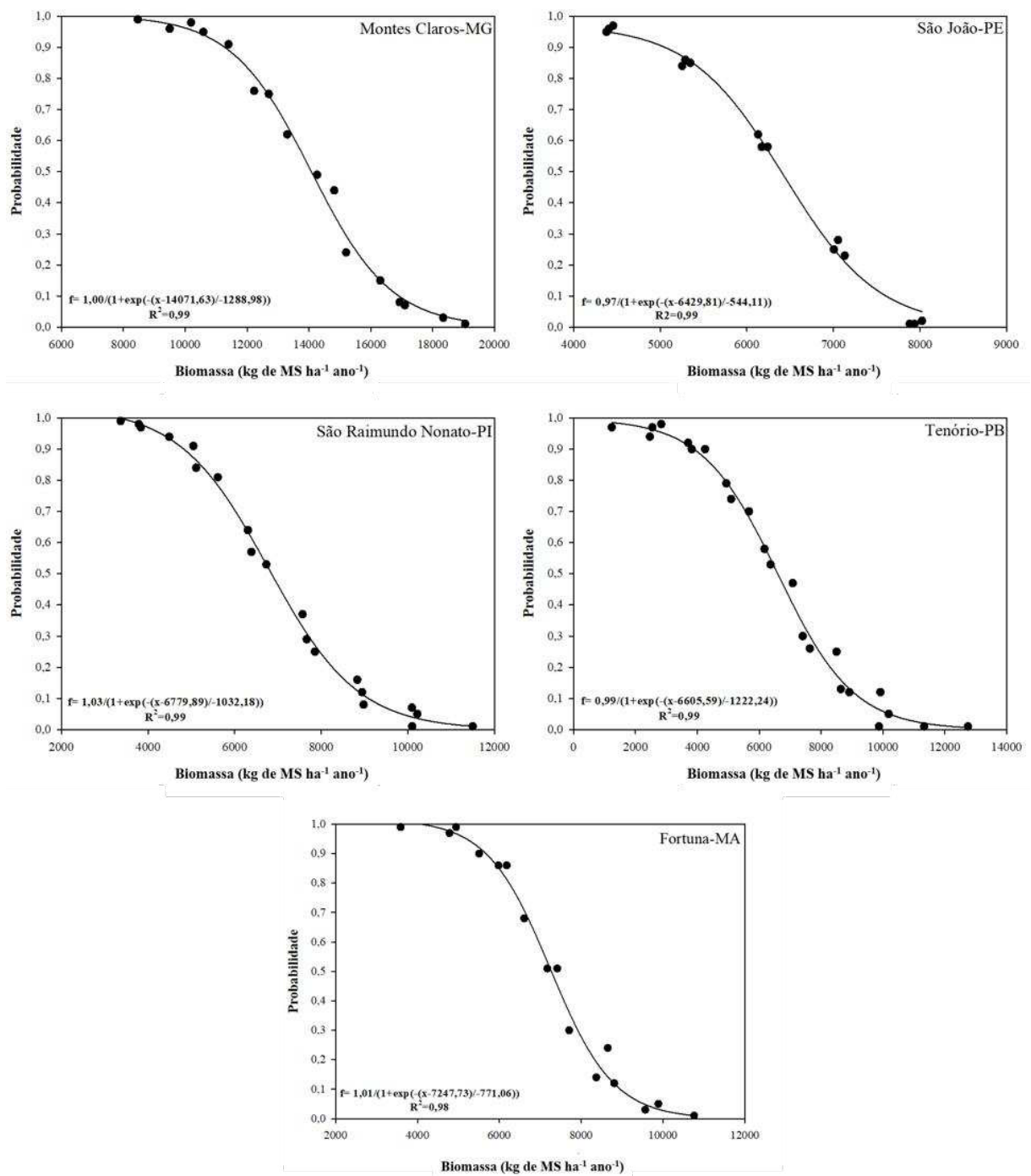
A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-piatã em Fortuna-MA com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 7.470,627; 7.470,627 e 7.470,627 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 13).

Figura 14 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-piatã em Baixa Grande-BA, Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 15 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-piatã em Montes Claros-MG, São João-PE, São Raimundo Nonato-PI, Tenório-PB, Fortuna-MA



Fonte: Elaboração própria da autora.

Em Baixa Grande-BA houve uma grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 11975,87 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 95% de garantia uma produção de 4532,76 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com 50% de garantia terá uma produção de 8908,53 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 14).

Em Batalha-AL, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6129,09 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2698,23 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4579,69 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 14). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 1771,38 Kg ha<sup>-1</sup>.

Em Carlos Chagas-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5694,55 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3055,28 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4566,69 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 14). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 2187,11 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Ibaretama-CE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 3467,58 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 386,27 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 2440,50 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 14). Então, na pior das hipóteses, vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 371,79 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Itapetinga-BA houve pouca variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 11061,70 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 5967,28 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 8549,06 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 14). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 5582,93 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Montes Claros-MG com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 16903,81 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 10276,31 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 14071,63 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 15). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 8467,74 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em São João-PE com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 7606,90 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4329,15 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 6396,13 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 15). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 4378,44 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em São Raimundo Nonato-PI com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 9081,67 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4225,83 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de

6840,02 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 15). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 3366,16 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

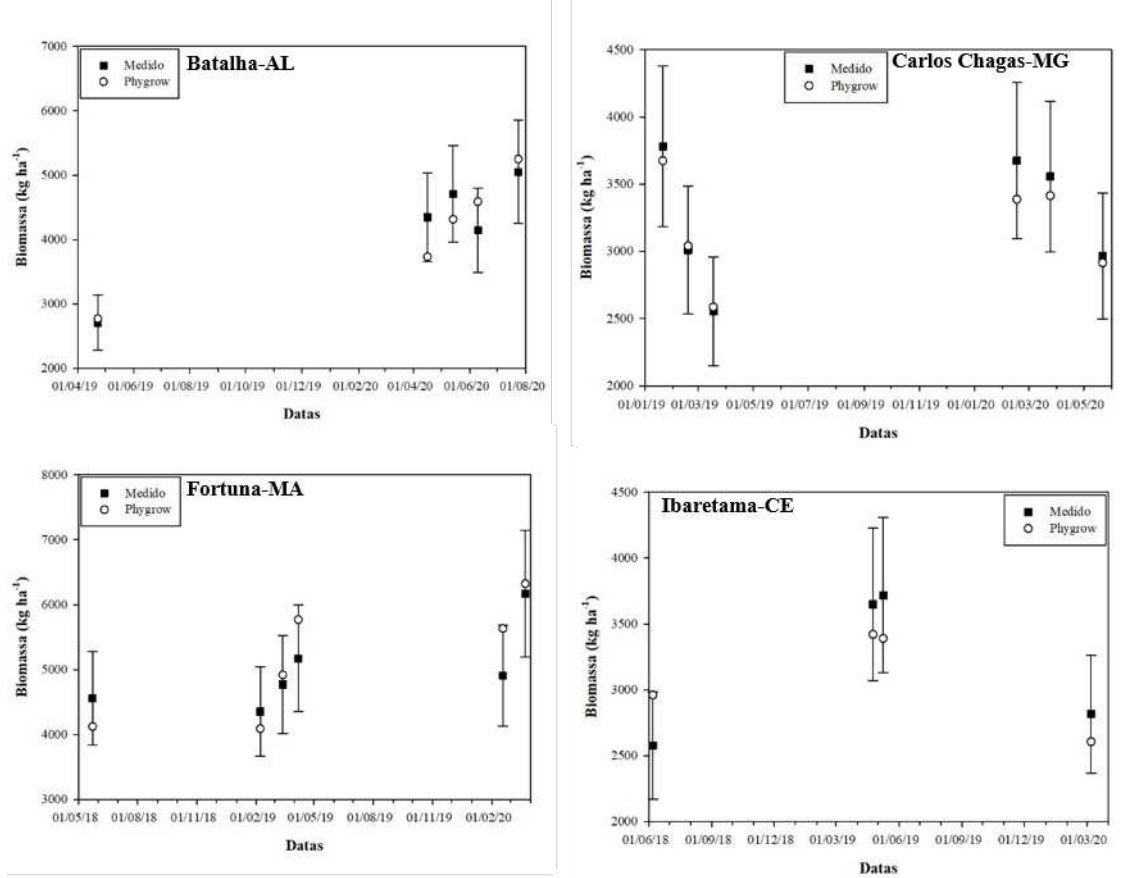
Em Tenório-PB houve grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 9277,47 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2734,03 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 6580,90 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 15). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-piatã pode produzir 1234,30 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Fortuna-MA, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8950,43 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 5117,96 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 7262,99 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 15). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-buffel pode produzir 3587,84 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Quando se diz pior das hipóteses é o menor valor de biomassa usado na garantia, supondo que esse valor é 100% de garantia ou próximo a 100%.

### **3.3 Capim-massai**

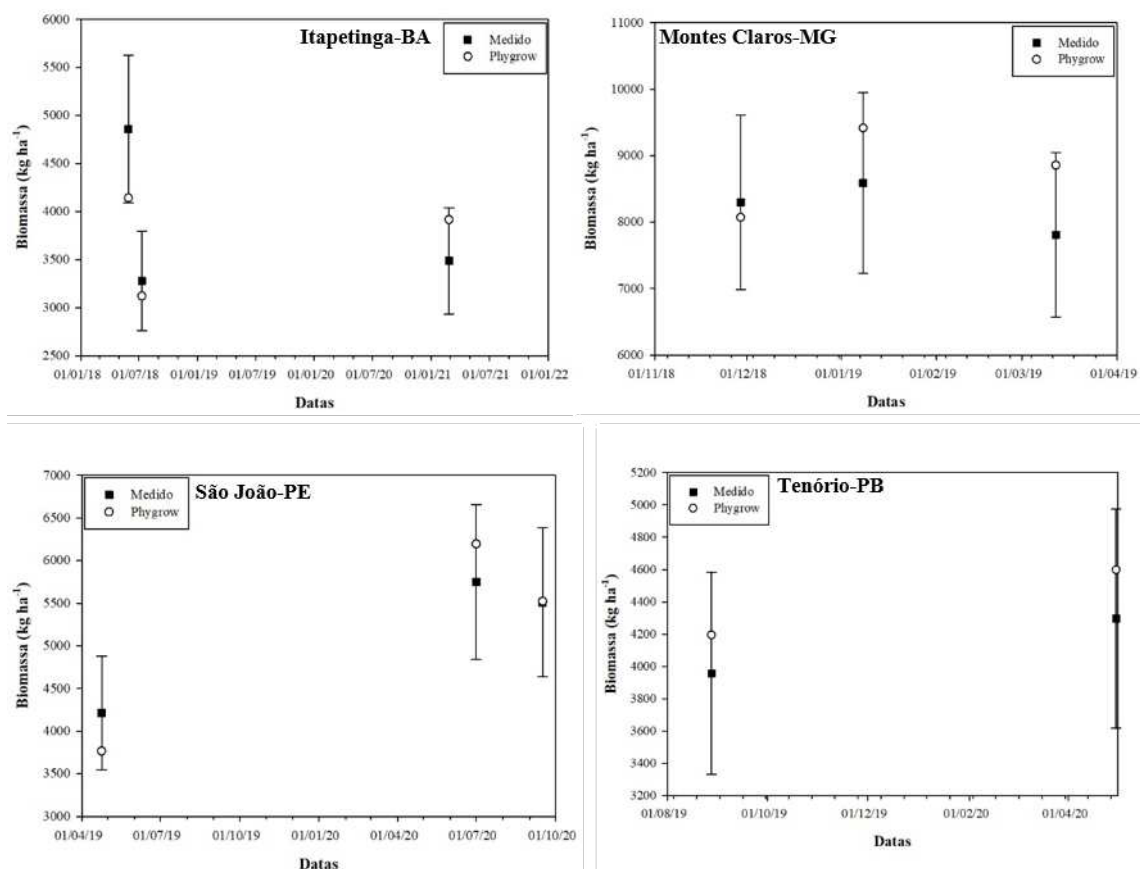
As simulações das biomassas do capim-massai proveniente das URTs de Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB estão na figura 16 e 17.

