



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS



Jadson Coelho de Abreu

**MODELAGEM DE BIOMASSA E DE NUTRIENTES DE ESPÉCIES DA
CAATINGA NO MUNICÍPIO DE FLORESTA-PE**

Recife-PE

Outubro, 2012

JADSON COELHO DE ABREU

**MODELAGEM DE BIOMASSA E DE NUTRIENTES DE ESPÉCIES DA
CAATINGA NO MUNICÍPIO DE FLORESTA-PE**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

ORIENTADOR:

Prof. Ph.D. José Antônio Aleixo da Silva

CO-ORIENTADOR:

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

**Recife-PE
Outubro, 2012**

Ficha catalográfica

A162m Abreu, Jadson Coelho de
Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da
caatinga no município de Floresta - PE / Jadson Coelho de
Abreu. – Recife, 2012.
111 f. : il.

Orientador: José Antônio Aleixo da Silva.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Ciência Florestal, Recife, 2012.
Referências.

1. Semiárido 2. Manejo florestal 3. Modelos
matemáticos 4. Equações 5. Índice de ajuste I. Silva, José
Antônio Aleixo da, orientador II. Título

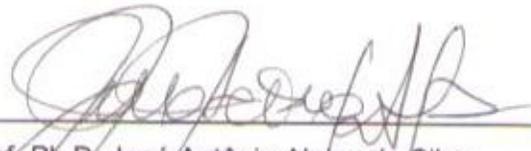
CDD 634.9

JADSON COELHO DE ABREU

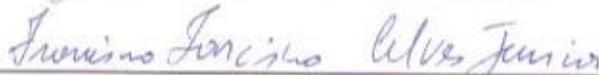
**MODELAGEM DE BIOMASSA E DE NUTRIENTES DE ESPÉCIES DA CAATINGA
NO MUNICÍPIO DE FLORESTA-PE**

Aprovado em: 04/10/2012

Banca Examinadora:



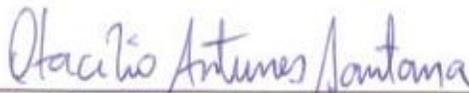
Prof. Ph.D. José Antônio Aleixo da Silva
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)
Presidente da banca e Orientador



Dr. Francisco Tarcísio Alves Junior
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)



Profa. Dra. Maria Jesus Nogueira Rodal
(Departamento de Biologia/UFRPE)



Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana
(Departamento de Biofísica e Radiobiologia/UFPE)

Recife-PE

Outubro, 2012

Dedico esse trabalho Aos meus Pais Washington Ferreira de Abreu e Mercês Coelho de
Abreu, a meu Irmão Washington Coelho de Abreu
E a minha querida avó Osmalita Oliveira Coelho *in memoria*.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus por me dar força e coragem para realização deste trabalho.

A todos meus familiares entre eles meus pais, meu irmão e minha namorada Bruna Gomes por sempre estarem dando força mesmo a distancia, sempre se fizeram presente em todos os momentos,

Ao Programa do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRPE pela oportunidade de realizar o curso.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e financiamento da pesquisa. Agrimex S. A. por ceder a área para o experimento.

Ao Professor José Antônio Aleixo da Silva pelos ensinamentos, oportunidade e pela orientação.

Ao professor Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, pela co-orientação e por ter disponibilizado os dados e área de experimento.

Ao professor Egídio Bezerra Nunes por ter colaborado com parte das análises químicas em seu laboratório.

Aos pesquisadores da Embrapa Amapá, Nagib Melen e Ana Claudia Lira Guedes, que por meio da Universidade Estadual de Londrina, foi possível fazer as análises químicas dos nutrientes restantes.

Aos colegas e amigos do laboratório de Biometria e Manejo Florestal Francisco das chagas, Fernando Gadelha, Tarcísio Alves júnior, Robson Borges, Jose Ferraz, Rubeni dos Santos pela amizade e troca de experiências.

A todos os amigos da Pós-graduação, Carlos Frederico, Arlindo, Romário, Iram e Isabela, pela grande amizade.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, que por meio do PROCAD/CAPES tive a oportunidade de fazer intercambio e obter novos conhecimentos que foram fundamentais para realização deste trabalho.

Aos professores dos PPGCF/UFRPE e PPGEF/UFSM por todos os ensinamentos ao longo do mestrado.

A todos que de forma direta e indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

ABREU, JADSON COELHO DE. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da Caatinga no município de Floresta-PE.** Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi testar diferentes modelos matemáticos, para estimar a biomassa e nutrientes das partes aéreas das principais espécies da Caatinga em Floresta-PE, e selecionar a melhor equação com base em critérios estatísticos mais utilizados. O presente estudo foi realizado em uma área com cerca de 50 ha (8°30'37" S e 37°59'07" W) com vegetação de Caatinga na fazenda Itapemirim, com extensão de aproximadamente 6.000 ha, na mesorregião do São Francisco pernambucano. Das 5 espécies com maior valor de importância foram selecionados 20 indivíduos por espécie, sendo que para essas, baseados nas suas variáveis dendrométricas, foram testados diferentes modelos matemáticos para se fazer uma estimativa da quantidade de biomassa e nutrientes presente nessas espécies partir de uma base de dados, utilizando como variável dependente o peso de biomassa em kg e os demais nutrientes (Mg, N, P, K, S, Ca), e como variáveis independentes o diâmetro à altura do peito (1,3 m), a altura total e comercial da árvore. Foram geradas 91 equações sendo que o modelo $Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 (DAP^2 H)_i + \varepsilon_i$ foi o que mais gerou equações 16 no total equivalente a 17,58% das equações criadas, se ajustando a nitrogênio total de *Aspidosperma pyrifolium*, nitrogênio total e nas folhas, fosforo total, potássio total e nas folhas de *Cnidocolus quercifolius*, nitrogênio total e nas folhas, fosforo nos galhos e cálcio total, no fuste, nas folhas, galhos, magnésio e enxofre no fuste de *Anadenanthera colubrina*. Entre os modelos que conseguiram gerar equações o que menos se destacou foi o modelo 15 de Weibull que considerava a altura como variável independente se ajustando apenas para enxofre total de *Poincianella bracteosa*. Para biomassa total as equações apresentaram bons ajustes, porém por compartimento das árvores não foi possível se obter boas equações, a acuracidade dos ajustes melhorou quando foi feito a estratificação por espécie, mas mesmo assim o ajuste foi um pouco menor que em outras formações com características similares da Caatinga. Para nitrogênio, fosforo, potássio, magnésio e enxofre não foi possível gerar equações que representassem toda a amostra apenas para cálcio foi possível ser ter equações globais para a amostra total e para fuste total, quando se fez a estratificação por espécie já foi possível ter equações para a maioria das espécies, destaque para a espécie *Poincianella bracteosa*, onde as equações ajustadas para esta sempre tiveram bons ajustes, só não foi possível gerar equação para essa espécie quando se tentou ajustar enxofre para as folhas.

Palavras Chaves: Semiárido, manejo florestal, modelos matemáticos, equações, Índice de ajuste.

ABREU, JADSON COELHO DE **Modeling of biomass and nutrients Caatinga species in the city of Floresta-PE**. Adviser.: José Antônio Aleixo da Silva. Comitê: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

ABSTRACT

The aim of this study was to test different mathematical models, to estimate the biomass and nutrients from the aerial parts of the main species in the Caatinga Floresta, Pernambuco State, Brazil. and select the best equation based on statistical criteria commonly used. This study was conducted in an area of about 50 ha (8 ° 30'37 "S and 37 ° 59'07" W) with a Caatinga Itapemirim the farm, with a extension of approximately 6,000 ha,. Of the five species with the highest importance were selected 20 individuals per species, and for these, based on their dendrometric variables were tested different mathematical models to make an estimate of the amount of biomass and nutrients present in these species from a base data, using as dependent variable the weight in kg of biomass and other nutrients (Mg, N, P, K, S, Ca) as independent variables and the diameter at breast height (1.3 m), the total height and commercial the tree. We generated 91 equations but the model $Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2_i + \beta_2 (DAP^2 H)_i + \varepsilon_i$ ε_i was what generated most equations 16 in total equivalent to 17.58% of the equations created, adjusting the total nitrogen of *Aspidosperma pyrifolium*, and total nitrogen in leaves, total phosphorus, total potassium and leaves of *Cnidoscolus quercifolius*, and total nitrogen in leaves, phosphorus and total calcium in the branches, the stems, leaves, twigs, magnesium and sulfur in the bole of *Anadenanthera colubrina*. Among the models that could generate the equations that stood out was the least 15 Weibull model that considered the independent variable height adjusting only for total sulfur *Poincianella bracteosa*. For total biomass equations showed good fits, however by housing the trees was not possible to obtain good equations, the accuracy adjustments improved when the stratification was done by species, but even then the fit was a little smaller than in other configurations with features similar Caatinga. For nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and sulfur could not generate equations that represent the entire sample only calcium could be to have global equations for the total sample and for total bole, when did stratification by species has been possible to have equations for most species, especially the species *Poincianella bracteosa* where the equations adjusted for this have always had good fits, just could not generate equation for this species when it tried to adjust sulfur leaves.

Key Words: Semiarid, forest management, mathematical models , equations, index adjusting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema e mapa de localização do município e da fazenda Itapemirim, Floresta – PE. (FONTE: ALVES JUNIOR, (2010)).....	28
Figura 2: Espécies com maior valor de importância em Floresta-PE, sendo elas (A) <i>Poincianella bracteosa</i> , (B) <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , (C) <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , (D) <i>Cnidocolus quercifolius</i> e (E) <i>Anadenanthera colubrina</i> (Fonte: CNIP, 2012).	29
Figura 3: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde total, em uma área de caatinga no município de Florestal-PE.....	36
Figura 4: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde total de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	38
Figura 5: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde do fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	40
Figura 6: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde de folhas de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	43
Figura 7: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde de galhos de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	45
Figura 8: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio total de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	47
Figura 9: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio do fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	49
Figura 10: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio de folhas de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	51
Figura 11: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio de galhos de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>s</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.	53
Figura 12: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo total de quatro espécies em estudo sendo <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	55
Figura 13: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo do fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , em Florestal-PE.....	57
Figura 14: Distribuição gráfica do resíduo das equações selecionadas para Fósforo nas folhas de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Cnidocolus quercifolius</i> , em Florestal-PE.....	58

Figura 15: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo nos galhos de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	60
Figura 16: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio total de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	62
Figura 17: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio no fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , em Florestal-PE.....	64
Figura 18: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para potássio nas folhas de duas espécies em estudo sendo <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , em Florestal-PE.....	65
Figura 19: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio nos galhos de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	67
Figura 20: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio total e do fuste, em uma área de caatinga no município de Florestal-PE.....	68
Figura 21: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio total <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	70
Figura 22: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio do fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	73
Figura 23: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio nas folhas <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE.....	75
Figura 24: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio nos galhos de quatro espécies em estudo sendo <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	77
Figura 25: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio total de quatro espécies em estudo sendo <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Florestal-PE	79
Figura 26: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio no fuste de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , <i>Cnidoscopus quercifolius</i> , <i>Anadenanthera colubrina</i> em Floresta-PE	81
Figura 27: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio nas folhas de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> em Floresta-PE	83
Figura 28: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio nos galhos de <i>Poincianella bracteosa</i> , <i>Mimosa ophtalmocentra</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> , em Floresta-PE	85

- Figura 29: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre total de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra*, *Aspidosperma pyriformium*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE..... 87
- Figura 30: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre no fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra*, *Cnidocolus quercifolium*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE 89
- Figura 31: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre nos galhos de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra*, *Aspidosperma pyriformium*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE..... 91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de classes de circunferência e suas amplitudes utilizadas no estudo em uma área de caatinga no município de Floresta-PE, Brasil. (FONTE: Alves (2011)).	30
Tabela 2: Modelos matemáticos para ajuste de equações de biomassa e nutrientes.	32
Tabela 3: Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações selecionadas para a biomassa verde geral para espécies da caatinga, Floresta-PE. Em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	35
Tabela 4: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde total para as cinco espécies da caatinga, Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	36
Tabela 5: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	39
Tabela 6: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde de folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	41
Tabela 7: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde de galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	44
Tabela 8: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o nitrogênio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	46
Tabela 9: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	48
Tabela 10: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio de folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	50
Tabela 11: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	52
Tabela 12: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.	54
Tabela 13: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo do fuste para as espécies da	

	Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	56
Tabela 14:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	58
Tabela 15:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	59
Tabela 16:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Potássio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	61
Tabela 17:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio no fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	63
Tabela 18:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	65
Tabela 19:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	66
Tabela 20:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio total e do fuste para espécies da caatinga, Floresta-PE. Em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	68
Tabela 21:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	69
Tabela 22:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	71
Tabela 23:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	74
Tabela 24:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio de galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	76
Tabela 25:	Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.....	78

- Tabela 26: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio no fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa..... 80
- Tabela 27: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa..... 82
- Tabela 28: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa. 84
- Tabela 29: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa..... 86
- Tabela 30: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa..... 88
- Tabela 31: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa..... 90
- Tabela 32: Equações Criadas para estimar biomassa e nutrientes de espécies da caatinga em Floresta-PE, em que IAaj: índice de ajuste ajustado, Sxy: erro padrão da estimativa, DAP: diâmetro a altura do peito, HT: altura total, Hc: altura comercial, B=biomassa verde, N=nitrogênio, P=fosforo, K=potássio, Ca=cálcio, Mg=magnésio, S=enxofre. 92

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Caatinga.....	18
2.2 Biomassa Florestal	19
2.3 Nutrientes.....	22
2.4 Modelagem Matemática	25
3. MATÉRIAS E MÉTODOS	28
3.1 Área de Estudo.....	28
3.2 Banco de dados	29
3.3 Quantificação da biomassa e nutrientes	29
3.4 Ajuste dos modelos	32
3.4 Seleção da Melhor Equação.....	33
4. RESULTADOS	35
4.1 Equações para estimar Biomassa Verde	35
4.2 Equações para estimar Nitrogênio.....	46
4.3 Equações para estimar Fósforo	53
4.4 Equações para estimar Potássio.....	60
4.5 Equações para estimar Cálcio.....	67
4.6 Equações para estimar Magnésio.....	78
4.7 Equações para estimar Enxofre	85
5. DISCUSSÃO	95
6. CONCLUSÕES	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro apresenta cerca de 56% de sua superfície coberta com uma vegetação denominada Caatinga, que se caracteriza por uma baixa produtividade de madeira e pequena diversidade de espécies em relação à floresta tropical úmida. Nessa região predomina o tipo climático semiárido, com um período seco de aproximadamente 9 meses, sendo a precipitação média anual de 503 mm. A temperatura média é de 26,1°C, não apresentando grandes variações, os solos são em geral rasos e de baixa fertilidade (NOGUEIRA, 2006).