Figura 16 - Simulação de biomassa do capim-massai, expressa em  $\text{Kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 17 - Simulação de biomassa do capim-massai, expressa em Kg ha<sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

A biomassa de forragem total média colhida nas URTs de Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB foi de  $4193,18 \pm 899,22$ ;  $3256,92 \pm 485,23$ ;  $4991,52 \pm 641,35$ ;  $3190,74 \pm 578,59$ ;  $3874,87 \pm 858,47$ ;  $8232,75 \pm 393,95$ ;  $5158,47 \pm 824,89$ ;  $4127,66 \pm 239,96$  Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por sua vez a biomassa de forragem total média estimada nas URTs de Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB foi de  $4132,16 \pm 935,86$ ;  $3170,08 \pm 395,67$ ;  $5145,59 \pm 918,35$ ;  $3095,08 \pm 387,56$ ;  $3727,03 \pm 536,29$ ;  $8782,22 \pm 675,20$ ;  $5162,39 \pm 1254,64$ ;  $4397,48 \pm 284,96$  Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os valores estimados foram superiores aos observados nas URTs de Fortuna-MA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB.

Segundo Willmott *et al.*, (2012) e Camargo e Sentelhas (1997), as simulações foram ótimas para Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Ibaretama-CE, Fortuna-MA e São João-PE. Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE todos com o índice maior que 0,85.

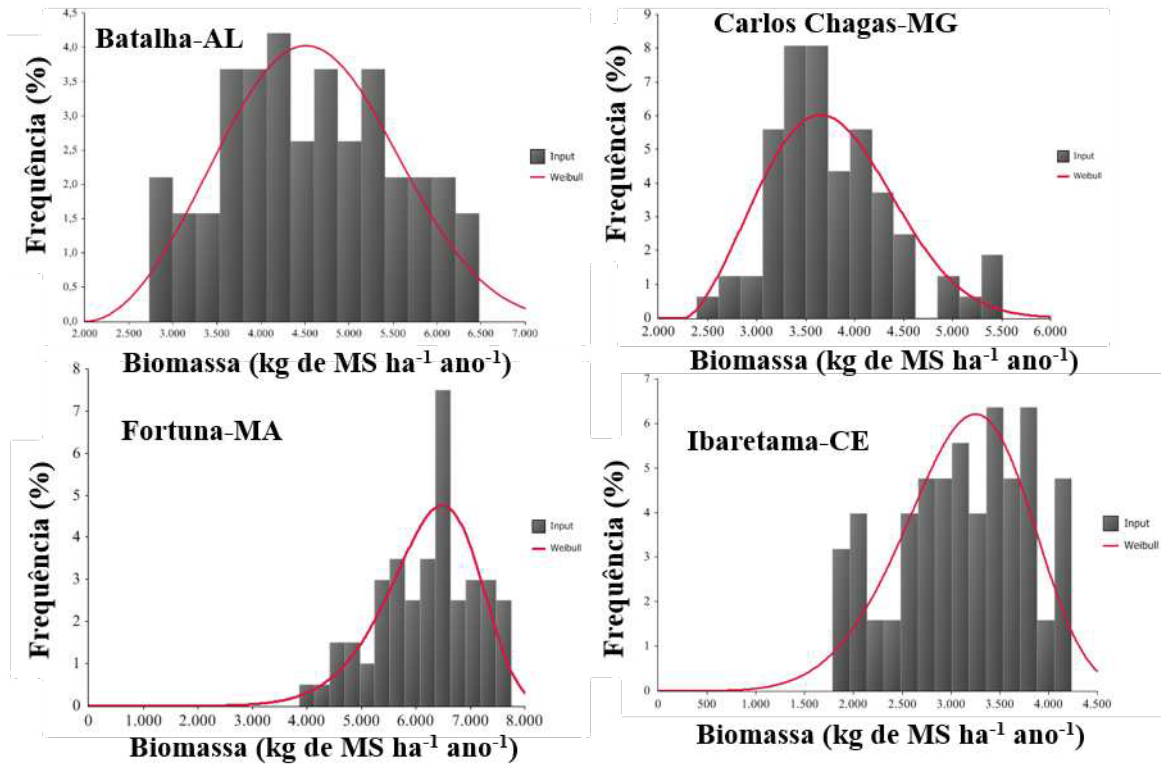
Muito bom para Itapetinga-BA com índice de 0,79. Bom para Tenório-PB com índice de 0,68. Mau para Montes Claros-MG com índice de 0,47.

Tabela 11 - Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-massai

| URTs             | Parâmetros Estatísticos          |                                                                |                                                        | Índice Willmott |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|
|                  | Erro médio da<br>previsão<br>(%) | Raiz quadrada<br>do erro médio<br>(kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Erro médio<br>absoluto<br>(kg de MS ha <sup>-1</sup> ) |                 |
| Baixa Grande-BA  | -1,46                            | 393,27                                                         | 342,58                                                 | 0,94            |
| Carlos Chagas-MG | -2,67                            | 140,32                                                         | 108,30                                                 | 0,96            |
| Fortuna-MA       | 3,09                             | 444,09                                                         | 387,18                                                 | 0,90            |
| Ibaretama-CE     | -3,00                            | 295,96                                                         | 287,24                                                 | 0,86            |
| Itapetinga-BA    | -3,82                            | 490,45                                                         | 434,16                                                 | 0,79            |
| Montes Claros-MG | 6,67                             | 781,76                                                         | 700,65                                                 | 0,47            |
| São João-PE      | 0,08                             | 366,53                                                         | 303,28                                                 | 0,95            |
| Tenório-PB       | 6,54                             | 271,67                                                         | 269,80                                                 | 0,68            |

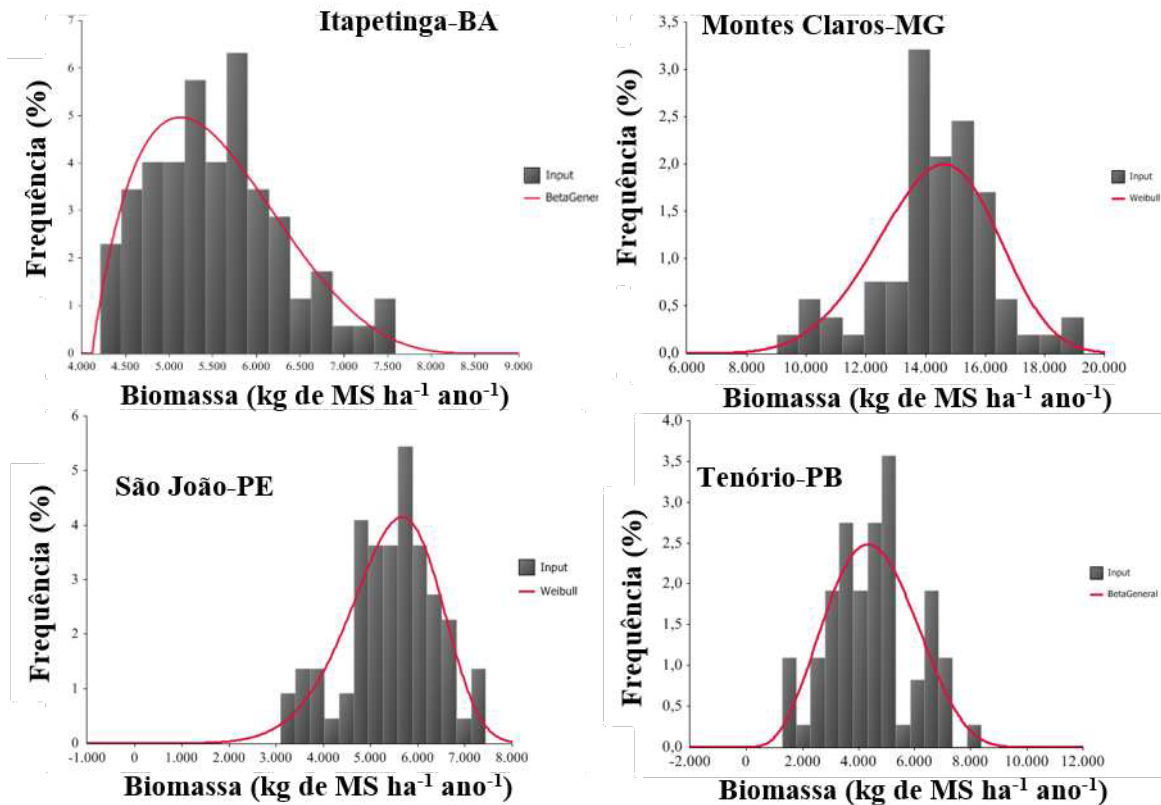
Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 18 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-massai em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Linha vermelha função Weibull, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 19 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-massai em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB. Linha vermelha função Weibull ou BetaGeneral, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Os dados foram submetidos ao método de Monte Carlo, realizando os testes de aderência, identificação da função densidade de probabilidade e geração das séries sintéticas. Assim, identificou-se as funções que melhor descreveram a distribuição dos dados das culturas (histórico do PHYGROW), pelo teste de qui-quadrado (Figura 18 e 19).

As funções que melhor se ajustaram foram Weibull e BetaGeneral em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibareta-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB com um valor no teste de qui-quadrado de 4,0704; 5,2222; 7,7222; 3,0000; 3,2728; 12,7222; 13,0845; 9,9444, respectivamente.

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em Batalha-AL com assimetria positiva (0,1852), com média, moda e mediana 4,576,458; 4.509,148 e 4549, 795 kg de MS h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7360) (Figura 18).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em Carlos Chagas-MG com assimetria positiva (0,3486), com média, moda e mediana de 3.767,519;

3.651,222 e 3.729,184 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8472) (Figura 18).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em Fortuna-MA com assimetria negativa (-0,5582), com média, moda e mediana de 6.217,274; 6.486,118 e 6.875,715 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,3808) (Figura 18).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em Ibaretama-CE com assimetria negativa (-0,2918), com média, moda e mediana de 3.120,550; 3.248,159 e 3.158,516 kg MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,9238) (Figura 18).

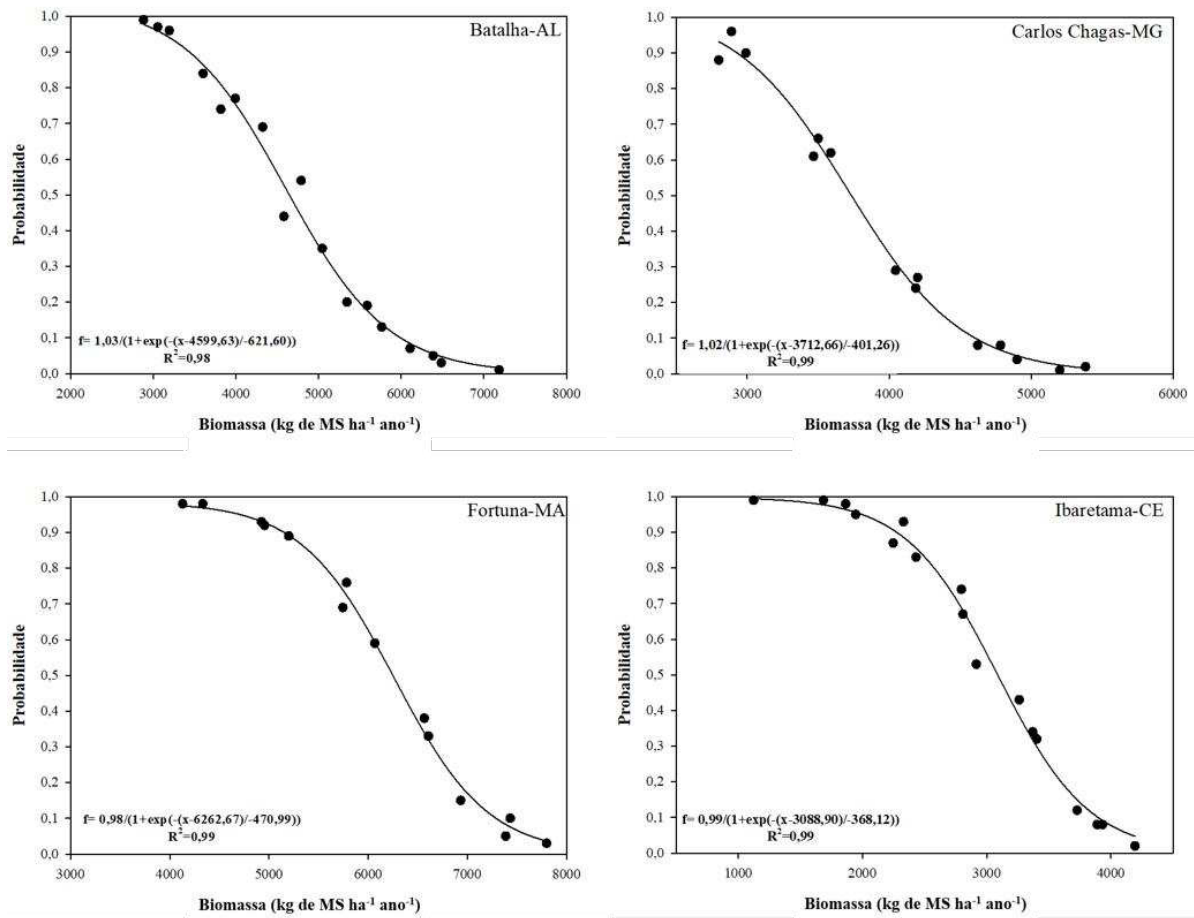
A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-massai em Itapetinga-BA com assimetria positiva (0,5206), com média, moda e mediana de 5.517,320; 5.125,605 e 5.424,427 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,7097) (Figura 19).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em Montes Claros-MG com assimetria negativa (-0,1958), com média, moda e mediana de 14.302,027; 14.601,919 e 14.386,754 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8229) (Figura 19).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o capim-massai em São João-PE com assimetria negativa (-0,4188), com média, moda e mediana de 5.416,412; 5.665,480 e 5.494,213 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,1086) (Figura 19).

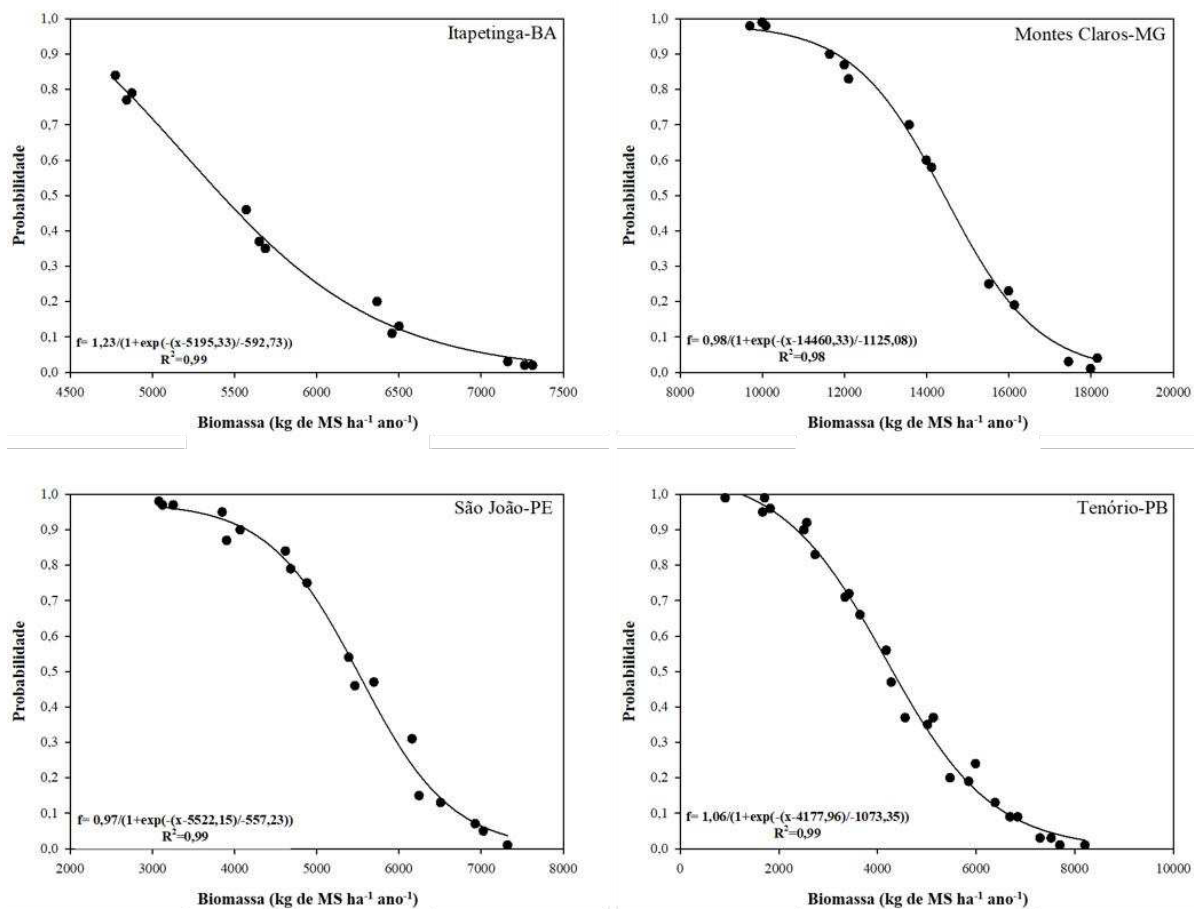
A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-massai em Tenório-PB com assimetria positiva (0,1303), com média, moda e mediana de 4.479,89; 4.334,80 e 4.439,49 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,5718) (Figura 19).

Figura 20 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-massai em Batalha-AL, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 21 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-massai em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB



Fonte: Elaboração própria da autora.

A partir dessas séries que já foram citadas investigou-se a garantia natural que é a biomassa modelada e associada a um dado nível de garantia. Com estes resultados, a estimativa da produção vegetal alcança um novo patamar, pelo fato de trazer uma associação de probabilidade ao sistema. De outra maneira, a probabilidade associada permite analisar os riscos da produção animal baseada em pastagem, ou seja, para aquela maior garantia de produção de biomassa, o efetivo animal deverá ser menor e seu inverso é verdadeiro (Figura 20 e 21).

Em Batalha-AL, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5985,81 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3061,51 Kg ha<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4635,85 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 20).

Em Carlos Chagas-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 4603,14 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma

produção de 2666,19 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3728,40 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 20). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 2800,53 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Fortuna-MA, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 7286,96 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4635,27 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 6243,43 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 20). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 4129,4152 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Ibaretama-CE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 3893,63 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 1922,85 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3081,45 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 20). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 1123,64 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Itapetinga-BA houve pouca variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6632,57 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção 4471,21 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5419,63 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 21). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 4774,73 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Montes Claros-MG com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 16907,1 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 10572,87 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 14414,39 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 21). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 9693,65 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

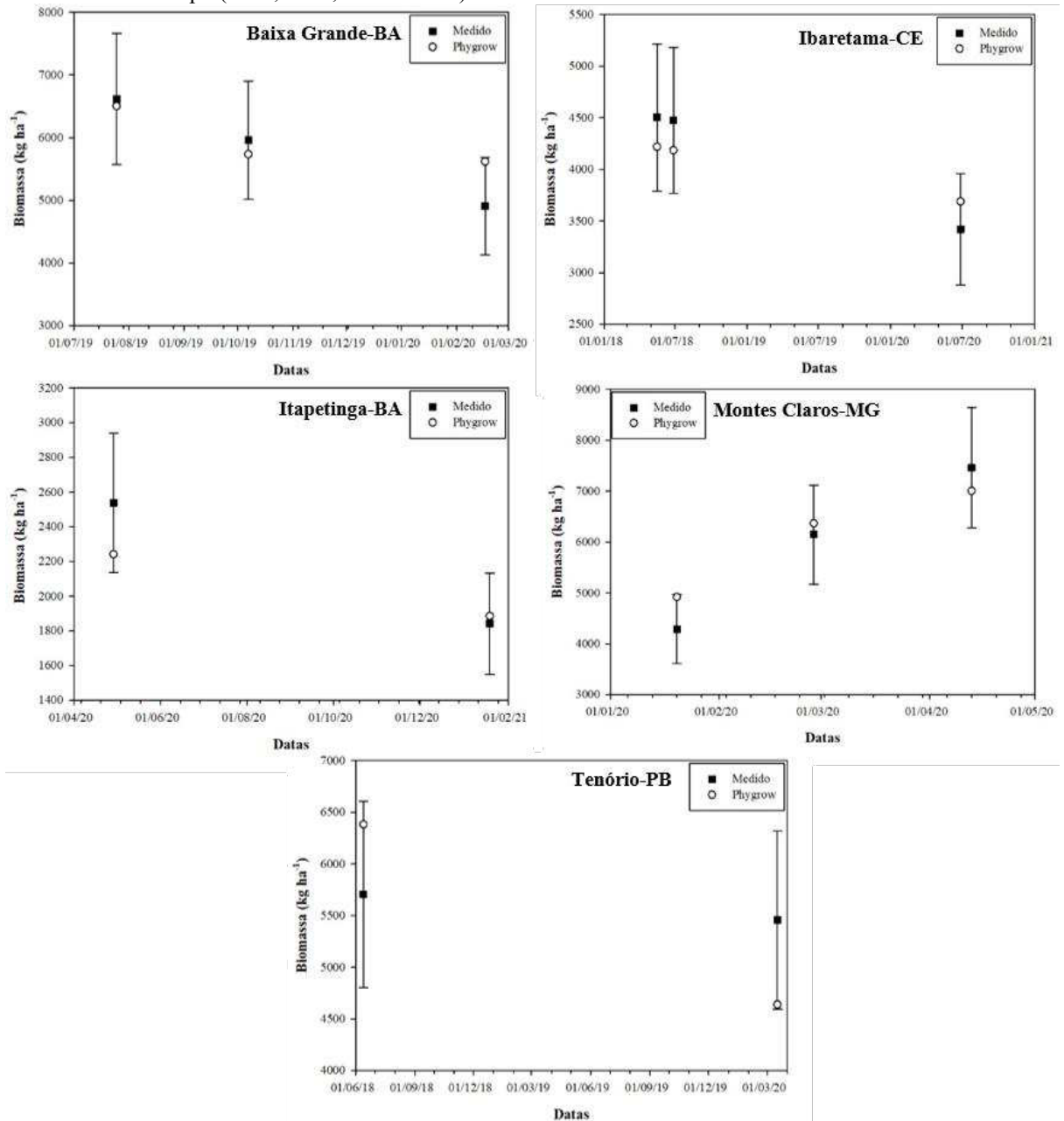
Em São João-PE com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6727,62 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3370,84 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5487,66 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 21). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 3078,87 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Tenório-PB houve grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 6605,61 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 1863,84 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4299,59 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 21). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-massai pode produzir 911,86 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

### 3.4 Capim-corrente

As simulações das biomassas do capim-corrente proveniente das URTs de Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB constam na figura 22.

Figura 22 - Simulação de biomassa do capim-corrente, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

A biomassa de forragem total média colhida nas URTs de Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros e Tenório-PB foi de  $5829,12 \pm 859,99$ ;  $4132,47 \pm 616,12$ ;  $2191,25 \pm 492,56$ ;  $5967,65 \pm 1595,35$ ;  $5581,15 \pm 175,64$  Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por sua vez a biomassa de forragem total média estimada nas URTs de Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros e Tenório-PB foi de  $5955,49 \pm 480,80$ ;  $4032,63 \pm 296,57$ ;  $2064,94 \pm 252,03$ ;  $6098,67 \pm 1069,59$ ;  $5511,97 \pm 1232,11$  kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