O Sertão de Pernambuco se tornou uma das regiões onde as formações nativas estão sendo intensivamente exploradas, principalmente, as áreas de Caatinga, que apesar de se encontrarem extremamente fragmentadas e descaracterizadas estruturalmente e floristicamente, vários produtos e benefícios diretos e indiretos podem ser extraídos dos seus povoamentos florestais nativos. destacando-se a matéria-prima para processamento industrial, energia industrial e doméstica, regulação do fluxo e suprimento de água para abastecimento doméstico, industrial e energético, renovação e manutenção da qualidade de vida ambiental, controle de qualidade de ar, de erosão e de sedimentação, recreação e lazer, beleza cênica, saúde pública, preservação e conservação da biodiversidade, etc. Entretanto, a renovabilidade desse recurso depende do grau, tipo e intensidade de sua utilização (ALVES JUNIOR, 2010).

Segundo Schacht et al.(1989), quase 40% da área original da Caatinga é recoberta de vegetação nativa. A maior parte dessa vegetação é usada para produção de lenha, seja como finalidade principal, seja como produto da abertura de áreas para plantio no sistema de agricultura itinerante. Outra parte é usada como pastagem nativa, com os animais consumindo a vegetação herbácea presente na época de chuvas e as folhas de árvores e de arbustos que caem ao longo da estação seca.

Conforme Riegelhaupt e Pareyn (2010) o uso de lenha e carvão no Nordeste teve início com o processo de ocupação pelo homem, quando a lenha e carvão vegetal eram as únicas fontes locais de energia disponível. Até 1974, o uso tradicional de lenha e carvão acompanhou o crescimento da população regional.

Com a crise do petróleo em 1974 foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) e implementada uma forte política de redução de uso de hidrocarbonetos, baseado no impulso a geração hidroelétrica, desenvolvimento do PROALCOOL e fixação de quotas decrescentes de óleo BPF para as indústrias. Conseqüentemente, muitas indústrias foram reduzindo ou abandonando o uso de óleo diesel, substituindo por lenha e carvão vegetal (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010).

Com a crescente urbanização a demanda por matérias de construção civil se intensificou, esse processo provocou um grande aumento no consumo de lenha e carvão vegetal, no início dos anos de 1990, sendo que 35% da energia primária consumida na região Nordeste já era obtida destas fontes (CAMPELLO et. al., 1999).

Vale destacar ainda, que apesar da redução da participação em termos percentuais da lenha e carvão vegetal na matriz energética, em números absolutos, o consumo continua crescendo, do ano de 2005 para 2008 houve um acréscimo de $759 \cdot 10^3$ toneladas equivalentes em petróleo - TEP, correspondendo a 2,05% de crescimento (BRASIL, 2009).

O interesse pela quantificação da biomassa florestal vem crescendo muito nos últimos anos, sendo este crescimento relacionado diretamente ao potencial que as florestas tem em acumular carbono atmosférico na sua biomassa. A biomassa florestal pode ser avaliada diretamente, por meio de inventário, ou pelo uso de modelos volumétricos de predição (VISMARA, 2009).

Logo com a criação de equação a partir de modelos matemáticos para se estimar biomassa e nutrientes de espécies da caatinga, se terá suporte para subsidiar os planos de manejo florestal, pois com essas equações será possível fazer estimativas do quanto de biomassa e de nutrientes esta se retirando do ambiente após um processo de colheita, para uma posterior recomposição. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes modelos matemáticos, visando estimar a biomassa e nutrientes das partes aéreas das principais espécies da Caatinga e selecionar os modelos que melhor se ajustaram para cada uma das espécies em estudo em Floresta-PE, com base em critérios estatísticos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caatinga

Defini-se florestas secas, como sendo essencialmente ecossistemas de árvores dominadas, de savanas e crescem em solos ácido distrófico (PENNINGTON et al., 2000).

De acordo com o sistema de classificação Holdridge florestas secas, florestas tropicais e subtropicais ocorrem em áreas onde a biotemperatura média anual é superior a 17 °C, e a média anual precipitação variando de 250-2000 mm. Os vários tipos de florestas e ecossistemas florestais que se enquadram nesta classificação climática, são áreas geralmente de transição entre savanas e semideserto (MURPHY; LUGO, 1986).

Existem na América do Sul três grandes áreas semiáridas: a região Guajira, na Venezuela e na Colômbia; a diagonal seca do Cone Sul, que envolve muitas nuances de aridez ao longo de Argentina, Chile e Equador; e, por fim, o Nordeste seco do Brasil, província fitogeográfica das Caatingas, onde dominam temperaturas médias anuais muito elevadas e constantes (AB'SABER, 1999).

Em regiões onde as condições de umidade são intermediárias entre deserto e savana de um lado e a floresta sazonal ou pluvial do outro, encontra-se as caatingas, que são florestas de vegetação espinhosa. A Caatinga contém pequenas árvores latifoliadas, em diversos casos contorcidos e espinhosas. As folhas caem durante as estações secas; os espinheiros podem cobrir densamente uma área e ocorrer em padrão espalhado ou agrupado (GOMES; VARRIALE, 2004).

Tem um revestimento baixo de vegetação arbustivo-arbórea, ou arbóreo-arbustiva, e muito raramente, arbórea, comportando folhas miúdas e hastes espinhentas, adaptadas para conter os efeitos de uma evapotranspiração muito intensa. Vegetação quase totalmente caducifólia – cinza-calcinada nos meses secos, exuberantemente verde nos chuvosos – com algumas intrusões de pleno xerofitismo, representado por diversas espécies ou comunidades de cactáceas: mandacarus, coroas-de-frade, facheiros, xique-xiques e outros cardos alastrantes. Uma flora constituída por espécies dotadas de longa história de adaptação ao calor e à secura incapaz de restaurar-se, sob o mesmo padrão de agrupamento, após esgarificações mecânicas de seu suporte edáfico (AB'SABER, 1999).

Em trabalhos qualitativos e quantitativos sobre a flora e vegetação da Caatinga, foram registradas cerca de 596 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas. As famílias mais frequentes são, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cactaceae, sendo os gêneros *Senna*, *Mimosa* e *Pithecellobium* os com maiores números de espécies. As catingueiras (*Poincianella* spp.), as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.) são as plantas mais abundantes na maioria dos trabalhos de levantamento florístico realizados em área de Caatinga (PEREIRA, 1998).

Apesar de sua importância, a Caatinga vem sendo degradada e suas alterações tiveram início com o processo de colonização do Brasil, inicialmente como consequência da pecuária bovina, associada a práticas agrícolas rudimentares. Ao passar do tempo, outras formas de uso da terra foram sendo implementadas, tais como a diversificação da agricultura e da pecuária, extração de lenha para produção de carvão e atividades de caça (ZANETTI, 1994).

Além disso, a exploração dos recursos naturais nessa região ocorre sem qualquer tipo de preocupação conservacionista para o uso sustentável, desequilibrando três fatores de bases sustentáveis: o social, econômico e ambiental (SILVA, 2011).

A vegetação da caatinga, em particular o Estado de Pernambuco, embora tenha sido alvo de vários estudos nas áreas de botânica e fitogeografia, revela uma carência acentuada de resultados de pesquisa no campo florestal, principalmente no que diz respeito ao manejo florestal sustentado da caatinga (MARANGON, 2011).

Porém, recentemente essa vertente vem mudando com trabalhos na área do manejo floresta na caatinga, entre eles pode-se citar (ALVES JUNIOR, 2010; LEITE, 2010; ALVES, 2011; DINIZ, 2011; SILVA, 2011; MARANGON, 2011; FERRAZ, 2011; PIMENTEL, 2012; SOUZA, 2012).

2.2 Biomassa Florestal

Desde tempos remotos, o homem vem utilizando o fogo, a tração animal e a energia gerada dos ventos ou das quedas d'água para atender algumas de suas necessidades básicas. É fato conhecido de todos que o desenvolvimento da humanidade está intimamente associado ao aumento do consumo energético e com o uso racional e controlado das diversas fontes de energia (SOARES et al., 2006).

Segundo Machado et al. (2010) a utilização de biomassa, para fins energéticos, é tão antiga quanto à própria civilização. Até o século XVIII, a principal fonte de energia da humanidade era a lenha. O emprego da biomassa como combustível, para geração de média e de larga escala, vem sendo objeto de estudo em diversos países, inclusive no Brasil.

Entende-se por biomassa, em termos energéticos, como um combustível com origem em produtos e resíduos naturais, como sejam os provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos da floresta e indústrias ligadas à floresta, e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (ENERSILVA, 2007).

O termo biomassa representa a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes presentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar. Também possibilita que se tirem conclusões para uma exploração racional dos ecossistemas (CALDEIRA, 2003). Já o termo biomassa florestal significa toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, vem sendo empregado o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea (SANQUETTA, 2004).

A biomassa pode ser expressa em massa verde (MV) ou massa seca na estufa (MS). A massa verde, ou peso verde, refere-se ao material fresco, contendo uma proporção variável de água, sendo utilizado como medida na pesagem de caminhões com carga de madeira.

Massa seca se refere à massa de uma árvore, de um arbusto ou dos componentes casca e galhos, sendo obtida após secagem a 105 °C até peso constante. A medição da produção florestal e unidade de massa são importante em casos como o do uso da madeira para chapas de fibra, celulose e, principalmente, para energia. Como as reações de combustão, gaseificação e pirólise ocorrem entre massas, é importante a determinação do peso dos vários componentes da árvore, e a sua medição tem-se tornado parte dos inventários florestais, o que envolve a sua conversão em biomassa de dados de inventário, implicando também considerações de amostragem (CAMPOS; LEITE, 2009).

A determinação da biomassa está diretamente ligada a questões que envolvem o manejo florestal, uma vez que as informações obtidas no inventário

florestal são a base de pesquisas relacionadas ao uso dos recursos naturais, e as decisões sobre o uso eficiente da terra (URBANO et al., 2008).

Segundo Higuchi et al. (1998), as estimativas de biomassa florestal expressam informações imprescindíveis nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima. No manejo a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral. No caso do clima, a biomassa é usada para estimar os estoques de carbono, que, por sua vez, são utilizados para estimar a quantidade de CO₂ que é liberada à atmosfera durante um processo de queimada.

O acúmulo de biomassa é afetado por fatores do ambiente e fatores da própria planta, entre os quais os que afetam a fotossíntese e a respiração. Os principais fatores são luminosidade, temperatura, concentração de CO₂ do ar, concentração de água, fertilidade do solo e doenças, além dos fatores internos, como idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono (BARICHELLO et al., 2005).

Para Alves (2011) a estimativa da biomassa é uma medida útil para comparar os atributos estruturais e funcionais dos ecossistemas florestais em uma ampla gama de condições do ambiente.

Segundo Witschoreck (2008) o conhecimento da distribuição da biomassa e dos nutrientes nos diferentes compartimentos e fases de desenvolvimento dos povoamentos florestais é indispensável para definição do manejo mais adequado, principalmente no que diz respeito a práticas que visam à manutenção da produtividade, tais como: definição da idade e intensidade de colheita, manejo dos resíduos florestais, adubação de reposição, preparo de solo, entre outras.

Se tratando de estudos confiáveis de biomassa, é necessária, ao menos numa primeira abordagem, a execução de uma amostragem destrutiva, na qual são analisados os diversos componentes da árvore, sendo que a separação e a especificação desses componentes variam de acordo com o tipo de floresta e os objetivos a serem alcançados (SOCHER et al., 2008).

A obtenção do peso individual de árvores, para fazer as estimativas da retirada de nutrientes devido à colheita florestal, é de total importância para estimar a necessidade de reposição de nutrientes retirados e para a orientação no manejo florestal, visando à sustentabilidade da produção (SILVA et al., 2004).

Para Higuchi e Carvalho (1994) os estudos da biomassa florestal dividem-se em método direto ou determinação e método indireto ou estimativas. Determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por uma balança ou um dinamômetro. Todas as árvores de uma determinada parcela são desbastadas e pesadas, sendo feito em seguida a extrapolação da avaliação amostral para a área total (SILVEIRA, 2009). A estimativa da biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-las com algumas variáveis de fácil obtenção como (DAP, altura e área basal), essas relações são feitas por meio de modelagem matemática, essa que nada mais é que explicar um determinado fenômeno por um modelo matemático.

2.3 Nutrientes

As florestas, em grande parte, estão estabelecidas em solos pobres em nutrientes minerais, o que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Deste modo, os nutrientes no processo de ciclagem passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa, sendo esse processo denominado de equilíbrio dinâmico (SELLE, 2007).

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, plantados ou naturais, tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes nesses ambientes, não só para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal para recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade de sítios degradados em recuperação (SOUZA; DAVIDE, 2001).

Dentro de um ecossistema florestal, a manutenção da capacidade produtiva do sítio, só será mantida a longo prazo, quando as perdas de nutrientes, pela erosão e utilização da biomassa, forem repostas de forma eficiente. No entanto, é fundamental estabelecer quanto de biomassa é produzida e a quantidade de nutrientes que é exportada pelas espécies florestais. O manejo eficiente de um povoamento florestal também está ligado à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo com o que é assimilado novamente pelas raízes (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001).

Logo, estimar a exportação de macro e micronutrientes por meio dos diferentes compartimentos é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LA TORRACA et al., 1984).

Como a ciclagem de nutrientes estuda as adições e perdas de nutrientes de um ecossistema pelos mais diferentes processos naturais, cabe também a ela o estudo das adições e perdas de nutrientes por meio das intervenções do homem. Nos ecossistemas florestais, a colheita de madeira é uma das atividades que mais contribui para a exportação de nutrientes (TEO, 2009). Uma grande atenção vem sendo dada ao movimento de nutrientes dentro da árvore (ciclagem interna) e dessa com o solo por meio da queda de folhas, pois os fluxos de nutrientes ali presentes são controlados por mecanismos de conservação de nutrientes, visto que a maioria das florestas ocorre em solos de baixa fertilidade (SILVA et al., 1998).

Segundo Canavesi (2004) o entendimento do ciclo do carbono, nitrogênio e outros nutrientes, têm feito com que a exploração florestal inove seus princípios. Já é sabido que grande parte dos nutrientes presentes em uma árvore se concentra nas folhas, galhos e casca e a quantificação dos nutrientes nesses componentes tem contribuído para que a exploração florestal seja feita de uma maneira mais racional, em que restos de culturas que antes eram descartados sejam incorporados ao solo, diminuindo assim a degradação deste. Nas florestas nativas é importante saber a quantidade de nutrientes que são fixados pelas plantas e qual o ganho que o meio ambiente está tendo com a preservação desses ecossistemas.

A quantidade de nutrientes exportados com a madeira retirada depende da idade das árvores. No início da formação do cerne, parte dos nutrientes móveis, como o N, P e K são translocados para outras partes da árvore, pela da ciclagem interna dos nutrientes, enquanto que o Ca acumula-se no caule. Dependendo das condições do sítio, alguns destes nutrientes podem ser limitantes para o crescimento das árvores nas rotações futuras (MORO, 2005).