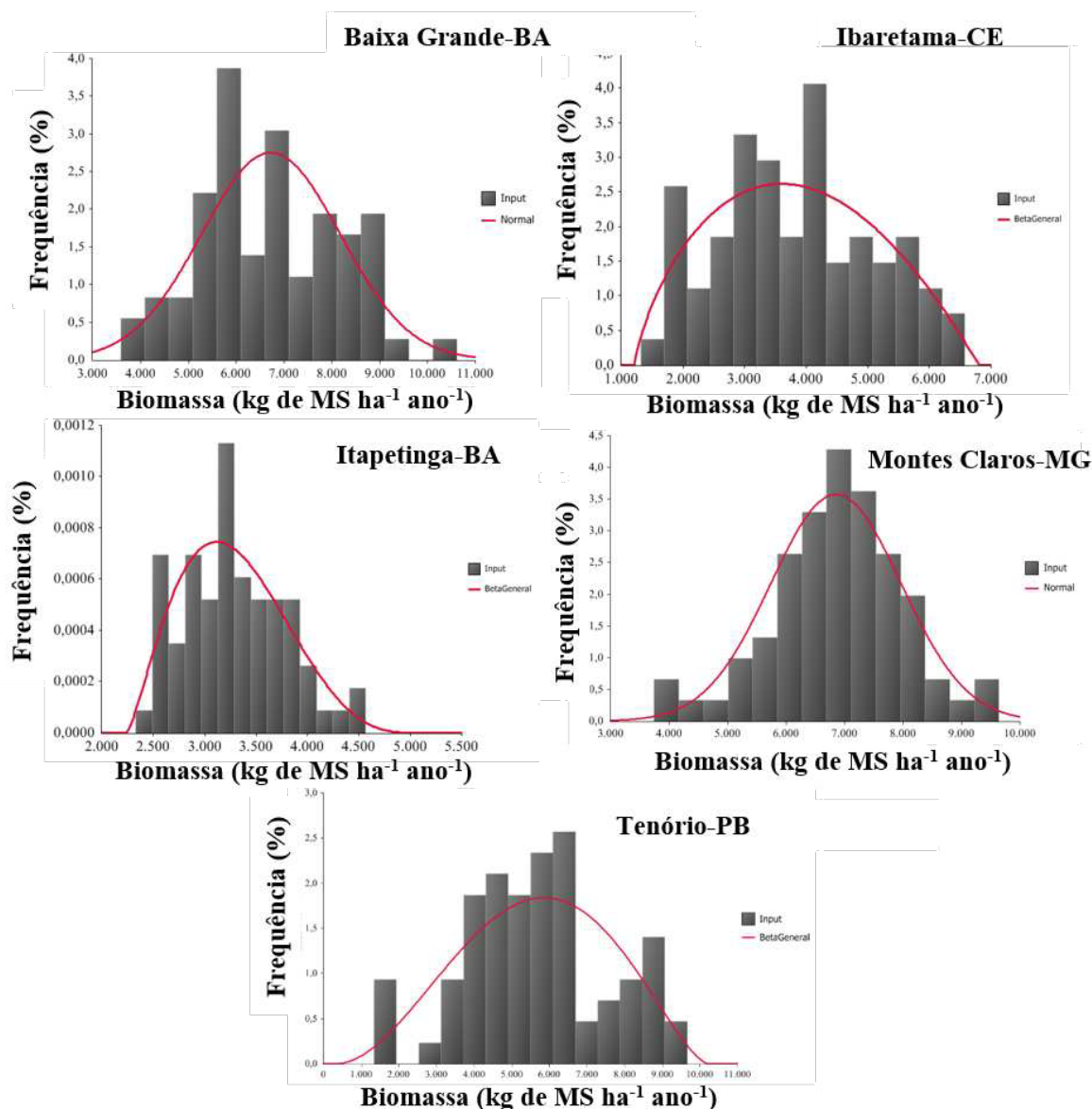
Segundo Willmott *et al.*, (2012) e Camargo & Sentelhas (1997), as simulações foram ótimas para Montes Claros-MG e Ibaretama-CE. Muito bom para Itapetinga-BA e Baixa Grande-BA. Já Tenório-PB teve mau simulação.

Tabela 12 - Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o capim-corrente

| URT              | Parâmetros Estatísticos          |                                                                |                                                        |                       |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
|                  | Erro médio da<br>previsão<br>(%) | Raiz quadrada<br>do erro médio<br>(kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Erro médio<br>absoluto<br>(kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Índice de<br>Willmott |
| Baixa Grande-BA  | 2,17                             | 435,16                                                         | 347,97                                                 | 0,83                  |
| Ibaretama-CE     | -2,42                            | 279,60                                                         | 279,51                                                 | 0,86                  |
| Itapetinga-BA    | -5,76                            | 211,84                                                         | 170,08                                                 | 0,84                  |
| Montes Claros-MG | 2,20                             | 467,64                                                         | 436,58                                                 | 0,95                  |
| Tenório-PB       | -1,24                            | 750,23                                                         | 747,04                                                 | 0,43                  |

Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 23 - Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do capim-corrente em Baixa Grande-BA, Ibaretama-BA, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB. Linha vermelha função Normal ou BetaGeneral, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Os dados foram submetidos ao método de Monte Carlo, realizando-se os testes de aderência, identificação da função densidade de probabilidade e geração das séries sintéticas. Assim, identificaram-se as funções que melhor descreveram a distribuição dos dados das culturas (histórico do PHYGROW), pelo teste de qui-quadrado (Figura 23).

As funções que melhor se ajustaram foram a Normal e BetaGeneral em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB com um valor no teste de qui-quadrado de 12,4444; 5,2222; 3,5556; 3,0000; 7,1667, respectivamente.

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-corrente em Baixa Grande-BA com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana 6.722,141; 6.722,141 e 6.722,141 kg de MS  $\text{há}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 23).

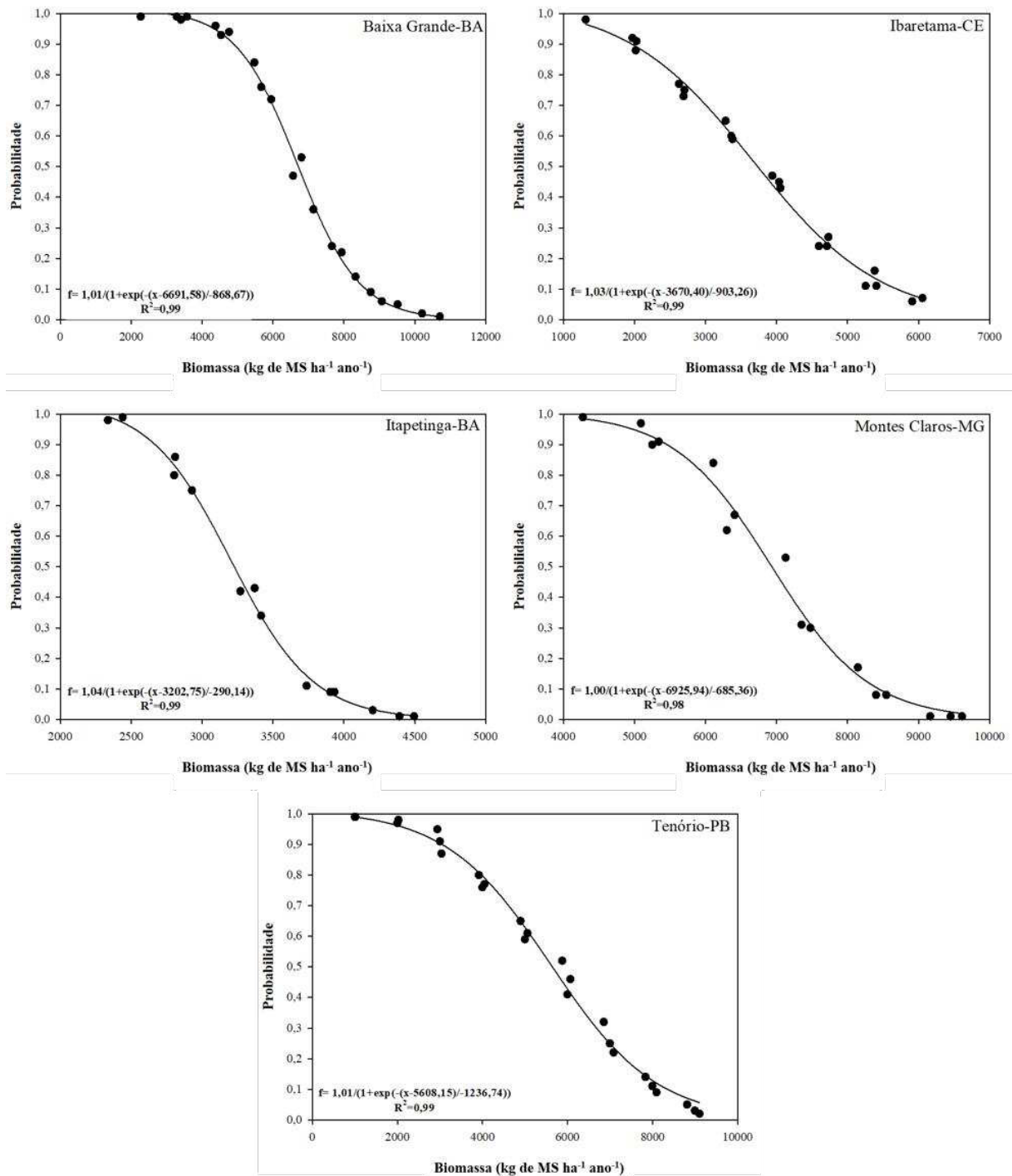
A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-corrente em Ibaretama-CE com assimetria positiva (0,1040), com média, moda e mediana 3.817,498; 3.601,739 e 3.780,454 kg de Mháha $^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente e curtose platicúrtica (2,1287) (Figura 23).

A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-corrente em Itapetinga-BA com assimetria positiva (0,3485), com média, moda e mediana de 3.277,427; 3.116,425 e 3.238,010 kg MS  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente e curtose platicúrtica (2,5391) (Figura 23).

A função Normal tem uma linha de tendência para o capim-corrente em Montes Claros-MG com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 6.850,832; 6.850,832 e 6.850,832 MS  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 23).

A função BetaGeneral tem uma linha de tendência para o capim-corrente em Tenório-PB com assimetria negativa (-0,1037), com média, moda e mediana de 5.646,016; 5.853,979 e 5.693,835 MS  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente e curtose platicúrtica (2,3224) (Figura 23).

Figura 24 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem de capim-corrente em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, Tenório-PB



Fonte: Elaboração própria da autora.

A partir dessas séries que já foram citadas avaliou-se a garantia natural que é a biomassa modelada, associada a um dado nível de garantia. Com estes resultados, a estimativa da produção vegetal alcança um novo patamar, pelo fato de trazer uma associação de probabilidade ao sistema. De outra maneira, a probabilidade associada permite analisar os

riscos da produção animal baseada em pastagem, ou seja, para aquela maior garantia de produção de biomassa, o efetivo animal deverá ser menor e seu inverso é verdadeiro (Figura 24).

Em Baixa Grande-BA houve uma grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8609,83 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 95% de garantia uma produção de 4292,20 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com 50% de garantia terá uma produção de 6708,77 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 24). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-corrente pode produzir 2267,39 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Na pior das hipóteses refere-se ao menor valor de biomassa usado na garantia.

Em Ibaretama-CE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5684,67 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 1435,33 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3723,02 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 24). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-corrente pode produzir 1313,23 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Itapetinga-BA houve pouca variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 3852,87 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2518,98 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 3225,08 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 24). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-corrente pode produzir 2335,25 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

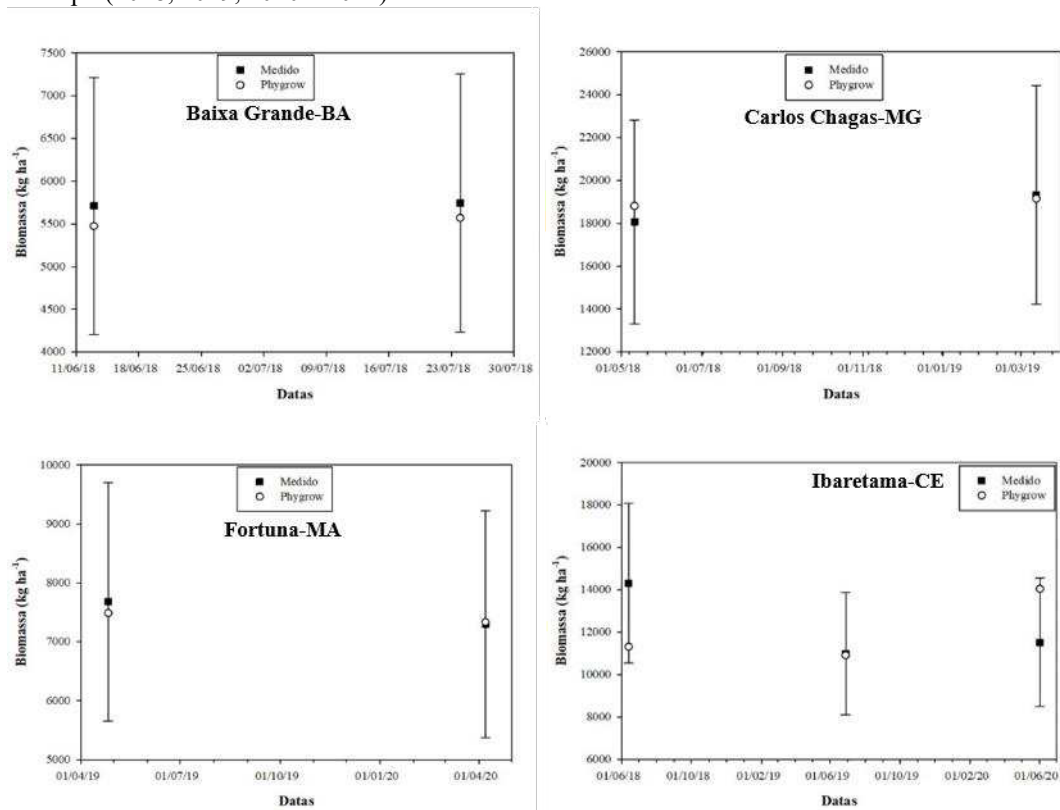
Em Montes Claros-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8431,83 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 4907,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 6925,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 24). Então, na pior das hipóteses vai ocorrer anos que o capim-corrente pode produzir 4272,09 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em Tenório-PB houve grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8339,20 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2192,13 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5632,63 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 24).

### 3.5 Sorgo Ponta Negra

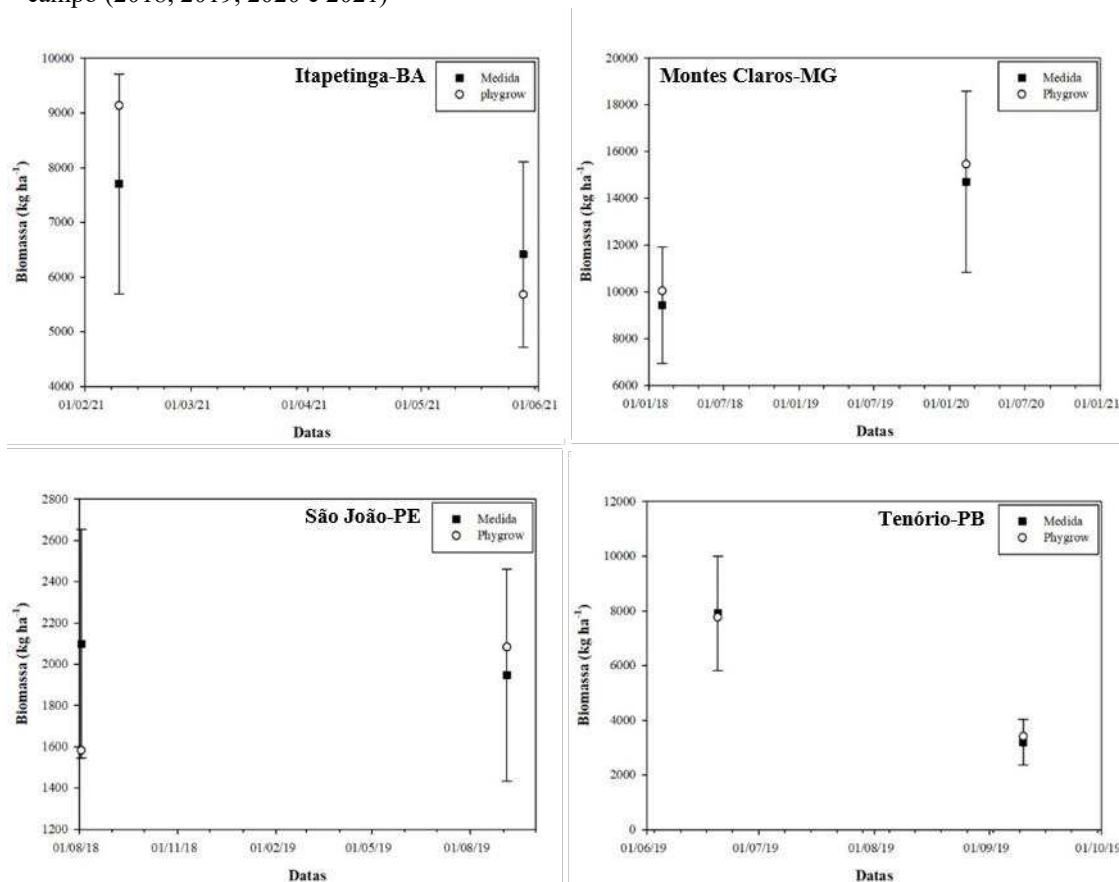
As simulações das biomassas do sorgo proveniente das URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB estão na figura 25 e 26.

Figura 25 - Simulação de biomassa do sorgo Ponta Negra, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  de MS da biomassa total disponível em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 26 - Simulação de biomassa do Sorgo Ponta Negra, expressa em Kg ha<sup>-1</sup> de MS da biomassa total disponível em Itapetinga-BA, 2-Montes Claros-MG, 3-São João-PE, 4-Tenório-PB. Dados coletados em campo (2018, 2019, 2020 e 2021)



Fonte: Elaboração própria da autora.

A biomassa de forragem total média colhida nas URTs de Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB foi de  $5728,42 \pm 26,74$ ;  $18697,67 \pm 891,65$ ;  $7488,75 \pm 270,47$ ;  $12270,89 \pm 1783,07$ ;  $7058,07 \pm 909,93$ ;  $12069,32 \pm 3737,52$ ;  $2023,75 \pm 106,42$ ;  $5556,60 \pm 3334,01$  kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por sua vez a biomassa de forragem total média estimada nas URTs Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB foi de  $5522,40 \pm 67,83$ ;  $18984,18 \pm 242,66$ ;  $7410,56 \pm 107,36$ ;  $12092,94 \pm 1699,77$ ;  $7409,33 \pm 2442,93$ ;  $12757,26 \pm 3832,91$ ;  $1833,43 \pm 353,97$ ;  $5590,5 \pm 3081,96$  kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Segundo Willmott *et al.*, (2012) e Camargo e Sentelhas (1997) as simulações foram ótimas para Montes Claros-MG e Tenório-PB. Muito bom para Itapetinga-BA. Carlos Chagas-MG e Fortuna foram bom. Foram péssimos para Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE e São João-PE. Uma vez que o valor a ser considerado como uma ótima concordância entre os valores coletados e valores estimados varia entre 0 e 1, sendo 1 o melhor valor a ser obtido.

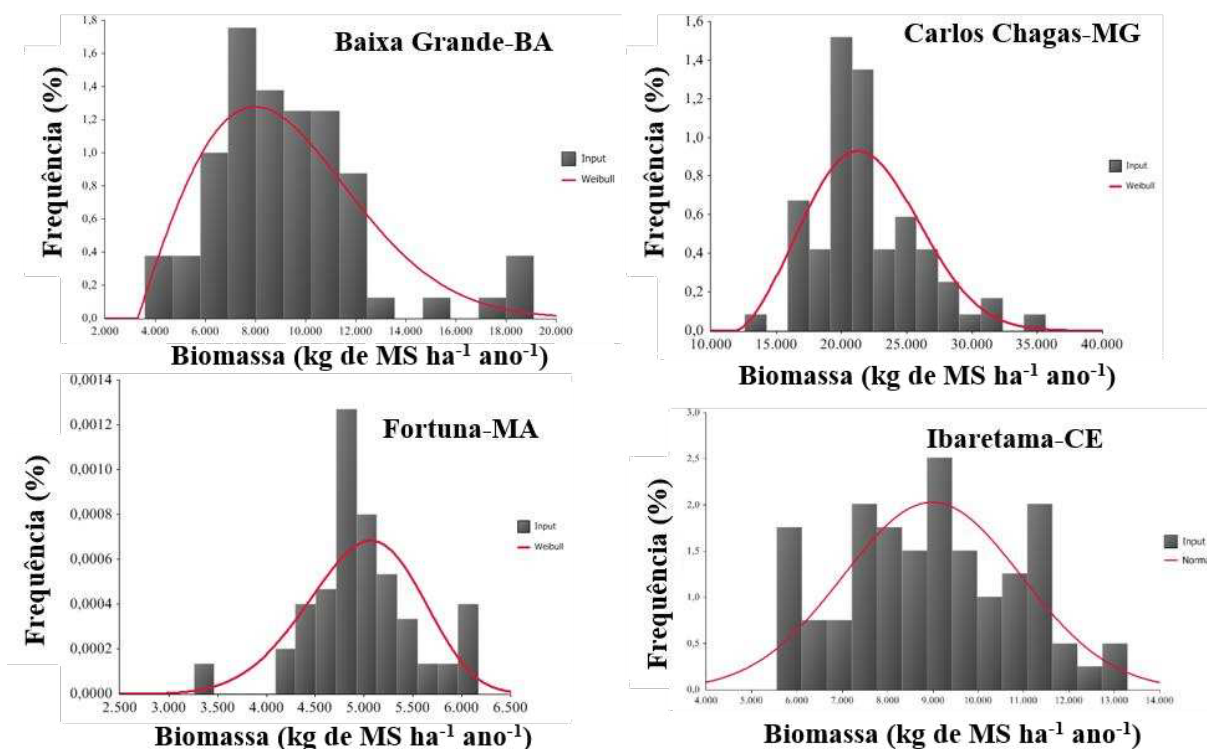
Uma das razões para baixa acurácia se deve a diferença das simulações e o valor de referência, possivelmente possíveis falhas no processo de amostragem.

Tabela 13 - Estatística descritiva da calibração do modelo PHYGROW para o Sorgo Ponta Negra

| URTs             | Parâmetros Estatísticos    |                                                          |                                                  |                    |
|------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                  | Erro médio da previsão (%) | Raiz quadrada do erro médio (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Erro médio absoluto (kg de MS ha <sup>-1</sup> ) | Índice de Willmott |
| Baixa Grande-BA  | -3,60                      | 208,05                                                   | 206,02                                           | 0,18               |
| Carlos Chagas-MG | 1,53                       | 541,00                                                   | 458,91                                           | 0,66               |
| Fortuna-MA       | -1,04                      | 139,32                                                   | 115,33                                           | 0,75               |
| Ibaretama-CE     | -1,45                      | 2258,14                                                  | 1860,20                                          | 0,31               |
| Itapetinga-BA    | 4,98                       | 1139,49                                                  | 1084,00                                          | 0,77               |
| Montes Claros-MG | 5,70                       | 691,23                                                   | 687,94                                           | 0,98               |
| São João-PE      | -9,40                      | 377,08                                                   | 325,54                                           | 0,00               |
| Tenório-PB       | 0,61                       | 181,42                                                   | 178,23                                           | 0,99               |

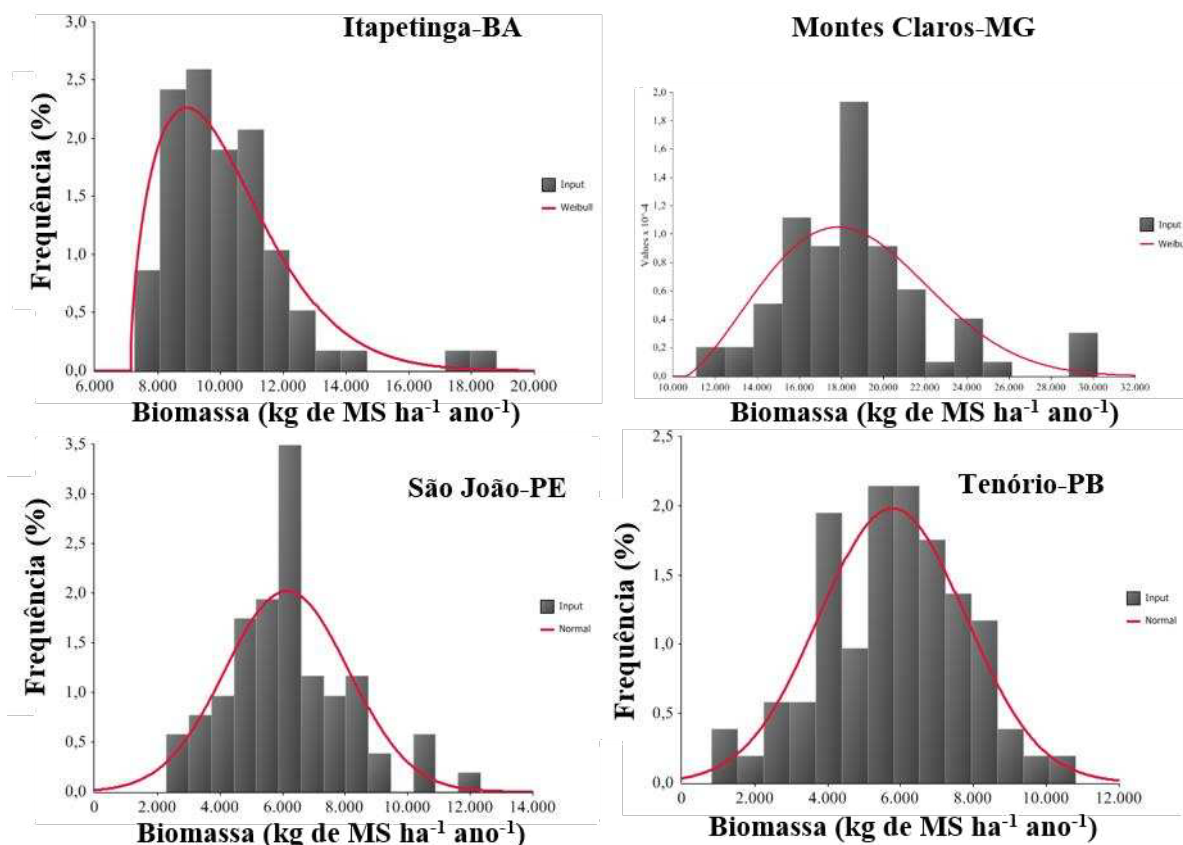
Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 27 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do Sorgo Ponta Negra em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE. Linha vermelha função Normal ou Weibull, e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 28 – Função densidade de probabilidade (teste de aderência) pelo teste do qui-quadrado para o comportamento do histórico (estimado no PHYGROW) da produção de biomassa anual do Sorgo Ponta Negra em 1-Itapetinga-BA, 2-Montes Claros-MG, 3-São João-PE, 4-Tenório-PB. Linha vermelha função Normal, Weibull e as barras são os dados



Fonte: Elaboração própria da autora.