Os macronutrientes são os elementos básicos necessários em maior volume às plantas. São eles: carbono, oxigênio, hidrogênio - retirados do ar e da água - e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre retirados do solo, sob condições naturais.

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas, em muitos sistemas de produção, a

disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNSTOCK, 2000).

O fósforo (P) é considerado um macronutriente essencial, logo após o nitrogênio, e, portanto, pode limitar o crescimento da planta, tendo em vista sua atuação estrutural, funcional e na transferência de energia (INUI, 2009).

A importância do potássio (K) para as plantas é devido às suas diversas funções, participando de processos osmóticos, da síntese de proteínas, da abertura e fechamento de estômatos, da permeabilidade da membrana, do controle do pH e da ativação de cerca de 60 sistemas enzimáticos (MALAVOLTA et al., 1997).

O Cálcio (Ca) é fundamental para o crescimento e desenvolvimento da planta, sendo mediador de muitas reações químicas, a maioria das atividades desses nutrientes está relacionado a sua capacidade de coordenação, providenciando estabilidade e ligação moleculares reversíveis, predominantes na membrana plasmática da parede celular (MANFREDINI, 2008).

A função mais conhecida do Magnésio (Mg) é a de compor a molécula da clorofila, que são porfirinas magnesianas; o Mg corresponde a 2,7% do peso das mesmas e representa cerca de 15 a 20% do Mg total das folhas das plantas. Além desta, outras importantes funções são desempenhadas pelo Mg, como a ativação enzimática; ativando mais enzimas de qualquer outro elemento na planta. Nesse caso, o principal papel do Mg é atuar como cofator de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou ADP e a molécula da enzima (FAQUIM, 2005).

O enxofre (S) exerce papel essencial no metabolismo das plantas, pois, além de fazer parte de aminoácidos essenciais (cisteína e metionina) e de proteínas, desempenha outras funções como ativador enzimático, na fotossíntese participa da síntese de clorofila, da absorção de CO₂ da atividade da carboxilase e ribose-2P e de reações de fosforilação, é essencial ainda no processo do N por leguminosas (MALAVOLTA, 1979).

Sabe-se que com o conhecimento da biomassa pode-se ter uma noção da quantidade de nutrientes armazenados nas espécies arbóreas e/ou de ecossistemas florestais, o que se faz necessário para aumentar a eficiência no manejo dos povoamentos e estabelecer um balanço nutricional adequado. No entanto, a utilização de equações de regressão para estimar a biomassa e a quantidade de

nutrientes dos componentes em povoamentos futuros permite, entre outros fatos, a utilização de métodos não-destrutivos, principalmente quando se trata do sistema radicular, que é de difícil amostragem (SAIDELLES et al., 2010).

2.4 Modelagem Matemática

Um modelo matemático é uma representação quantitativa dos processos e trocas que ocorrem em determinado sistema. É claro que, como uma imagem simplificada da realidade, o modelo nunca conterà todas as nuances do sistema real, mas deve necessariamente possuir as características essenciais do problema a ser resolvido ou descrito, ou seja, a criação de modelos depende do seu objetivo (ANGELINI; GOMES, 2008).

Segundo Silva (2008) a modelagem matemática é baseada em hipóteses que tentam representar fenômenos físicos ou biológicos, com a finalidade de gerar uma equação que possa estimar quantitativamente tal(is) fenômeno(s) a um determinado nível de probabilidade.

Modelos matemáticos são utilizados em muitos campos da atividade humana, como: Matemática, Economia, Física, Química, Biologia, Psicologia, Comunicação, Demografia, Astronomia, Engenharia, etc. (SODRÉ, 2007).

Segundo Gomes e Varriale (2004) os modelos matemáticos envolvem alguma quantidade estocástica ou aleatória, ou seja, sempre estará associado a um erro. Quando o modelo não possui um erro associado ele é denominado de determinístico.

Os diversos modelos encontrados na literatura podem ser divididos em dois grupos: modelos lineares e modelos não lineares intrinsecamente lineares que podem ser ajustados pelos métodos dos mínimos quadrados e intrinsecamente não lineares, que são ajustados por métodos matemáticos iterativos. Os modelos não lineares intrinsecamente lineares podem ser linearizados e ajustados usando o método dos mínimos quadrados (BATISTA; COUTO, 1986; GOMES; VARRIALE, 2004). Quando não existirem propriedades que permitam tal ação os métodos para promover as estimativas dos parâmetros pode-se utilizar Marquardt, Gauss-Newton e o Gradiente (SCOLFORO, 2005).

O modelo linear normal, criado no início do século XIX por Legendre e Gauss, dominou a modelação estatística até meados do século XX, embora vários modelos

não lineares ou não normais tenham sido desenvolvidos para fazer face às situações que não eram adequadamente explicadas pelo modelo linear normal (TURKMAN; SILVA, 2000).

Para Scolforo (2005) muitos profissionais que atuam na área técnica, na administração ou na pesquisa florestal necessitam, com frequência, quantificar variáveis que apresentam um alto custo para que sejam mensuradas em grande escala. Muitas vezes, mesmo com um alto custo, é totalmente inviável a sua mensuração, já que implicam na restrição da base de dados. Pode-se citar, como exemplo, a determinação do volume de árvores, o seu peso de matéria seca, a densidade da madeira ou alguma outra característica tecnológica, os sortimentos que a árvore pode propiciar e muitas outras possibilidades. Uma alternativa que tem sido utilizada com sucesso é fazer uso de modelos de regressão nos quais procura-se estimar a variável mais complexa de ser estimar (variável dependente) por meio de uma ou mais variáveis ou, ainda, combinação dessas, que sejam facilmente mensuráveis (variáveis independentes).

Segundo Morales (2006) a análise de regressão é uma ferramenta estatística que explora a relação entre variáveis quantitativas (ou qualitativas). Para Sanquetta et al. (2009) a regressão é a ferramenta utilizada para a construção de equações a partir de modelos matemáticos. É a técnica que permite analisar a relação existente entre duas ou mais variáveis e tem como objetivo estimar a variável de difícil mensuração em função da(s) variável(is) de fácil mensuração.

Em relação à comparação e seleção entre modelos de regressão, utilizam-se vários critérios estatísticos. No entanto, Finger (1992) relatou que, em geral, a maioria dos autores usa o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão da estimativa (S_{yx}), em conjunto, como critérios de comparação, analisando também a distribuição do resíduo.

Quando a transformação na variável dependente é do tipo logarítmica, se usa fator de correção da discrepância logarítmica, esse proposto por Meyer (1943), em que se esse corrige as estimativas dos modelos logarítmicos e a partir dele se obtém novos valores de R_{aj}^2 e $S_{xy}(\%)$ para assim esses modelos poderem ser comparados com modelos aritméticos.

Um outro aspecto que deve ser considerado na avaliação de um modelo são as condicionantes da regressão, sendo eles, homogeneidade da variância, independência e normalidade (SCHNEIDER et al., 2009).

A modelagem matemática se torna uma ferramenta importante para o manejo florestal, pois com a criação de equações para se determinar, volume, biomassa e teor de nutrientes, o Engenheiro responsável vai ter um grande leque de opções para se tomar as decisões para melhor utilizar os recursos naturais.

3. MATÉRIAS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado em uma área com cerca de 50 ha ($8^{\circ}30'37''$ S e $37^{\circ}59'07''$ W) com vegetação de Caatinga na Fazenda Itapemirim, com extensão de aproximadamente 6.000 ha, na mesorregião do São Francisco pernambucano (FIGURA 1).

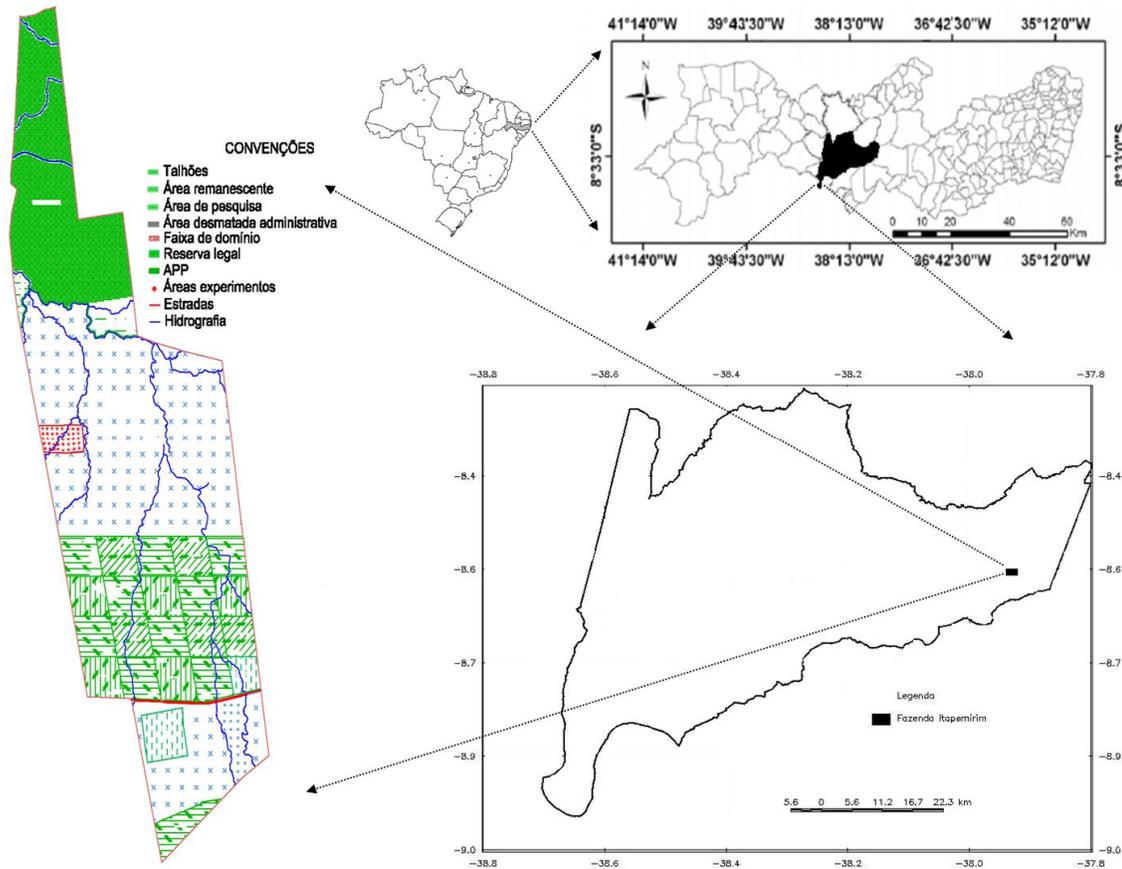


Figura 1: Esquema e mapa de localização do município e da fazenda Itapemirim, Floresta – PE. (FONTE: ALVES JUNIOR, (2010)).

O município de Floresta é banhado pela bacia hidrográfica do Rio Pajeú e seu clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, semiárido quente, apresentando precipitação média anual de aproximadamente 503 mm, com período chuvoso de janeiro a abril, e temperatura média anual de 26,1 °C. O município possui uma área de 3.643,97 Km² e uma altitude média de 323 m (ALVES JUNIOR, 2010).

3.2 Banco de dados

As espécies utilizadas nesse estudo foram selecionadas usando como base as informações obtidas em um inventário florestal realizado na área, desenvolvido por Alves (2011). foram selecionadas para o estudo as cinco espécies de maior valor de importância na área. Destas espécies foram selecionados 20 indivíduos por espécie, sendo elas *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz (Catingueira), *Mimosa ophtalmocentra* Mart. ex Benth (Jurema de embira), *Aspidosperma pyrifolium* Mart (Pereiro), *Cnidoscolus quercifolius* (Mull. Arg.) Pax. & Hoffm (Faveleira), *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul (Angico), essas espécies estão na Figura 2.



Figura 2: Espécies com maior valor de importância em Floresta-PE, sendo elas (A) *Poincianella bracteosa*, (B) *Mimosa ophtalmocentra*, (C) *Aspidosperma pyrifolium*, (D) *Cnidoscolus quercifolius* e (E) *Anadenanthera colubrina* (Fonte: CNIP, 2012).

3.3 Quantificação da biomassa e nutrientes

A análise da quantificação da biomassa da parte aérea foi realizada com base na estrutura diamétrica encontrada no inventário florestal na área avaliada. As cinco

espécies de maior valor de importância foram divididas em cinco classes de circunferência com amplitude de 3 cm, a partir da circunferência na altura do peito (CAP) de 6 cm.

No inventário realizado na área foram abatidas três árvores representativas da circunferência média de cada classe, para análise da produção de biomassa da parte aérea, totalizando 15 indivíduos de cada espécie e 75 árvores. Em seguida foram abatidas mais uma árvore por classe de diâmetro para compor a amostra sendo que passou a se ter 20 indivíduos por espécie totalizando 100 árvores.

Tabela 1: Número de classes de circunferência e suas amplitudes utilizadas no estudo em uma área de caatinga no município de Floresta-PE, Brasil. (FONTE: Alves (2011)).

Classes	Amplitude de Classe (cm)
1	6-12
2	12,1-18
3	18,1-24
4	24,1-30
5	>30

A escolha dos indivíduos foi feita de forma aleatória, evitando-se plantas parcialmente cortadas, queimadas ou tombadas e de forma a cobrir a classe de diâmetro previsto. Cada planta escolhida teve medida sua circunferência à altura do peito (CAP) a 1,30 m. Em seguida as circunferências à altura do peito (CAP) foram convertidas em diâmetros à altura do peito (DAP). Posteriormente, as árvores foram cortadas e tiveram altura total (HT) e a altura do tronco comercial (HC) medidos. Após o processo de mensuração das variáveis dendrométricas foi feito a separação dos compartimentos das árvores em fuste, galhos e folhas.

No processo de determinação da massa verde e amostragem dos componentes da parte aérea, seguiu a metodologia adotada por Alves (2011), onde foram utilizadas as árvores escolhidas para amostra, essas árvores foram derrubadas e em seguida foram desfolhadas e suas folhas inicialmente ensacadas e pesadas. Posteriormente, elas foram colocadas sobre uma lona, misturadas e, em seguida, retirou-se uma amostra de folha variando entre 100 e 200 g.

Depois de desfolhadas, cada árvore foi desgalhada e os seus galhos foram pesados. Dos galhos localizados em diferentes posições da copa, foram retirados pedaços aleatórios, de modo a formar uma amostra homogênea composta, de cerca de 100 g.

Para amostragem do fuste, foi coletada uma pequena tora do fuste de aproximadamente 20 cm de comprimento. Os toretes de cada árvore-amostral foram numerados, identificando-se a classe de CAP à qual pertenciam. Nas amostras de folhas, galhos e fuste foram determinados os seus pesos secos. No laboratório, as amostras úmidas foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, para secar, à temperatura de 70°C, até a estabilização do seu peso seco e, em seguida folhas e galhos foram pesadas e moídas para serem analisadas, para o fuste uma amostra de pó de serra, com aproximadamente 50 g, foi retirado do torete amostrado de cada árvore com a finalidade de realizar as análises químicas. Para essas análises químicas, foram utilizados dados de 50 árvores, sendo 10 de cada espécie.

Para cada componente da parte aérea das 50 árvores amostradas para as análises químicas, o peso total e peso de amostras úmidas, obtidos no campo, foram usados para obtenção da biomassa seca, usando-se a expressão abaixo (SOARES, et al., 2011).

$$Bs = \frac{Pu(c).Ps(a)}{Pu(a)}$$

Em que: Bs= Biomassa seca total (Kg), Pu(c)= peso úmido total no campo (Kg), Ps(a)=peso seco da amostra (kg), Pu(a) peso úmido da amostra (Kg).

As determinações dos nutrientes N, P, K, S, Mg, Ca, foram realizadas em três laboratórios. Os dados provenientes do primeiro inventário foram analisados no Laboratório de Química Orgânica do Departamento de Agronomia da UFPI no campus Bom Jesus-PI. Já os dados do inventário para compor a amostra foram feitos nos laboratórios de Bioquímica Vegetal, da Universidade Federal Rural de Pernambuco e da Universidade Estadual de Londrina. A quantidade de nutrientes foi determinada em g/Kg e o total das árvores amostradas foi determinado multiplicando a concentração em g/Kg pelo valor total de biomassa seca.

As determinações dos macronutrientes nas folhas, galhos, cascas e fuste foram realizados segundo a metodologia descrita por (SILVA, 2009). Os extratos da matéria seca para análise de P, K, S, Ca e Mg foram obtidas através da digestão úmida usando-se HNO₃:HCl na proporção (2:1) e o N foi obtido através da digestão sulfúrica usadas na extração de matéria seca. Os teores de fósforo (P) foram analisados por colorimetria com UV-Vis em 420 nm. O potássio (K) foi determinado

pela técnica de fotometria de emissão de chama. O enxofre (S) foi quantificado pelo o método de turbidimetria, usando se o espectrofotômetro no mesmo comprimento de onda. A determinação de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi realizada por meio do espectrofotômetro de absorção atômica.

3.4 Ajuste dos modelos

Com a obtenção dos dados de biomassa verde para 100 árvores e de nutrientes para 50 arvores procedeu-se o ajuste dos modelos matemáticos para a estimativa de biomassa e nutrientes, os modelos utilizados são lineares, não lineares intrinsecamente lineares e intrinsecamente não lineares. Os modelos lineares e não lineares intrinsecamente lineares foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados e os modelos não lineares intrinsecamente não lineares foram ajustados pelo método matemático iterativo de Gauss Newton.

Os modelos matemáticos utilizados para estimativa da biomassa e nutrientes, baseados em Sanquetta et al. (2009), Scheneider et al. (2009) e Ratuchne (2010) (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos matemáticos para ajuste de equações de biomassa e nutrientes.

	Modelo	Autor
1	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 + \beta_2 H_i^2 + \beta_3 (DAP_i^2 H_i) + \epsilon_i$	
2	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 H_i + \epsilon_i$	
3	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 (DAP_i^2 H_i) + \epsilon_i$	
4	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 DAP_i^2 + \beta_3 (DAP_i^2 H_i) + \epsilon_i$	
5	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 + \beta_2 (DAP_i^2 H_i) + \epsilon_i$	
6	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP_i^2 H_i) + \ln \epsilon_i$	Spurr
7	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP_i^3) + \ln \epsilon_i$	
8	$Y_i = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2} \epsilon_i$	Schumacher e Hall
9	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i + \ln \epsilon_i$	
10	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP_i^2) + \ln \epsilon_i$	
11	$Y_i = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln DAP_i + \beta_2 \ln H_i^2} \epsilon_i$	
12	$Y_i = \beta_0 e^{[(\ln DAP_i - \beta_1) / \beta_2]} + \epsilon_i$	Log-Normal
13	$Y_i = \beta_0 e^{[(\ln H_i - \beta_1) / \beta_2]} + \epsilon_i$	Log-Normal
14	$Y_i = \beta_0 \cdot \exp[\beta_1 (\beta_2^{DAP_i} + \beta_3^{H_i})] + \epsilon_i$	Silva e Bailey
15	$Y_i = \beta_0 - \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot DAP_i^{\beta_3}) + \epsilon_i$	Weibull
16	$Y_i = \beta_0 - \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot H_i^{\beta_3}) + \epsilon_i$	Weibull
17	$Y_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 \cdot DAP_i)]^{\beta_2} + \epsilon_i$	Chapman-Richards
18	$Y_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 \cdot H_i)]^{\beta_2} + \epsilon_i$	Chapman-Richards
19	$Y_i = \beta_0 / [1 + \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot DAP_i)] + \epsilon_i$	Logístico
20	$Y_i = \beta_0 / [1 + \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot H_i)] + \epsilon_i$	Logístico

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$ = parâmetros dos modelos; DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; H = altura total e comercial, Y_i = peso verde da biomassa, teor de N, P, K, S, Ca, Mg e ϵ_i = erro aleatório.

3.4 Seleção da Melhor Equação

A seleção das melhores equações para estimativas da biomassa e de nutrientes foi realizada com base nos seguintes critérios estatísticos;

Índice de ajuste (SCHALAEGL, 1981):

$$IA(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \cdot 100$$

Em que: IA% = Índice de Ajuste em percentagem; y_i = Valor observado (real); \hat{y}_i = Valor estimado pela equação de regressão; \bar{y} = Médias dos valores observados.

Esse método foi desenvolvido para os modelos não lineares intrinsecamente não lineares, para os modelos lineares e não lineares intrinsecamente lineares o Índice de ajuste é igual ao coeficiente de determinação (R^2)

Como os modelos testados possuem diferentes números de parâmetros, foi utilizado o Índice de Ajuste Ajustado, expresso por:

$$IAaj = IA - (1 - IA) \cdot \left(\frac{n - 1}{n - p} \right)$$

Em que p = número de variáveis independentes do modelo, n = número de observações e IA = índice de ajuste.

Adotou-se o critério de que equações só seriam consideradas quando o IAaj fosse igual ou superior a 0,7 (70%).

Erro padrão da estimativa $S_{yx}(\%)$;

$$S_{xy}(\%) = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}} \cdot 100$$

Em que $S_{xy}(\%)$ = Erro padrão da estimativa percentual, QMR = quadrado médio do resíduo \bar{y} = média da variável dependente.

Para os modelos logarítmicos foi usado o fator de correção da discrepância logarítmica, esse proposto por Meyer (1943), expresso por:

$$f = e^{\frac{QMR}{2}}$$

Em que f = fator de correção da discrepância logarítmica, e = exponencial QMR = quadrado médio do resíduo.

Calculado o fator de correção para a discrepância logarítmica, esse é multiplicado a equação resultante, assim será obtido o valor estimado corrigido da variável dependente analisada. De posse destes novos valores, serão recalculadas a soma de quadrados dos resíduos (SQResíduo recalculada) e a soma de quadrados da regressão (SQRegressão recalculada), para obtenção dos valores corrigidos de R^2 e $Syx\%$ das equações (RESENDE et al., 2006).

Distribuição dos resíduos;

$$\hat{e}(\%) = \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \cdot 100$$

Em que \hat{e} = Resíduo relativo, \hat{y}_i = estimava da variável dependente y_i = variável dependente.

Todas as análises dos dados foram feitas por meios dos softwares SAS 9.1 (System Analysis Statistical) e Microsoft Excel (2010).

4. RESULTADOS

Foram ajustados 20 modelos matemáticos para biomassa verde total e para cada compartimento das espécies em estudo: fustes, galhos e folhas, também foram feitos os ajuste para estimar os macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre).

Muitas equações apresentaram estimativas abaixo de 70% de índice de ajuste ajustado IAaj no momento da validação, sendo que para biomassa verde e nutrientes total e para cada espécie são apresentados as duas equações selecionadas.

4.1 Equações para estimar Biomassa Verde

Considerando todas as espécies juntas, os modelos 8 de Schumacher e Hall que geralmente é ajustado para volume e a modelo 11 apresentaram os melhores ajustes para estimar biomassa verde total (Tabela 3) sendo que Schumacher e Hall foi o indicado pelo fato da equação resultante ter apresentado Sxy um pouco menor que a equação 11, para os compartimentos, de fuste, folhas e galhos, as equações propostas não atingiram o critério de IAaj \geq 70%.

Tabela 3: Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações selecionadas para a biomassa verde geral para espécies da caatinga, Floresta-PE. Em que: b_0, b_1, \dots, b_n , = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Biomassa total						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	0,68702	0,58544	0,65105	-	78,41	29,67
11	0,68702	0,58544	0,32553	-	78,41	29,91

A distribuição gráfica do resíduo para as equações que mais se destacaram para biomassa verde total apresenta variação dos desvios do resíduo, sendo que esse está diminuindo à medida que se aumenta a biomassa verde total (Figura 3).

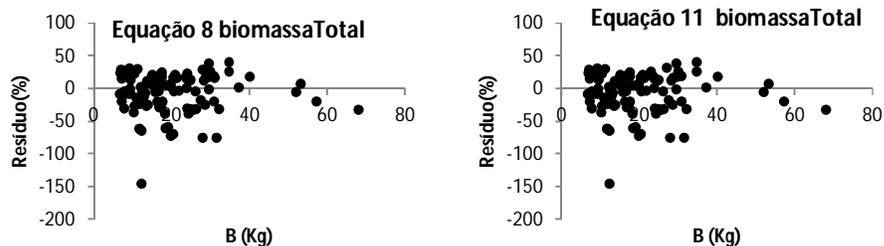


Figura 3: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde total, em uma área de caatinga no município de Florestal-PE.

As equações selecionadas para biomassa verde total ajustada separadamente para cada uma das cinco espécies em estudo, sendo que as equações propostas apresentaram boas estatísticas para biomassa verde total estratificada por espécie (Tabela 4).

Tabela 4: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde total para as cinco espécies da caatinga, Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj = índice de ajuste ajustado e Sxy = erro padrão da estimativa.

Biomassa total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	0,11841	0,75577	0,26359	-0,05644	95,12	12,49
15	59,31764	49,61113	0,001184	3,099728	94,32	13,48
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-7,44589	5,53015	-0,41305	0,03565	91,22	15,94
12	2,360955	0,01	0,892821	-	90,24	16,80
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	1,09367	0,27233			78,72	19,41
8	1,11291	0,44351	0,39373		77,96	19,73
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	1,22879	0,2874			83,02	20,76
10	1,22879	0,4311			82,02	21,76
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
17	54,92921	0,178713	2,490494		91,99	16,68
19	51,63157	16,05867	0,362138		93,45	15,08

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 1 e a 15 de Weibull. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e a 12

Lognormal. *Aspidosperma pyriformium* foi a que apresentou valores mais baixos nos critérios estatísticos entre as cinco espécies em estudo variando entre 74 e 78% de IAaj com valores mais elevados para as equações 6 de Spurr e a 8 de Schumacher e Hall. Para *Cnidocolus quercifolius*, destaque para as equações 7 e 10. Para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 17 de Chapman e Richard e 19 Logística com IAaj = 91,99%; Sxy(%) = 16,68, IAaj = 93,45; Sxy(%) = 15,08.

A distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para a biomassa verde total para as cinco espécies em estudo apresentaram distribuição com muita variação dos desvios entre as espécies sendo que a melhor distribuição foi da equação 1 para a *Poincianella bracteosa* que apresentou uma distribuição tendendo a uniformidade (Figura 4).

Para *Poincianella bracteosa* a equação 1 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo a equação 15 de Weibull, além de apresentar desvios do resíduo com menor variação, logo a equação 1 foi a indicada para se estimar a biomassa verde total da espécie *Poincianella bracteosa*. A equação 4 foi a selecionada para *Mimosa ophthalmocentra*, pois apresentou distribuição gráfica dos resíduos semelhante a equação 12, porém apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy. Para *Aspidosperma pyriformium*, entre as 2 equações selecionadas a equação 6 pode se considerar a indicada, pois seu resíduo tem uma variação menor que a equação 8, e apresentou o Sxy mais baixo. Para *Cnidocolus quercifolius*, a distribuição gráfica dos resíduos confirma melhores estatísticas para as equações 7 e 10, mas a 7 foi selecionada, pois apresentou IAaj mais alto e Sxy mais baixo. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 19 Logística, pois apesar de ter apresentado a distribuição gráfica dos resíduos semelhante a da equação 17 de Chapman e Richard, apresentou IAaj mais alto e Sxy mais baixo (Figura 4).