Os dados foram submetidos ao método de Monte Carlo, realizando os testes de aderência, identificação da função densidade de probabilidade e geração das séries sintéticas. Assim, identificou-se as funções que melhor descreveram a distribuição dos dados das culturas (histórico do PHYGROW), pelo teste de qui-quadrado (Figura 27 e 28).

As funções que melhor se ajustam foram a Normal, Weibull e BetaGeneral em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibaretama-CE, Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB com um valor no teste de qui-quadrado de 5,5000; 9,6667; 16,8889; 10,5000; 5,7143; 9,6667; 8,2778; 2,7222, respectivamente.

A função Weibull tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Baixa Grande-BA com assimetria positiva (0,6444), com média, moda e mediana 9.214,125; 7.977,992 e 8.844,767 kg de MS há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,2702) (Figura 27).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Carlos Chagas-MG com assimetria positiva (0,3037), com média, moda e mediana de 21.887,58; 21.265,50 e 21.676,63 MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8078) (Figura 27).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Fortuna-MA com assimetria negativa (-0,2277), com média, moda e mediana de 4.970,452; 5.067,672 e 4.998,424 MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,8528) (Figura 27).

A função Normal tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Ibaretama-CE com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 8.981,052; 8.981,052 e 8.981,052 MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 27).

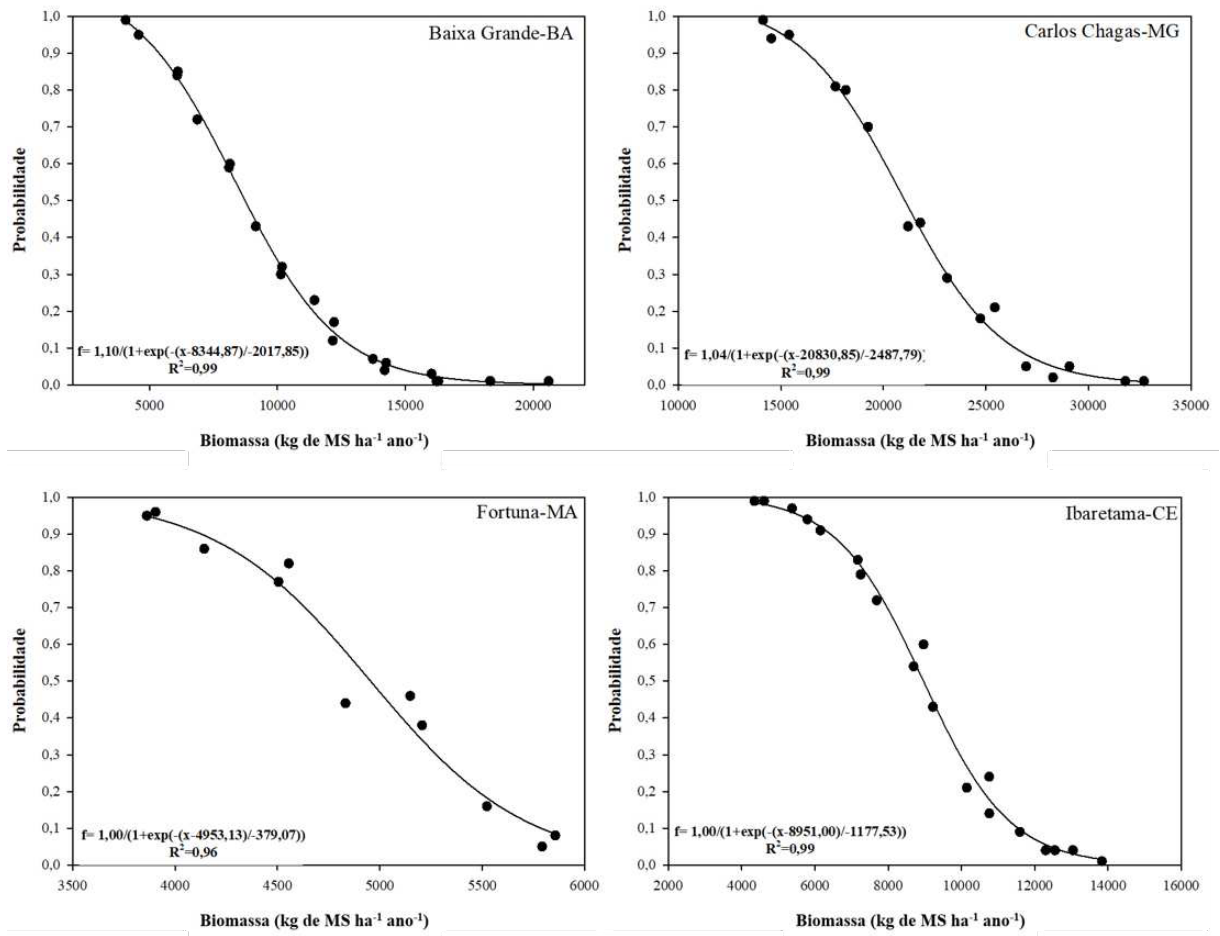
A função Weibull tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Itapetinga-BA com assimetria positiva (0,9802), com média, moda e mediana de 10.135,747; 8.910,938 e 9.786,647 MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (4,0987) (Figura 28).

A função Weibull tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Montes Claros-MG com assimetria positiva (0,4232), com média, moda e mediana de 18.709,185; 17.844,015 e 18.433,779 MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (2,9269) (Figura 28).

A função Normal tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em São João-PE com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 6.137,406; 6.137,406 e 6.137,406 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 28).

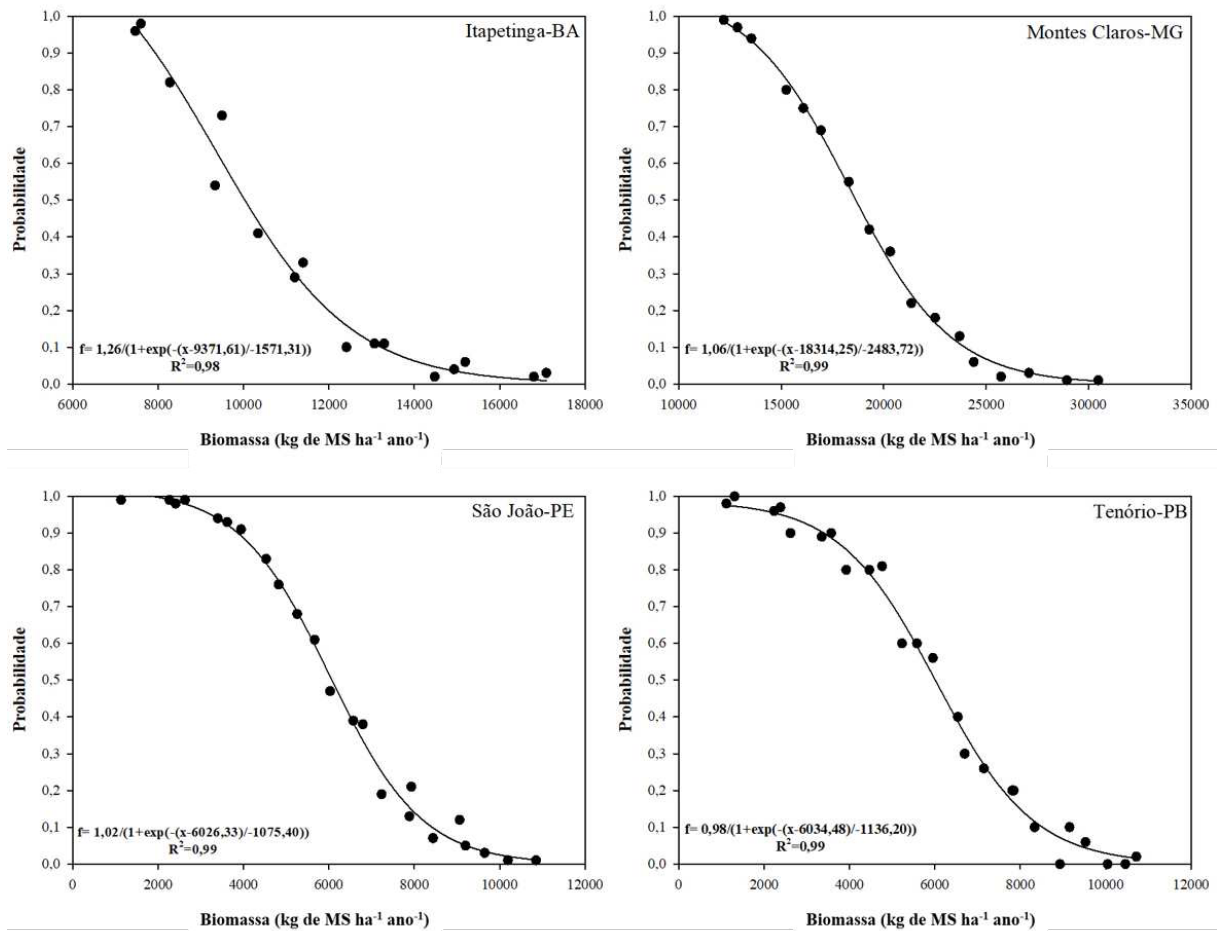
A função Normal tem uma linha de tendência para o Sorgo Ponta Negra em Tenório-PB com simetria pura (0,0000), com média, moda e mediana de 5.772,768; 5.772,768 e 5.772,768 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente e curtose platicúrtica (3,0000) (Figura 28).

Figura 29 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem do Sorgo Ponta Negra em Baixa Grande-BA, Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Ibareta-CE



Fonte: Elaboração própria da autora.

Figura 30 - Garantias naturais de produção de biomassa da pastagem do Sorgo Ponta Negra em Itapetinga-BA, Montes Claros-MG, São João-PE, Tenório-PB



Fonte: Elaboração própria da autora.

A partir dessas séries que já foram citadas averiguou-se a garantia natural que é a biomassa modelada, associada a um dado nível de garantia. Com estes resultados, a estimativa da produção vegetal alcança um novo patamar, pelo fato de trazer uma associação de probabilidade ao sistema. De outra maneira, a probabilidade associada permite analisar os riscos da produção animal baseada em pastagem, ou seja, para aquela maior garantia de produção de biomassa, o efetivo animal deverá ser menor e seu inverso é verdadeiro (Figura 29 e 30).

Em Baixa Grande-BA houve uma grande variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 12991,13 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 95% de garantia uma produção de 4620,27 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com 50% de garantia terá uma produção de 8712,77 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 29).

Em Carlos Chagas-MG com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 26405,26 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma

produção de 14967,98 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 21022,30 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 29).

Em Fortuna-MA, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 5786,02 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3836,97 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 4953,13 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 29).

Em Ibaretama-CE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 11538,30 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 5483,83 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 8951 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 29).

Em Itapetinga-BA houve pouca variação, pois com 10% de garantia existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 13222,90 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 7611,92 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 10029,52 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 30).

Em Montes Claros-MG, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 23931,84 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 12959,39 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 18595,73 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 30).

Em São João-PE, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8412,85 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 3221,71 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 6068,51 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 30).

Em Tenório-PB, com 10% de garantia, existe a probabilidade de ocorrer uma produção de biomassa de 8505,42 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com 95% de garantia uma produção de 2108,61 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 50% de garantia terá uma produção de 5988,10 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 30).