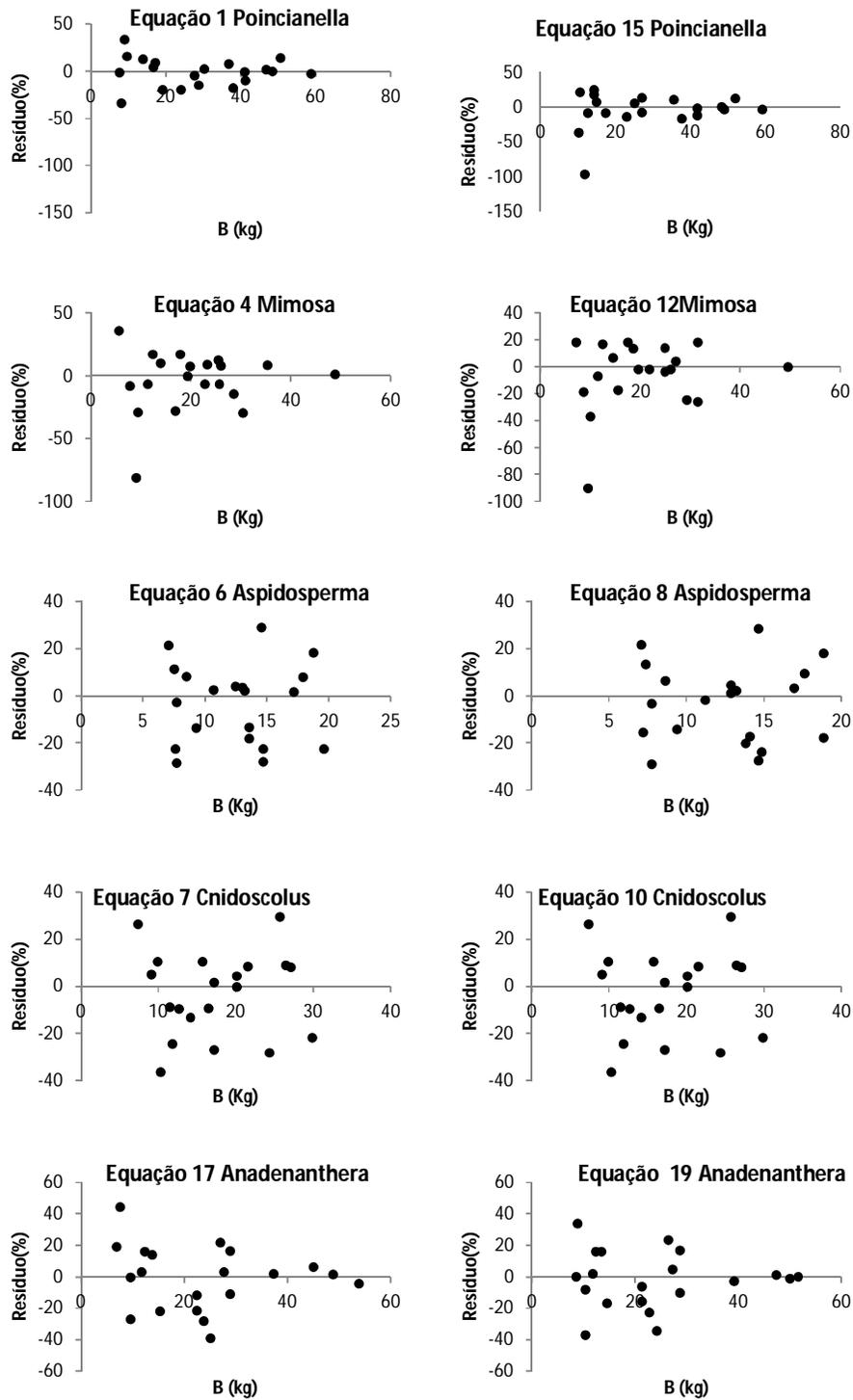


Figura 4: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde total de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

As equações selecionadas para o ajuste da biomassa verde no fuste para as espécies em estudo sendo que não foi possível gerar boas equações para

Aspidosperma pyrifolium devido os baixo valores de IAaj para as equações avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE. Em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Biomassa do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	2,62706	0,25919	0,21975	-0,03077	93,45	14,63
19	32,96352	13,94597	0,322393		93,23	14,87
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	-6,61461	2,00699	1,58676		90,95	18,04
4	-12,05362	5,48046	-0,37473	0,04007	94,22	14,42
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	1,58252	1,20033	-0,59475		74,01	23,67
12	1,345943	0,01	1,090766		74,22	23,58
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
15	5,462067	-19,2479	3274,907	-4,01542	89,29	20,48
19	24,9822	18,05488	0,369333		89,43	20,35

Para a *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram as equações de número 1 e 19 Logística. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 2 e 4. As equações para *Aspidosperma pyrifolium* foram as que apresentaram novamente valores mais baixo nos critérios estatísticos sendo que desta vez não alcançou 70% de IAaj. Para *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 2 e 12 Lognormal, e para a espécie *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 15 de Weibull e 19 Logística.

A distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde do fuste para as 4 espécies que apresentaram IAaj maiores ou iguais a 70% na área de estudo, em que novamente as equações desenvolvidas para a espécie *Poincianella bracteosa*, apresentaram resíduos com menor variação dos desvios e superestimando nas menores concentrações de biomassa (Figura 5).

As equações ajustadas para *Mimosa ophtalmocentra* e *Anadenanthera colubrina*, apresentam distribuições em que a medida que se aumenta a biomassa verde para essas espécies o desvio gerado pelas estimativas das equações

diminuíram. Os desvios para *Cnidoscolus quercifolius*, para as duas equações foram maiores nas menores quantidades de biomassa verde, nos valores intermediários esse desvio diminui, mas voltou a aumentar nas maiores concentrações de biomassa verde (Figura 5).

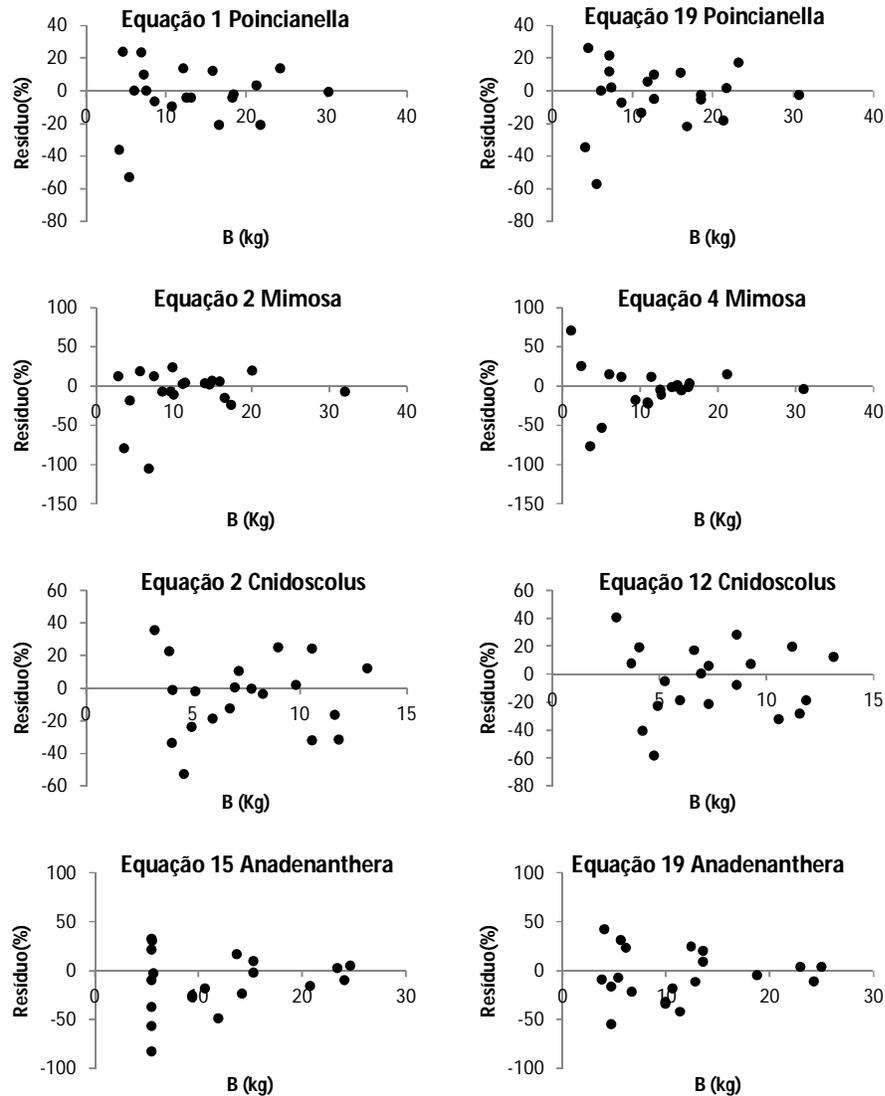


Figura 5: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde do fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação de número 1 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 19 Logística, ambas apresentaram distribuições residuais semelhantes, logo pode se concluir que a primeira equação foi a indicada para se estimar a biomassa verde do fuste para essa espécie.

A equação 4 foi a selecionada para *Mimosa ophtalmocentra*, pois apresentou novamente as melhores estatísticas e uma menor variação dos desvios na distribuição dos resíduos. Para *Cnidoscolus quercifolius*, as equações 2 e 12 Lognormal apresentaram estatísticas muito próximas e distribuição dos resíduos semelhantes, sendo a equação 12 a mais indicada, pois seu IAaj é ligeiramente maior e seu Sxy menor, e ainda é uma equação que apresenta apenas o DAP como variável independente. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 19 Logística, pois mesmo apresentando estatísticas muito próximas com a equação 15 Weibull, a logística apresentou distribuição dos resíduos com menor variação dos desvios

Tabela 6: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde de folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n := coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Biomassa de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	0,91273	0,08629	0,04301	-0,00773	86,78	14,31
3	-0,23576	0,82979	-0,0024		82,39	16,51
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	0,81036	0,30657	-0,14613		77,31	20,89
12	0,385871	0,01	1,133721		77,29	20,90
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	0,76345	0,51505	-0,2711		79,18	20,22
15	5,707184	3,714859	0,000042	4,515548	78,7	20,45
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	-0,37653	0,31214			82,55	13,44
7	-0,16657	0,25898			82,94	14,25
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
15	3,99122	2,497061	0,000204	4,395654	83,13	14,99
19	4,093603	10,7737	0,514011		82,24	15,38

Na tabela 6 estão os ajustes para biomassa verde nas folhas em que para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a equação 1 e 3. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 2 e 12 Lognormal. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram 2 e 15 de Weibull. Para

Cnidoscolus quercifolius, destaque para as equações 6 de Spurr e 7, e para a *Anadenanthera colubrina* assim como na biomassa do fuste destaque para as equações 15 de Weibull e 19 Logística.

Na distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas da biomassa verde nas folhas para as cinco espécies em estudo verificaram-se novamente que as equações obtidas para *Poincianella bracteosa* obtiveram as melhores distribuições, apesar de apresentarem outliers nas menores quantidades de massa verde (Figura 6).

As equações selecionadas para *Mimosa ophtalmocentra* geraram distribuições gráfica dos resíduos em que o desvio foi maior nos menores valores de biomassa, fato que também ocorreu com as equações para *Aspidosperma pyrifolium*. Para *Cnidoscolus quercifolius* o desvio também foi maior nos menores valores de biomassa verde, com uma certa tendência a se homogeneizarem, os resíduos das equações ajustadas para *Anadenanthera colubrina* também apresentaram a mesma tendência (Figura 6).

Para *Poincianella bracteosa* a equação 1 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 3 e apresentou distribuição gráfica dos resíduos semelhante com a da equação 3, com presença de outliers na distribuição residual, concluindo-se que a equação 1 foi a selecionada para se estimar a biomassa verde de folhas para essa espécie (Figura 6).

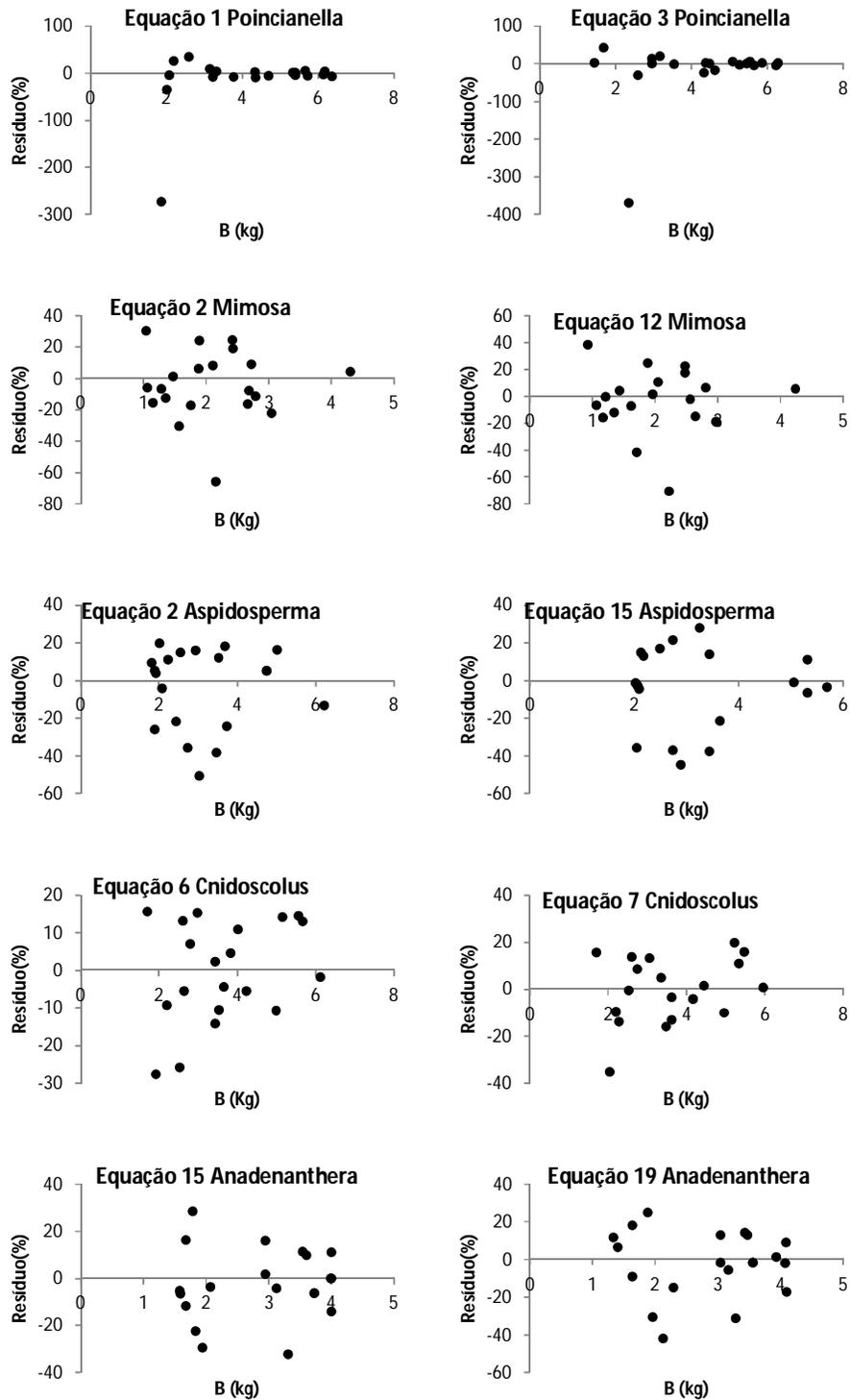


Figura 6: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde de folhas de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

As equações 2 e 12 apresentaram estatísticas e distribuições gráfica dos resíduos semelhantes para *Mimosa ophtalmocentra*, mas a equação 12 tem apenas

DAP como variável independente, sendo considerada a selecionada para essa espécie. Para *Aspidosperma pyrifolium*, entre as duas equações selecionadas a 2 pode se considerar a indicada, pois apresentou as estatísticas mais aceitáveis e uma distribuição dos resíduos com menor variação. Para *Cnidocolus quercifolius*, as equações 6 e 7 apresentaram estatísticas e distribuições gráficas do resíduos semelhantes, porém a 7 foi a selecionada por usar apenas DAP como variável independente. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 15 de Weibull, pois apresentou estatísticas um pouco mais elevadas que a equação 19 Logística. Também apresentaram distribuições gráficas dos resíduos semelhantes, tendendo a homogeneidade.

As equações selecionadas para estimativas da biomassa verde de galhos para as espécies em estudo, em que para apenas 3 espécies os modelos propostos tiveram bons ajustes, gerando boas equações (tabela 7).

Tabela 7: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de biomassa verde de galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n := coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Biomassa de galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	-1,90161	0,41341	0,09929	-0,0312	91,95	18,66
8	-0,81674	0,68797	0,95853		90,54	25,61
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	1,4619	1,09816	-0,42629		79,83	22,69
12	0,958585	0,01	0,995987		80,38	22,38
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
15	22,41047	19,85345	0,002569	2,575889	91,2	19,22
19	22,74502	18,10931	0,353235		91,62	18,76

Para *Poincianella bracteosa* a equação selecionada para biomassa de galhos foi a equação 1 com IAaj = 91,95%; Sxy = 18,66%, a equação 8 de Schumacher e Hall apresentou IAaj = 90,54; porém apresentou o maior erro entre as equações selecionadas Sxy = 25,61%. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 2 e 12 Lognormal. Para *Anadenanthera colubrina* assim como para biomassa do fuste e das folhas destacaram-se as equações 15 de Weibull e 19 Logística.

A distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para a biomassa verde dos galhos para as 3 espécies que tiveram equações com $IA_{aj} \geq 70\%$, (*Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra* e *Anadenanthera colubrina*) mostraram os resíduos superestimados nas menores quantidades de biomassa para os galhos com exceção da equação 8 que apresentou grande variação dos desvios nas menores e maiores quantidades de biomassa verde (Figura 7).

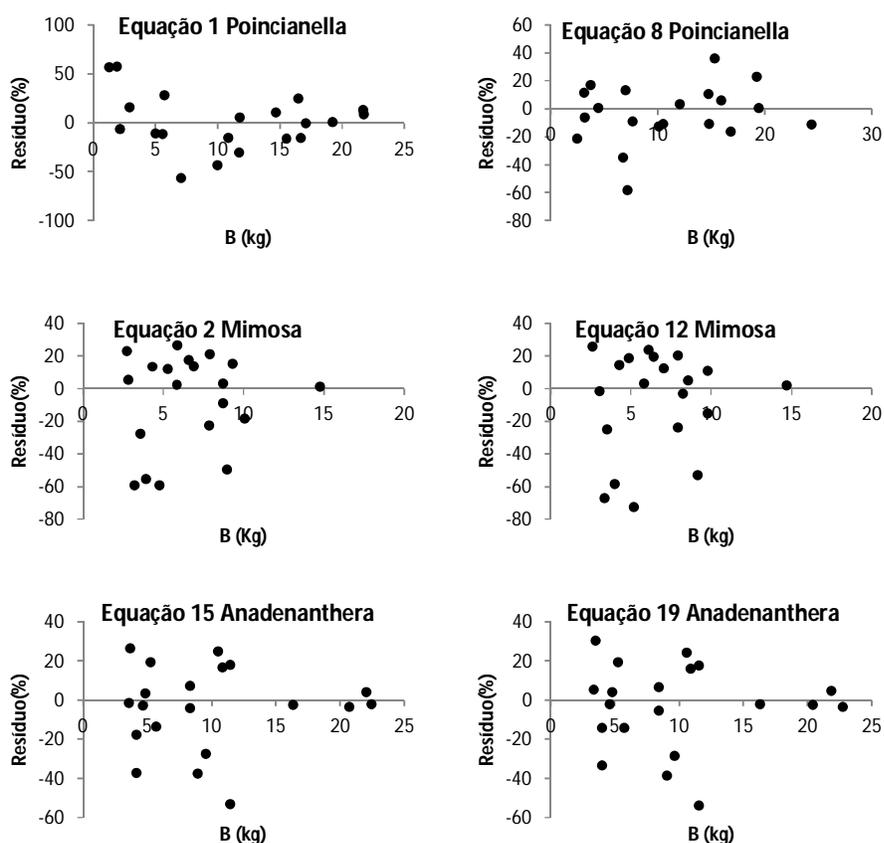


Figura 7: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para biomassa verde de galhos de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 1 apresentou IA_{aj} mais elevado e S_{xy} mais baixo do que equação 8. A distribuição gráfica residual confirmou a seleção da equação 1, pois apresentou menor variação dos desvios, inferindo-se que a equação 1 foi a selecionada para se estimar a biomassa verde de folhas para essa espécie. As equações 2 e 12 apresentaram estatísticas e distribuições gráficas dos resíduos muito próximas para *Mimosa ophtalmocentra*, inferindo-se que as duas podem

estimar a biomassa verde nos galhos para essa espécie, porém a equação 12 Lognormal é mais indicada, por apresentar apenas DAP como variável independente. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 19 Logística, pois apresentou estatísticas melhores que a equação 15 de Weibull, mesmo com distribuições residuais semelhantes.

4.2 Equações para estimar Nitrogênio

Não foi possível ajustar modelos para o nitrogênio total das amostras nem por compartimento das árvores já que em nem um caso as equações resultantes atingiram $IA_{aj} \geq 70\%$, porém pela estratificação por espécies, foi possível obter boas equações para o nitrogênio total (Tabela 8).

Tabela 8: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o nitrogênio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IA_{aj} = índice de ajuste ajustado e S_{xy} = erro padrão da estimativa.

Nitrogênio total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	2,74365	0,42712			91,56	21,62
8	2,76573	0,68308	0,58971		90,69	23,01
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	2,19661	0,45611			88,18	19,54
10	2,19661	0,68417			88,38	16,80
<i>Aspidosperma pyriformium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	80,25838	-2,54954	0,54826		76,18	23,71
14	61,13037	0,008426	1,375633	2,066903	74,57	24,50
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	59,08256	-7,41762	4,15227	-0,43693	73,05	22,48
5	39,63154	3,29374	-0,384		76,24	21,11
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	38,97349	3,48555	-0,11624	-0,16361	86,28	17,80
5	35,81478	3,44182	-0,16838		88,04	16,62

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 6 de Spurr e 8 de Schumacher e Hall. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 7 e a 10. Para *Aspidosperma pyriformium* as equações selecionadas foram a 5

e 14 de Silva e Bailey. Para *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 4 e 5. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 1 e 5.

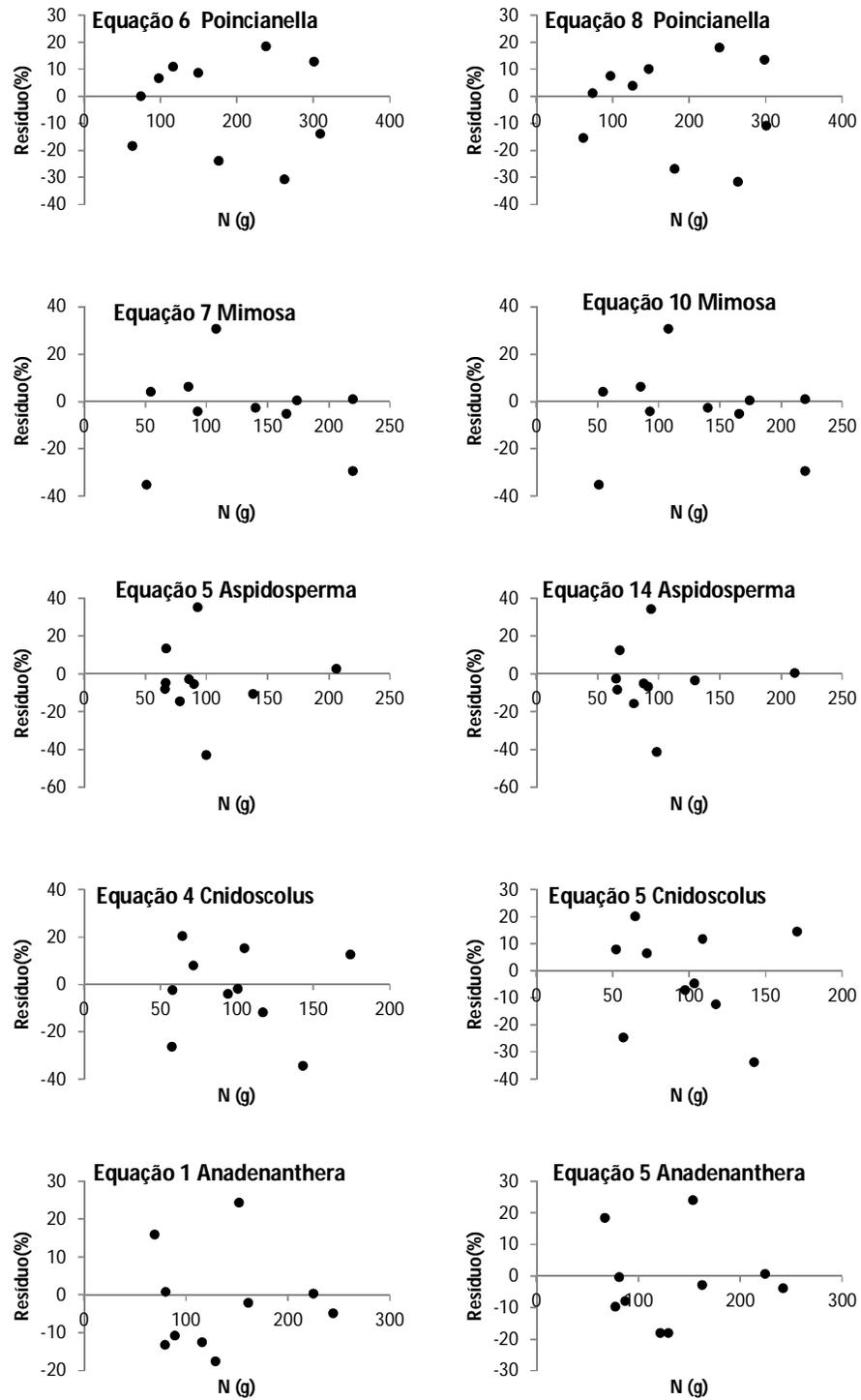


Figura 8: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio total de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Aspidosperma pyriformis*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para nitrogênio total por espécie todas as equações geraram estimativas com variações dos desvios a medida que se aumenta o teor de nitrogênio (Figura 8).

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram superestimativas nos erros dos desvios à medida que se aumenta o teor de nitrogênio, logo equação 6 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 8 podendo ser considerada a melhor para se estimar nitrogênio total para essa espécie. As equações 7 e 10 apresentaram IAaj e distribuições gráficas do resíduos muito próximas para espécie *Mimosa ophtalmocentra*, porem a equação 10 apresentou menor Sxy, logo foi a selecionada.

Para *Aspidosperma pyrifolium*, as equações selecionadas apresentam distribuições residuais semelhantes, sendo selecionada para essa espécie a equação 5, pois apresenta as melhores estatísticas. Para a espécie *Cnidocolus quercifolius*, as equações 4 e 5 apresentaram distribuições residuais muito próximas, sendo que a equação 5 apresentou IAaj mais alto e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, selecionou-se a equação 5, pois apresenta estatísticas melhores que a equação 1 sendo que apresentam distribuições residuais semelhantes.

As equações selecionadas para nitrogênio no fuste ajustada separadamente para cada uma das espécies em estudo sendo que só foram geradas boas equações para *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra* e *Anadenanthera colubrina* (Tabela 9).

Tabela 9: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: $b_0, b_1, \dots, b_n, \dots$ = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Nitrogênio do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	0,92632	0,49601			83,85	43,47
10	0,92632	0,74401			84,84	41,47
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	0,98861	0,49655			72,07	33,28
10	0,98861	0,74483			72,47	33,07
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	36,37439	-8,18795	1,65271	-0,09272	90,27	18,72
15	99,72195	72,72517	7,15E-13	13,24435	95,44	12,82

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 7 e 10. Para *Mimosa ophthalmocentra* as equações selecionadas também foram a 7 e a 10. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 4 e 15 de Weibull.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para nitrogênio do fuste por espécie em que a equação 7 e 10 apresentam superestimativas dos desvios nos maiores teores de nitrogênio enquanto as equações 4 e 15 de Weibull apresentam nos menores teores (Figura 9).

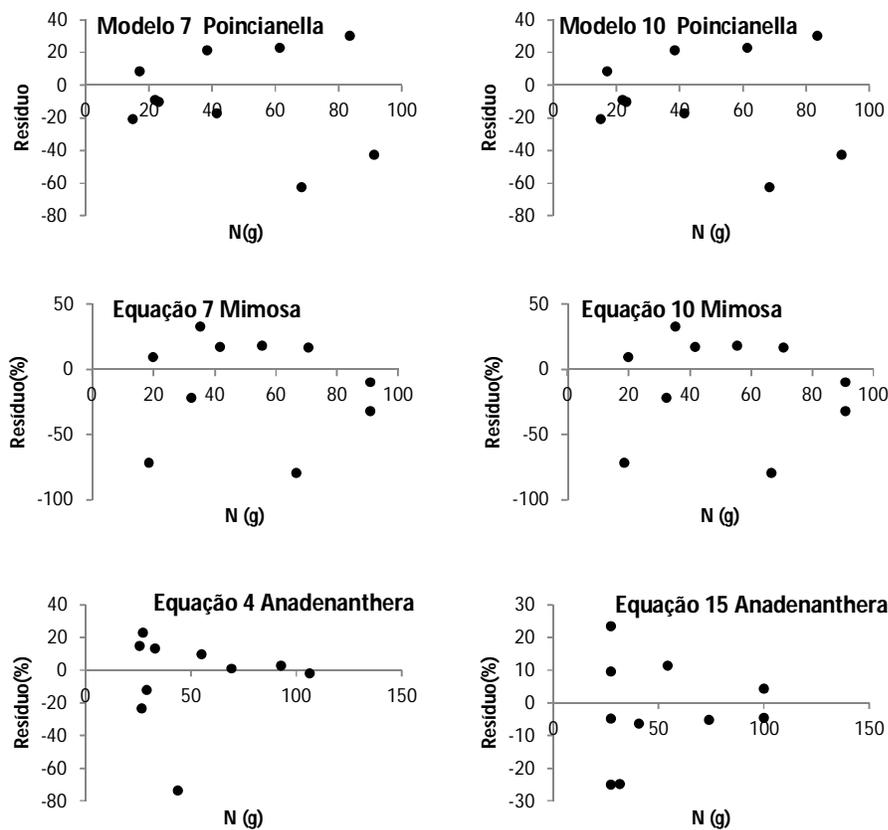


Figura 9: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio do fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram superestimativas nos desvios à medida que se aumenta o teor de nitrogênio, porém a equação 10 apresenta IAaj mais alto e menor Sxy sendo assim ela é a selecionada para estimar o teor de nitrogênio do fuste para essa espécie. Para a *Mimosa ophthalmocentra* novamente selecionaram-se as equações 7 e 10, sendo que a 10 proporciona melhores estimativas. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação

selecionada foi a 15, pois apresenta as melhores estatísticas e uma melhor distribuição residual.

As equações selecionadas para nitrogênio de folhas ajustadas separadamente para cada uma das 4 espécies que obtiveram IAaj \geq 70%, *Mimosa ophthalmocentra* não apresentou boas estatísticas (Tabela 10).