## 4 DISCUSSÃO

Em trabalho realizado no semiárido cearense com pastagem nativa, Moraes (2021) relatou que as curvas de simulação do modelo PHYGROW tenderam a superestimar os valores de biomassa obtidos no campo. Segundo Maranhão (2021), trabalhando com a modelagem do capim-buffel, do capim-massai e da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. no Ceará, a modelagem do crescimento das culturas resultou em uma alta capacidade de predição pelo modelo PHYGROW. Segundo Feitosa (2021) em área de caatinga raleada e enriquecida com o capim-buffel, o PHYGROW demonstrou ser capaz de gerar uma série histórica da produção de forragem suficiente para obter dados e entender a dinâmica produtiva dessa gramínea diante da irregularidade hídrica daquela região paraibana. No presente trabalho também obtiveram-se resultados semelhantes aos já citados na literatura, com elevada capacidade de predição do modelo PHYGROW para a maioria dos capins nos diferentes locais estudados.

Razões para a baixa acurácia retratada pelo índice de Willmott nos dados de Baixa grande-BA, Fortuna-MA (buffel), Ibaretama-CE (piatã), Montes Claros-MG (massai), Tenório-PB (corrente) e Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE, São João-PE (sorgo), podem incluir o número reduzido de dados, presença de outliers no conjunto de dados ou possíveis falhas no processo de amostragem.

O RMSE foi cerca de 22,80% maior do que o MAE em Baixa Grande-BA (buffel), 4,68% em Ibaretama-CE (piatã), 11,58% em Montes Claros-MG (massai), 0,43% em Tenório-PB (corrente) e 0,98%; 21,38%; 15,82% em Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE e São João-PE (sorgo), respectivamente (Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13, respectivamente), mostrando que mesmo que a diferença percentual não seja tão grande, pode indicar que há outlier no conjunto de dados.

Resultados de assimetria positiva também foram verificados por Maranhão, (2021) para o capim-buffel. Resultados semelhantes foram encontrados no presente trabalho para todas as gramíneas. A assimetria positiva e o achatamento da função sugerem valores acima do máximo estipulado, tendência da função que pode indicar subestimativa da produtividade da forrageira. Apesar desta subestimativa, houve alta significância das funções densidade de probabilidade ajustadas para cada URT. Nesse ponto, demonstra-se a importância da geração das séries sintéticas pelo Método de Monte Carlo, pois nem os limitados dados de campo e nem mesmo a simulação histórica do PHYGROW teriam um volume de dados suficiente para gerar uma alta confiabilidade na definição da melhor função

densidade de probabilidade para os dados de biomassa do capim-buffel para as URTs de Carlos Chagas-MG, Fortuna-MA, Itapetinga-BA (Figura 6), Montes Claros-MG e São João-PE (Figura 7). Assim, a modelagem faz previsões de novas perspectivas de produtividade dos capins, incorporando alguma variação de condições edafoclimáticas entre diferentes locais. A assimetria negativa para o capim-massai também foi observada no trabalho de Maranhão, (2021). A assimetria negativa da função leva ao surgimento de valores abaixo daqueles estimados pelo PHYGROW, mostrando estimativas de piores cenários de crescimento vegetal. Em todas as gramíneas estudados também observamos assimetria negativa.

Comparando-se a biomassa do capim-buffel com 95% e 50% de garantia, percebe-se uma maior variação na URT de Tenório-PB e menor variação em Fortuna-MA. Essas condições podem ser explicadas para todas as gramíneas por fatores como chuva, solo etc. Em Fortuna-MA, o solo apresentou média saturação de bases (V%), baixa saturação com alumínio, menor acidez. Já em Tenório-PB foi semelhante com baixo pH e saturação por alumínio e adequada saturação por bases.

Em Fortuna-MA a precipitação foi melhor distribuída ao longo do ano e teve a menor variação da produção nos níveis de garantia, provavelmente a textura com maior quantidade de argila no solo favoreceu uma maior umidade e maior estabilidade da cultura. Por outro lado, a textura arenosa em conjunto a má distribuição das chuvas ao longo do ano Tenório-PB ocasionou maior variação e menor produção com 95% de garantia. Depreende-se que o buffel é uma planta que se desenvolveu bem nos diferentes tipos de solos e diferentes precipitações, adaptando-se bem a solos desde mais argilosos até mais arenosos, variando sua biomassa com 95% de garantia de 6998,37 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Montes Claros-MG) a 1257,07 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tenório-PB). Os maiores volumes de chuvas em Tenório-PB só ocorreram em três meses durante os anos (uma média de 325,05 mm).

Analisando a biomassa do capim-piatã com 95% e 50% de garantia percebe-se uma maior variação na URT de Ibaretama-CE e menor variação em Montes Claros-MG, resultado semelhante ao já exposto para o capim-buffel. O capim-massai demonstrou grande variação da sua produção com 95% de garantia de 10276,31 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Montes Claros-MG) a 386,27 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ibaretama-CE). Os maiores volumes de chuvas em Ibaretama-CE só ocorreram nos meses de fevereiro, março, abril e maio durante o ano, a maior parte dos meses tiveram menores precipitações.

No capim-massai com 95% e 50% de garantia percebe-se uma maior variação na URT de Tenório-PB e menor variação em Itapetinga-BA. É possível perceber que o capim-massai é uma planta de alta produção vegetal, porém a variação na sua produção é muito

grande, com 95% de garantia produz 10572,87 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Montes Claros-MG já em Tenório-PB produz 1863,84 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Com garantia de 95% e 50% para o capim-corrente percebe-se uma maior variação na URT de Ibaretama-CE e menor variação em Itapetinga-BA. A produção variou com 95% de garantia de 4907,94 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Montes Claros-MG) a 1435,33 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ibaretama-CE).

Para o Sorgo, com 95% e 50% de garantia, percebe-se uma maior variação na URT de Tenório-PB e menor variação em Fortuna-MA. Sua produção variou muito com 95% de garantia de 14967,98 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Carlos Chagas-MG) a 2108,61 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tenório-PB).

Em todas as simulações com gramíneas nas URTs com maior variação de biomassa a maior parte dos meses caracterizou-se com pequenas precipitações associadas a solos de textura mais arenosa, apresentando baixas quantidades de micro poros e, conseqüentemente, baixa capacidade de retenção de água, combinação que não favoreceu a produção dessas gramíneas nesses ambientes.

A resistência do solo à penetração (RP) é altamente dependente da umidade do solo (Gomes; Peña, 1996). O aumento do teor de água diminui as forças de coesão entre as partículas e o atrito interno, ocasionando a diminuição da RP (Cunha *et al.*, 2002). Segundo Assis *et al.* (2009), resultados de índice de cone é afetado pelo tipo de solo, os mais argilosos apresentaram maiores índices que os arenosos. Nas condições de solo mais úmido, a resistência do solo à penetração não impede o crescimento de raízes. Diante desse exposto, pode-se depreender que nas URTs com menor variação de biomassa como por exemplo Fortuna-MA a precipitação foi melhor distribuída e em maior quantidade ao longo do ano tendo a menor variação da produção nos níveis de garantia, provavelmente nesses locais a textura com maior quantidade de argila no solo favoreceu uma maior umidade e maior estabilidade das culturas. Por outro lado, a textura mais arenosa em conjunto a má distribuição das chuvas ao longo dos anos nas URTs de maior variação de biomassa como por exemplo em Tenório-PB ocasionou maior variação e menor produção com 95% de garantia.

Diante destes conhecimentos expostos, é possível realizar o balanço de uma dada demanda animal por biomassa e associar a uma garantia. Esse balanço entre demanda e biomassa resulta em dois cenários possíveis. O primeiro caracteriza-se por forragem em excesso na fazenda. Caso isso ocorra, pode-se realizar o processo de conservação de forragem para utilizá-la em períodos de escassez. O segundo cenário é a falta de forragem, que é bem prejudicial pois causará o colapso econômico ou ecológico do sistema produtivo. No primeiro

caso, devido à busca emergencial por suplementos a um alto custo em épocas de escassez. No segundo caso, devido à degradação do solo, em um ambiente com alta taxa de lotação e baixa produção de forragem. Esses dois cenários dependem do tamanho da demanda de forragem pelo rebanho.

Por fim, essa simulação permite uma estimativa da capacidade de suporte da propriedade, para um determinado nível de garantia escolhido pelo produtor. Se o produtor escolher 95% de garantia e considerar a eficiência do uso da forragem (EUF) de 50%, a unidade animal de 450 kg e o consumo seja de 3% do peso corporal (NRC, 2016), cada animal consumirá 13,5 kg MS dia<sup>-1</sup> e 4927,5 kg MS ano<sup>-1</sup>. Então, tomando como exemplo o capim-buffel em Itapetinga, se o pasto da fazenda apresentar uma biomassa de 4116,38 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (com 95% de garantia), pode-se colocar 0,42 UA ha<sup>-1</sup>. Levando em conta uma garantia de 50% e uma biomassa de 5316,49 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, por exemplo, pode-se colocar na área 0,54 UA ha<sup>-1</sup>.

Já o capim-piatã na fazenda produzindo 5967,28 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (com 95% de garantia) pode-se colocar 0,60 UA ha<sup>-1</sup>. Levando em conta a garantia de 50% e uma biomassa de 8549,06 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> por exemplo, pode-se colocar na área 0,87 UA ha<sup>-1</sup>. O pasto de capim-massai produz 4471,21 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com (95% de garantia) pode-se colocar 0,45 UA ha<sup>-1</sup>. Levando em conta a garantia de 50% e uma produtividade de 5419,63 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> por exemplo, deve ser colocado na área 0,55 UA ha<sup>-1</sup>.

A produção do capim-corrente de 2518,98 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (com 95% de garantia) pode-se colocar 0,25 UA ha<sup>-1</sup>. Levando em conta a garantia de 50% e uma biomassa de 3225,08 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> por exemplo, deve ser colocado na área 0,33 UA ha<sup>-1</sup>. Para o sorgo consideramos a eficiência do uso da forragem (EUF) de 90%, devido essa forragem ser colhida e até ser disponibilizado no cocho para os animais, ocorrerão perdas de 10%. Com uma biomassa de 7611,92 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (com 95% de garantia) pode-se colocar 1,4 UA ha<sup>-1</sup>.

Levando em conta a garantia de 50% e uma produtividade de 10029,52 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, por exemplo, pode ser colocado na área 1,7 UA ha<sup>-1</sup>. O nível de garantia deve ser utilizado para auxiliar o planejamento do estoque de forragem de longo prazo da propriedade, interpretado como o percentual de anos. Por exemplo: adotando-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 e 1 ano corresponde aos 5% não cobertos pela garantia.

Estes exemplos foram apresentados apenas para mostrar a utilidade da modelagem como um meio para dar suporte às tomadas de decisão no tocante ao ajuste da taxa de lotação em uma pastagem, prevenindo a ocorrência de situações de sub ou sobrepastejo no longo prazo ao nível de fazenda. De qualquer modo, ajustes no manejo do dia-a-dia são necessários, pois quando os modelos subestimam os valores das biomassas reais, ocorrerá subpastejo, caso a taxa de lotação não seja ajustada (Bryant; Snow, 2008; Reis et al., 2009). Por isso, é importante a presença do técnico junto ao produtor para auxiliá-lo na tomada de decisão inicial e nos ajustes periódicos a serem feitos no manejo.

No presente trabalho houve modelos que subestimaram as biomassas reais, o que pode causar perdas econômicas tanto neles como em locais similares, se não houver um acompanhamento periódico da condição da pastagem. O produtor não se preocupará com falta de forragem, porém ele precisará ter conhecimento de que sua pastagem tem forragem sobrando e que pode ser usada em outros momentos de escassez como no período seco ou adquirir mais animais para ajustar a taxa de lotação da sua pastagem. Isso é fundamental principalmente no contexto de semiárido onde o período chuvoso é curto e mais abundante o crescimento vegetal, porém existe um longo período seco marcada pela escassez de alimento.

Nas URTs onde o modelo superestimou a biomassa real, incorrerão num risco mais grave, tanto de perdas econômicas pelo produtor, como da degradação do ecossistema pastoril. Por isso, as simulações são tão importantes, pois o modelo prediz uma capacidade de suporte ajustada no longo prazo, evitando que o produtor precise tomar medidas de última hora, normalmente onerosas, como compra emergencial de alimentos, aluguel de pasto ou ter que se desfazer de todo ou parte do rebanho numa situação de urgência, sem poder barganhar melhores preços.