Tabela 10: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio de folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: $b_0, b_1, \dots, b_n, \dots$ = coeficientes da equação, IAaj = índice de ajuste ajustado e Sxy = erro padrão da estimativa

Nitrogênio de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	2,42768	0,31071			84,91	18,32
8	2,44859	0,4594	0,46462		83,28	19,18
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	46,70034	-7,88757	0,91804	-0,01361	80,11	16,61
19	27,2455	-0,02936	-0,26588		83,7	15,04
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	18,8852	1,22377	0,21366	-0,14775	87,42	11,92
5	22,76911	1,16383	-0,13238		88,78	11,26
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	16,5999	1,50985	-0,05567	-0,08611	75,82	19,93
5	15,08706	1,4889	-0,08839		78,76	18,68

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 6 de Spurr e 8 de Schumacher e Hall. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram a 4 e 19 Logística. Para *Cnidocolus quercifolius*, destaque para as equações 1 e 5, assim como para *Anadenanthera colubrina* destaque também para as equações 1 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para nitrogênio de folhas por espécie, onde entre todas as espécies, as equações que obtiveram distribuições residuais mais uniformes foram as equações geradas para *Poincianella bracteosa* e *Cnidocolus quercifolius* (Figura 10).

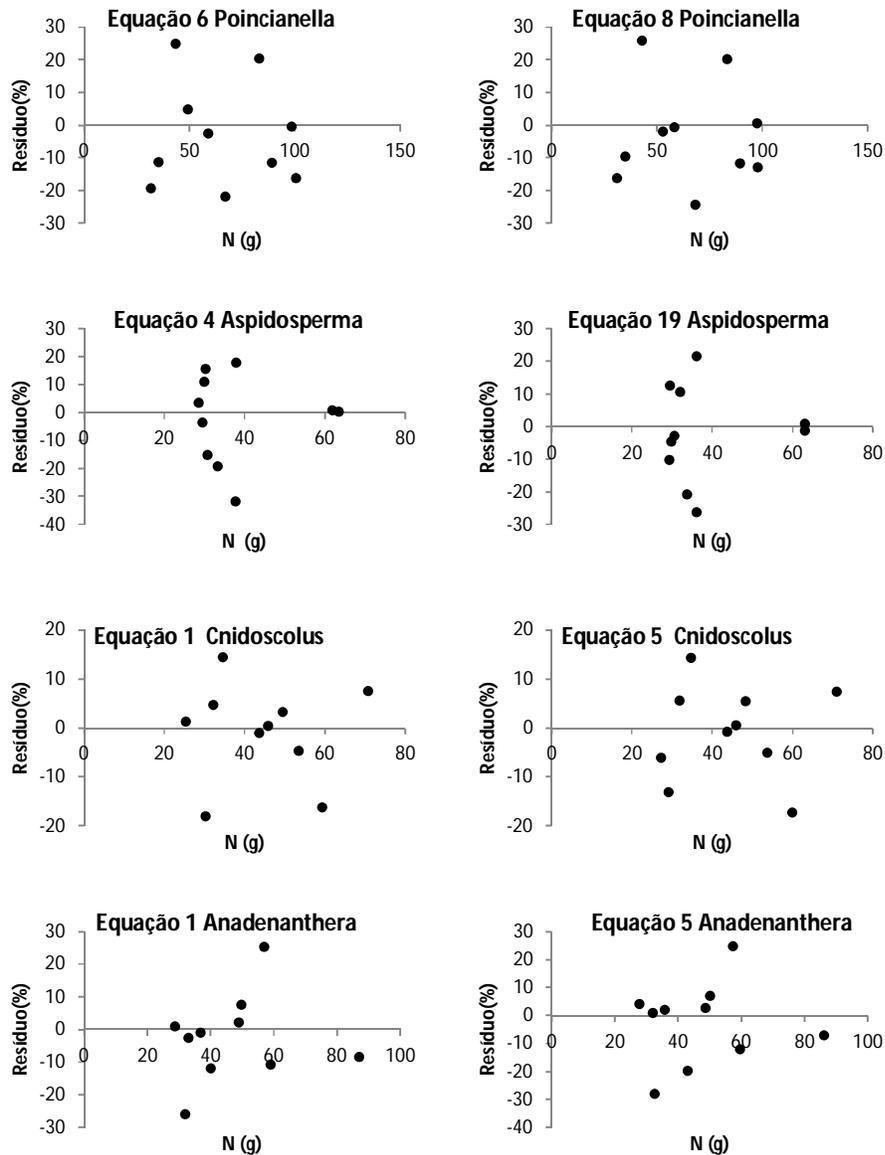


Figura 10: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio de folhas de *Poincianella bracteosa*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentam distribuições residuais semelhantes, então a equação 6 foi a selecionada, pois apresenta as melhores estatísticas. Para *Aspidosperma pyrifolium*, as melhores equações apresentam distribuições residuais semelhantes, sendo assim a equação selecionada para essa espécie foi a 19 Logística, pois apresentou o melhor ajuste. Para *Cnidocolus quercifolius*, as equações 1 e 5 apresentaram distribuições residuais muito próximas, logo a equação 5 foi a selecionada por apresentar IAaj mais elevado e Sxy mais baixo. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação

selecionada foi a 5, pois apresentou melhor ajuste que a equação 1 que apresentam distribuições residuais semelhantes.

As equações selecionadas para nitrogênio nos galhos ajustada separadamente para as espécies em estudo sendo que nem uma equação gerou boas estimativas para *Aspidosperma pyrifolium* e *Cnidocolus quercifolius* (Tabela 11).

Tabela 11- Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de nitrogênio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Nitrogênio de galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	1,27088	0,35957	1,17584		92,62	22,33
9	1,37629	1,48374			92,76	23,11
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-37,46035	20,15458	-2,4351	0,2228	72,07	31,39
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	1,55972	0,33993			77,55	27,81
10	1,55972	0,50989			78,54	25,11

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 8 de Schumacher e hall e 9. Para *Mimosa ophtalmocentra* a única equação que obteve IAaj \geq 70% foi a de número 4. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 7 e 10.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que obtiveram os melhores ajustes para nitrogênio de galhos por espécie, em que a equações para *Poincianella bracteosa* superestimam o erro dos desvios, enquanto a equação gerada para *Mimosa ophtalmocentra* apresentou a presença de outliers (Figura 11).

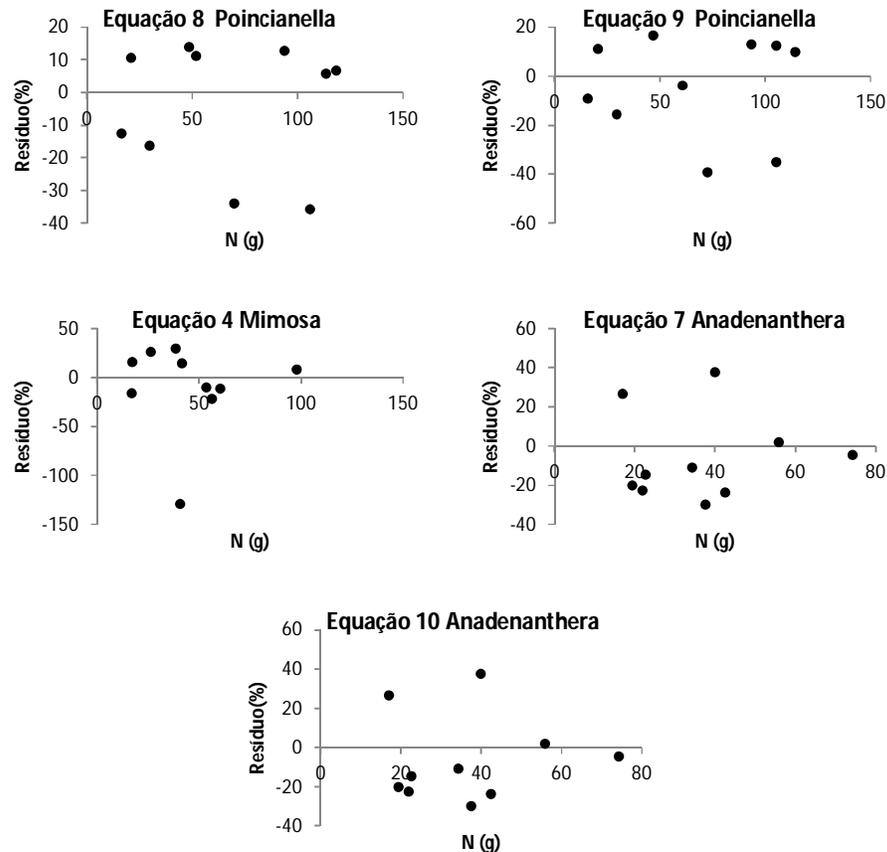


Figura 11: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para nitrogênio de galhos de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, s, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE.

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentam distribuições residuais semelhantes, e estatísticas muito próximas, sendo assim as duas podem ser considerados como bons estimadores do teor de nitrogênio dos galhos para essa espécie, mas a equação 9 apresenta menor número de parâmetros, sendo a mais indicada. Para a *Mimosa ophthalmocentra*, apenas a equação 4 obteve boas estimativas. Para *Anadenanthera colubrina*, as equações 7 e 10 apresentaram estatísticas e distribuições residuais semelhantes, mas a 10 obteve IAaj um pouco maior e Sxy menor, então ela é a selecionada.

4.3 Equações para estimar Fósforo

Assim como no nitrogênio, não foi possível obter equações com boas precisões para o fósforo total considerando toda a amostra, porém com a estratificação por espécie, foi possível se obter boas equações para a maioria das espécies com exceção de *Aspidosperma pyrifolium* (Tabela 12).

Tabela 12: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n , = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Fósforo total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	0,2368	2,15314	1,70038		92,96	11,23
6	1,2835	0,34565			91,54	11,34
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-10,39917	6,08305	-0,42921	0,02632	83,99	17,05
8	1,08337	1,39752	-0,54048		85,54	23,16
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	6,29247	-0,94921	0,4228	-0,04256	73,03	22,86
5	3,80337	0,31294	-0,03579		75,78	21,66
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	3,6635	3,07058	-0,96596		77,32	22,42
12	3,216711	0,01	1,140942		77,39	22,39

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 2 e 6 de Spurr. Para *Mimosa ophthalmocentra* as melhores equações selecionadas foram a 4 e a 8 de Schumacher e Hall. Para *Cnidocolus quercifolius*, destaque para as equações 4 e 5. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 2 e 12 Lognomal.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para fósforo total por espécie, mostram que as equações que obtiveram IAaj mais elevados, apresentam distribuições residuais com tendências a se uniformizar isso é verificado nas equações obtidas para *Poincianella bracteosa* (Figura 12).

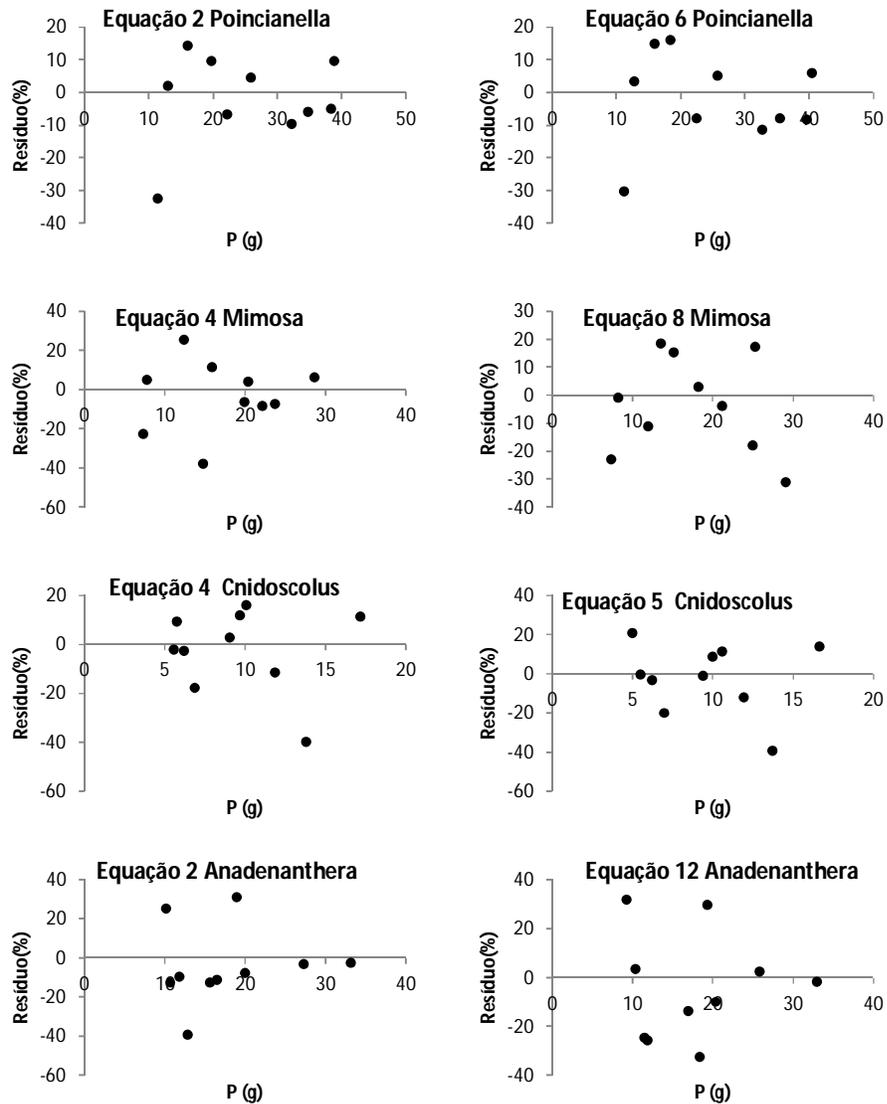


Figura 12: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo total de quatro espécies em estudo sendo *Poincianella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram distribuições residuais tendendo a homogeneidade, logo a equação 2 pode ser considerada a indicada por apresentar IAaj mais alto e menor Sxy.

Para *Mimosa opthalmocentra*, entre as duas equações a 4 é a selecionada, pois apresenta o menor erro padrão da estimativa e distribuição residual com menor variação comparado com a equação 8.

Para *Cnidocolus quercifolius*, as equações 4 e 5 apresentaram distribuições residuais muito próximas, então equação 5 foi a escolhida por apresentar melhores estatísticas.

Para *Anadenanthera colubrina*, as equações 2 e 12 Lognormal apresentam estatísticas muito próximas e distribuições residuais semelhantes, então pode-se inferir que as duas equações são boas estimadoras para essa espécie, porém a mais indicada é a 12 por ter apenas o DAP para estimar o fósforo total para essa espécie.

As equações selecionadas para estimar o fósforo no fuste para as espécies em estudo, sendo que para *Aspidosperma pyrifolium* e *Anadenanthera colubrina* nem um dos modelos propostos conseguiu gerar boas equações (Tabela 13).