## 5 CONCLUSÃO

Mediante a presente pesquisa, as simulações das biomassas dos capins por meio do modelo PHYGROW foram satisfatórias, considerando todas as variáveis analisadas para todas as URTs, exceto para Baixa Grande-BA e Fortuna-MA (capim-buffel), Ibaretama-CE (capim-piatã), Montes Claros-MG (capim-massai), Tenório-PB (capim-corrente), Baixa Grande-BA, Ibaretama-CE e São João-PE (sorgo ponta negra).

Dessa forma, a utilização de ferramentas tecnológicas como o PHYGROW pode ser de grande ajuda para o planejamento da produção vegetal e animal ao nível de fazenda no longo prazo.

Além disso, é importante destacar que a adoção do conceito de garantia permite ao produtor se nortear com certa segurança nas decisões a serem tomadas com relação à capacidade de suporte e ao planejamento alimentar no seu empreendimento rural, mesmo diante das variações climáticas ao longo dos anos.

## 6 IMPLICAÇÕES

As técnicas de modelagem são ferramentas de tomada de decisões, sendo eficientes em vários aspectos no sistema de produção animal. As metodologias apresentadas podem contribuir para uma visão sistêmica do sistema produtivo, especialmente da orçamentação forrageira de longo prazo frente às incertezas climáticas, pois a partir da garantia natural é possível estimar com maior precisão a biomassa produzida nas propriedades nas condições edafoclimáticas dos locais estudados no presente trabalho, podendo de fato, auxiliar no processo de planejamento alimentar das propriedades no semiárido.

A grande variação da biomassa nos níveis de garantia para determinados locais demonstra o maior risco da produção, porém traz informações de quais plantas são resilientes e podem compor o cardápio forrageiro no sistema de produção, seja na forma de pasto, ou de forragem conservada para uso posterior no período de maior escassez de alimento.

Em pesquisas futuras, sugere-se o estudo e modelagem de outras espécies para os locais já estudados e o acréscimo de locais com maior variação de clima e solo, aumentando o banco de dados para a complexidade inerente ao Semiárido Brasileiro. Ademais, os novos estudos deveriam considerar a modelagem separando períodos chuvoso e seco, para analisar possíveis complicações e explicações da oscilação de forragem entre tais períodos, contribuindo para oferecer mais subsídios à tomada de decisão ao nível de fazenda.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. N. *et al.* Feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) e palma forrageira (*Opuntia ficus* Mill.) em dietas para caprinos e ovinos. **Revista Científica de Produção Animal**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 43-52, 2007.
- ANDALES, A. A.; DERNER, J. D.; BARTLING, P. N. S.; AHUJA, L. R.; DUNN, G. H.; HART, R. H.; HANSON J. D. Evaluation of GPFAR for simulation of forage production and cow-calf weights. **Rangeland Ecology and Management**, Kansa, v. 58, p. 247-255, 2005.
- ANGERER, J. P. **Examination of high resolution rainfall products and satellite greenness indices for estimating patch and landscape forage biomass**. 2008. 129 p. Dissertation (PhD) – Department of Ecosystem Science and Management, College Station, Texas A&M University, Texas, 2008.
- ANGERER, J. P. Gobi Forage Livestock Early Warning System. *In*: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Conducting national feed assessments**. Rome: Food and Agriculture Organization, 2012. v. 15, p. 115-130.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. Criação de ovinos a pasto no semi-árido Nordeste *In*: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 1998, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: SNPA, 1998. p. 143-149.
- ASSIS, Renato L. de *et al.* Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, São Paulo, v. 29, p. 558-568, 2009.
- BRYANT, J. R.; SNOW, V. O. Modelling pastoral farm agro-ecosystems: A review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 349-363, 2008.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CÂNDIDO, M. J. D. *et al.* **Forage-Balance Guarantee System**: defining forage storage capacity to stabilize livestock production in vulnerable ecosystems. 2021. Submetido à **Agricultural Systems**, 2021.
- COSTA, L. C.; BARROS, A. H. C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.
- CRUZ, Gildarly Costa; RIBEIRO, Eduardo Magalhães; GALIZONI, Flávia Maria. Semiárido, seca e “gerais” do norte de minas: uma revisão da bibliografia sobre o Alto-Médio São Francisco. **Campo-Território**: revista de geografia agrária, Uberlândia, v. 13, n. 31, p. 29-56, 2018.

CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.

DANTAS NETO, J.; SILVA, J. F. A. S.; FURTADO, D. A. *et al.* Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 9, p. 413-420, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. Massai é o novo capim lançado pela Embrapa. **Gado de Corte informa**, Campo Grande, v. 14, n. 1, p. 4-5, 2011.

EMERENCIANO NETO, J. V. *et al.* Produção e estrutura de pastos de capim-massai adubado com dejetos da produção animal. **B. Industr. Anim.**, São Paulo, v. 73, p. 117-110, 2016.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B. *et al.* Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, 2008.

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

GOMES, A. de S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 49, n. 1, p. 18-20, 1996.

JANK, L. *et al.* *Panicum maximum*. In: FONSECA, Dilermando Miranda da. **Plantas forrageiras**, 2010. p. 166-196.

JONES, James W. *et al.* Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 155, p. 269-288, 2017.

LACERDA, Marta Aurélia Dantas *et al.* Planos de combate a desertificação no nordeste brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Aracaju, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2004.

LARA, Márcio André Stefanelli; RAKOCEVIC, Miroslava. Uso de modelos matemáticos no estudo de pastagens. In: REIS, Ricardo Andrade; BERNARDES, Thiago Fernandes; SIQUEIRA, Gustavo Rezende (ed.). **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Funep, 2014. p. 333-346.

LEGATES, David R.; MCCABE JR, Gregory J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

MALAGNOUX, M.; SÈNE, E. H.; ATZMON, N. Forests, trees and water in arid lands: a delicate balance. **Unasylva**, Roma, v. 58, n. 229, p. 24-29, 2007.

MALVEZZI, R. **Semiárido: uma visão holística**. Brasília, DF: Confea, 2007. p.106.

MARANHÃO, Samuel Rocha. **Modelagem de sistemas aplicada à produção de forragem e ao uso da água, nas condições atuais e sob mudanças climáticas, no semiárido brasileiro**. 2021. 116 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, DF: MMA, 2006. 202 p. (Biodiversidade, 26).

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In*: INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (Brasil). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2011. v. 1.

MATERE, Joseph *et al.* Predictive Livestock Early Warning System (PLEWS): Monitoring forage condition and implications for animal production in Kenya. **Weather and Climate Extremes**, [s. l.], v. 27, p. 100209, 2020.

METROPOLIS, Nicholas; ULAM, Stanislaw. The monte carlo method. **Journal of the American Statistical Association**, [s. l.], v. 44, n. 247, p. 335-341, 1949.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. *In*: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Cruz das Amas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

MORAIS, Leonardo Fiusa de. **Técnicas de modelagem e geoprocessamento visando ao desenvolvimento de um sistema de alerta precoce para os rebanhos em regiões da caatinga**. 2021. 109 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

MOREIRA, J. N.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, G. G. Potencial de produção de capim-buffel na época seca no semiárido pernambucano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, p. 22-29, 2007.

MOREIRA, José Nilton *et al.* Potencial de produção de capim buffel na época seca no semiárido pernambucano. **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.3, p. 20-27, jul./set. 2007.

NANTES, Nayana Nazareth *et al.* Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 1, p. 114-121, 2013. Epub 26 Mar 2013. ISSN 1678-3921. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100015>. Acesso em: 23 jul. 2022.

OLIVEIRA, E. R. Alternativas de alimentação para a pecuária no semiárido nordestino. *In*: SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 6., 1992, Natal. **Anais [...]**. Natal: UFRN, 1996.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Identificação e compatibilidade de espécies herbáceas nativas e BRS Piatã (*Brachiaria brizantha* cv. Piatã). **Comunicado Técnico On-line 151**, Sobral, dez. 2015.

ISSN 1676-7675. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/publicacao/1041847/identificacao-e-compatibilidadede-especies-herbaceas-nativas-e-brs-piata-brachiariabrizanthacv-piata>. Acesso em: 10 out. 2017.

OLIVEIRA, M. C. **Capim urocloa**: produção e manejo no semiárido do Nordeste do Brasil. [S. l.]: Embrapa, 1999. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 43).

OLIVEIRA, M. C. O capim Buffel nas regiões secas do Nordeste. In: SILVA, C. M. M. S.; FARIA, C. M. B. **Variação estacional de nutrientes e valor nutritivo em plantas forrageiras tropicais**. [S. l.]: Embrapa, 1981. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, n. 5).

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; FILHO, O. R. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 45-53, 2005.

OLIVEIRA, V. S. *et al.* Capacidade de suporte, produção e composição do dossel forrageiro de três gramíneas irrigadas ou não no período seco. **Veterinária e Zootecnia**, Goiânia, v. 23, n. 1, p. 88- 92, 2016.

PERAZZO, A, F. *et al.* Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013. ISSN 1678-4596. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000007>. Acesso em: 15 jul. 2022

PEREIRA, L.G.R.; ARAÚJO, G.G. L.; VOLTOLINI, T.V.; BARREIROS, D.C. Manejo Nutricional de Ovinos e Caprinos em Regiões Semiáridas. In.: SEMINÁRIO NORDESTINO DE PECUÁRIA, 9., 2007, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: PECNORDESTE, 2007. v. 1, p. 1-12.

PEZZOPANE, C. de G. *et al.* Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 871-876, 2015.

POMPEU, R. C. F. F.; SOUZA, H. A.; GUEDES, F. L. **Opções e estabelecimento de plantas forrageiras cultivadas para o semiárido brasileiro**. Sobral: EMBRAPA Caprinos e Ovinos, 2015.

REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; CASAGRANDE, D. R.; PÁSCOA, A. G. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, São Paulo, v. 38, p. 147-159, 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300016>. Acesso em: 20 set. 2022.

ROCHA JÚNIOR, V. R. *et al.* Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagem: I. características agronômicas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 52, p. 506-511, 2000.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, n. 1-3, p. 273-292, 2002.

SAUCEDO, O. M. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. *In: TALLER Nacional sobre Empleo del Sorgo*. Villa Clara, Cuba: Universidad Central de Las Villas, 2008. p. 69-117.

SILVA, N. V. *et al.* Alimentação de ovinos em regiões semiáridas do Brasil. **Acta Veterinaria Breasilica**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 4, p. 233-241, 2010.

SILVA, RODRIGO. G. *et al.* Orçamentação Forrageira de Longo Prazo no Semiárido. **Revista Científica de Produção Animal**, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 98-110, 2013.

SILVA, Rodrigo. G. *et al.* Orçamentação Forrageira de Longo Prazo no Semiárido. **Revista Científica de Produção Animal**, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 98-110, 2013.

SIVAKUMAR, M. V. K.; DAS, H. P.; BRUNINI, O. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. **Climatic Change**, v. 70, n. 1/2, p. 31-72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5937-9>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SOARES NETO, J. P.; BEZERRA, A. R. G.; MOSCON, E. S. Probabilidade e análise decadal da precipitação pluvial da cidade de Barreiras-Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 3, p. 470-477, 2013.

SOUZA JUNIOR, J. B. F.; LINHARES, C. M. S. Alternativas para o aumento da disponibilidade de alimentos para o desenvolvimento da pecuária na região semiárida do Brasil. **PUBVET**, Niterói, v. 2, n. 27, p. 17, 2008.

STUTH J.W.; SCHMITT D.; ROWAN R.C.; ANGERER J.P.; ZANDER K. **PHYGROW users guide and technical documentation**. Texas: Texas A&M University, 2003. 79 p.

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Revista Sociedade e Estado**, São Paulo, v. 31 n. 3, p. 769-797, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hydrological models**. Porto Alegre: Ed University UFRGS: Brazilian Water Resources Association, 1998.

VALLE, C. B. *et al.* Brachiaria brizantha cv. Piatã: uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 28-30, 2007.

WILLMOTT, C. J.; ROBESONB, S. M.; MATSUURA, K. Short communication: A refined index of model performance. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 32, p. 2088-2094, 2012.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, [s. l.], v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WILLMOTT, C. J.; ROBESONB, S. M.; MATSUURA, K. Short communication: a refined index for model performance. **Intl. Journal of Climate**, Malden, v. 32, p. 2088-2094, 2012.

WILLMOTT, Cort J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [s. l.], v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

YORIYAZ, Hélio. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. **Revista Brasileira de Física Médica**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 141-149, 2009.