Tabela 13: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n , = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Fósforo do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	9,50079	-2,51773	0,21956	0,02519	90,13	19,96
14	2,808828	0,071134	1,338278	1,458296	96,54	11,82
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-5,83392	2,08382	-0,13262	0,02045	89,81	20,47
8	-3,05618	1,99012	0,61253		92,9	28,57
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	1,25977	-0,00704	-0,07883	0,00508	84,76	17,7
14	0,711068	0,016641	1,415166	0,712145	70,63	24,6

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 4 e 14 de Silva e Bailey. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e a 8 de Schumacher e Hall. Para *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 1 seguida da equação 14 de Silva e Bailey.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para fósforo do fuste por espécie, em que a equação 14 de Silva e Bailey apresentou comportamento semelhante nas distribuições residuais nos ajustes para *Poincianella bracteosa* e *Cnidoscolus quercifolius*, com maior erro dos desvios nos menores teores de fósforo (Figura 13).

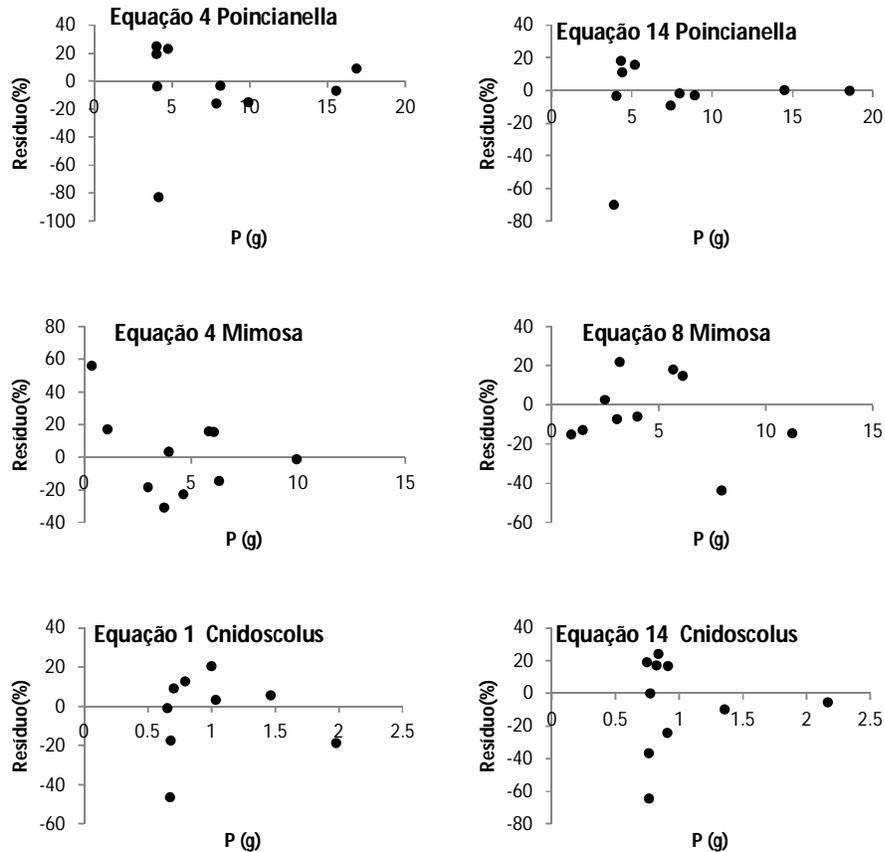


Figura 13: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo do fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Cnidocolus quercifolius*, em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 14 é superior a equação 4, apesar de apresentar superestimativas nos menores teores de fósforo, tem a menor variação residual e maior IAaj e menor Sxy. Já *Mimosa ophtalmocentra*, entre as duas equações a 4 foi a selecionada, pois apresentou o menor Sxy e distribuição residual com menor variação do erro dos desvios comparado com a equação 8 que mesmo com maior IAaj apresenta o maior Sxy. Para *Cnidocolus quercifolius*, a equação 1 é a melhor pois possui a menor variação residual e maior IAaj e menor Sxy.

As equações selecionadas para fósforo nas folhas para cada uma das espécies em estudo sendo que apenas foi possível gerar boas equações para *Poincianella bracteosa* e *Cnidocolus quercifolius*, as equações geradas para as outras espécies não conseguiram atingir 30% de IAaj (Tabela 14).

Tabela 14: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0 , b_1, \dots, b_n := coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Fósforo de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
17	14,01526	0,288658	2,177347		94,58	8,14
19	13,12304	8,233951	0,489261		94,17	8,44
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
3	-0,07524	0,83388	-0,006		87,85	10,66
4	0,55474	0,57367	0,03468	-0,0085	87,42	10,85

Para *Poincianella bracteosa* se obteve duas boas equações para estimar o fósforo nas folhas sendo a 17 de Chapman e Richard a equação 19 Logística. Para *Cnidocolus quercifolius* as equações selecionadas foram a 3 e 4. Para as duas espécies foi possível gerar boas equações, sendo que para as outras três espécies em estudo não foi possível.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para fósforo nas folhas para as duas espécies que obtiveram regressão (Figura 14).

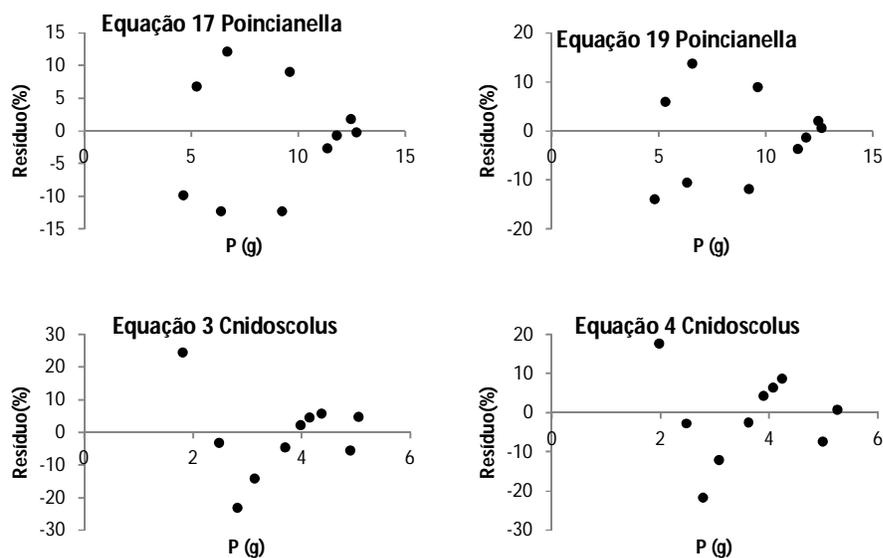


Figura 14: Distribuição gráfica do resíduo das equações selecionadas para Fósforo nas folhas de *Poincianella bracteosa*, *Cnidocolus quercifolius*, em Floresta-PE.

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentam distribuições residuais semelhantes logo a equação 17 de Chapman e Richard que considera apenas o DAP como variável independente é a melhor que a equação 19 Logística,

pois apresenta IAaj mais elevado e Sxy mais baixo. Para *Cnidocolus quercifolius*, a equação 3 é a selecionada pois possui a menor variação residual diminuindo o erro dos desvios a medida que se aumenta o teor de fósforo nas folhas, além de apresentar maior IAaj e menor Sxy.

As equações selecionadas para fósforo nos galhos ajustada para cada uma das espécies em estudo, sendo que só foi possível obter regressão no ajuste para *Poincianella bracteosa* e *Anadenanthera colubrina*, as equações ajustadas para as demais espécies ficaram abaixo de 70% de IAaj (Figura 15).

Tabela 15: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Fósforo nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Fósforo de galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	0,2256	-0,68896	1,7115		88,88	17,45
18	11,92729	0,454427	4,120694		84,29	17,21
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	-0,60772	2,56788	-0,87153		80,41	27,82
5	2,57122	0,21101	-0,0074		80,56	27,71

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 8 de Schumacher e Hall e a equação 18 de Chapman e Richard. Já para a espécie *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram a 2 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para fósforo nos galhos por espécie, em que as equações geradas para a *Poincianella bracteosa* estão uma tendência a se homogeneizar, enquanto para *Anadenanthera colubrina* é verificada uma superestimativa do erro dos desvios nos menores teores de fósforo (Figura 15).

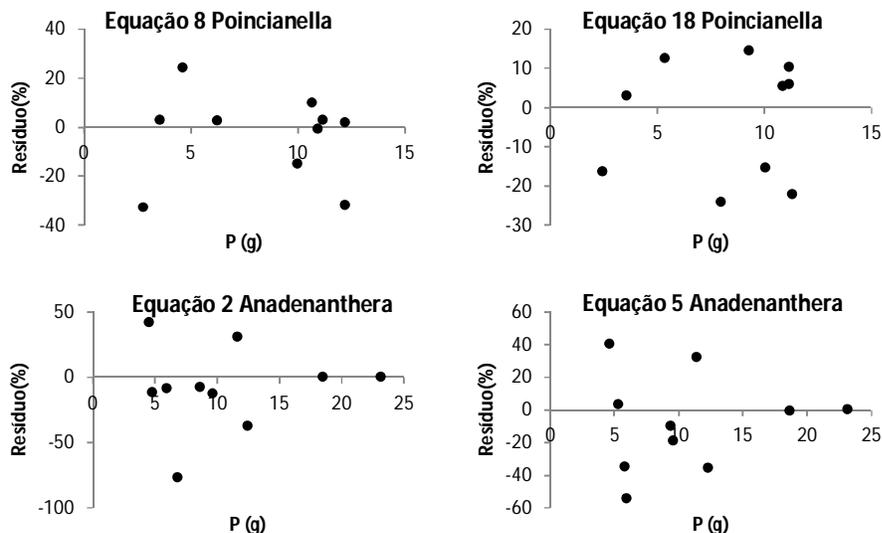


Figura 15: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Fósforo nos galhos de *Poincianella bracteosa*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 8 de Schumacher e Hall foi a selecionada, pois apresenta uma distribuição residual tendendo a homogeneidade.

Para *Anadenanthera colubrina*, as equações 2 e 5 apresentam distribuições residuais semelhantes com superestimativa dos desvios nas menores concentrações de fósforo, mas a equação 5 apresenta IAaj um pouco melhor assim como menor Sxy, então essa é a equação selecionada.

4.4 Equações para estimar Potássio

Não foi possível ajustar equações para a amostra total e por compartimento de fuste, folhas e galhos total para o potássio já que para essa análise as equações obtidas apresentaram valores muito baixos para o índice de ajuste ajustado IAaj, no entanto com a estratificação por espécie foi possível gerar boas equações para as espécies em estudo com exceção de *Aspidosperma pyrifolium*, que os modelos propostos não geraram boas equações para se estimar potássio total para essa espécie (Tabela 16).

Tabela 16: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de Potássio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n , = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Potássio total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
12	7,898776	0,01	1,02272		89,74	14,05
19	3191188	180715,9	0,144621		90,22	13,71
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	1,73512	1,36234	-0,57261		85,89	21,16
19	43,28301	20,80546	0,596359		84,65	16,00
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	13,03871	1,53768	0,38377	-0,19302	79,49	18,10
5	20,01499	1,43002	-0,16541		81,47	17,20
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	6,57629	2,84903	-0,8983		91,59	10,73
5	9,8394	0,2796	-0,01115		91,25	10,95

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 12 Lognormal e a equação 19 Logística. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 8 de Schumacher e Hall, 19 Logística. Para *Cnidocolus quercifolius*, as equações selecionadas foram a 1 e 5. Já para *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram a 2 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para potássio total por espécie, sendo que as equações criadas apresentam distribuição diferente entre as espécies que vão de superestimativas dos desvios, nos menores teores de potássio como para *Poincianella bracteosa* e a presença de outliers para *Anadenanthera colubrina* (Figura 16).

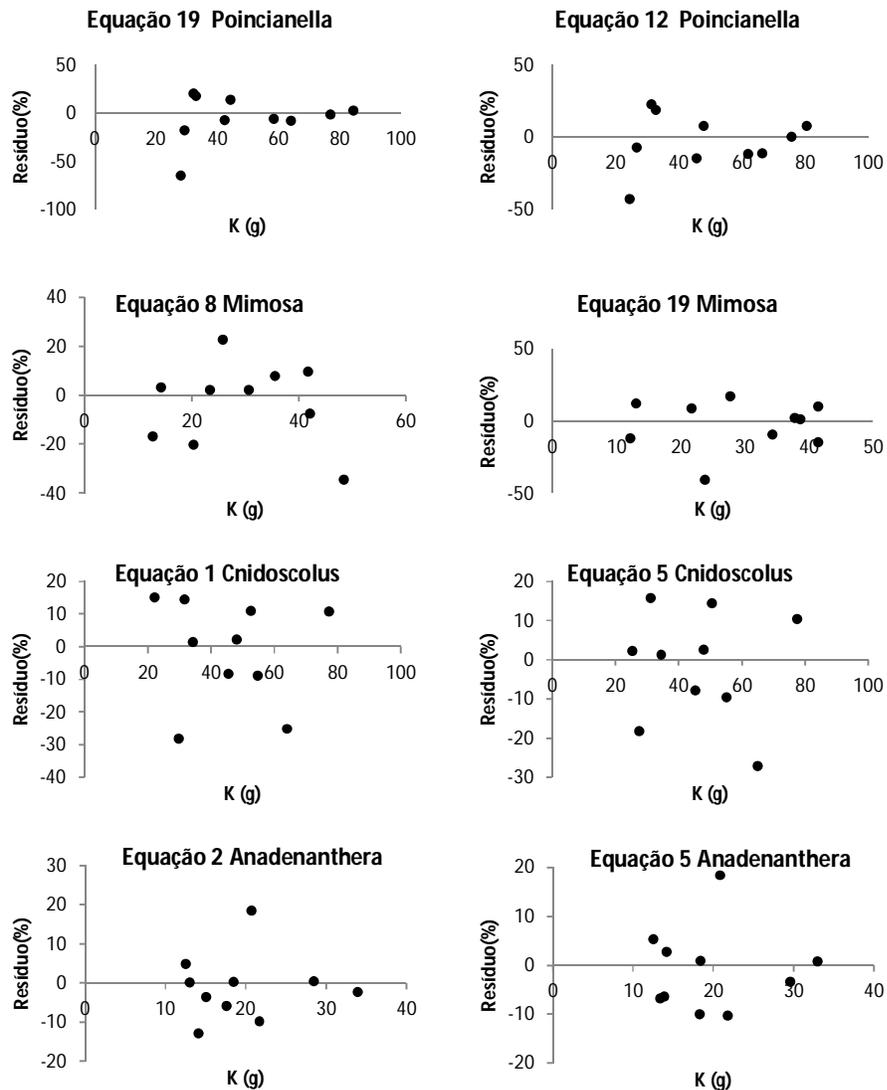


Figura 16: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio total de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 19 apresentou melhores estatísticas que a equação 12, apesar de apresentar pequenas superestimativas nos menores teores de fósforo, bem como menor variação residual, maior IAaj e menor Sxy. Para a *Mimosa ophtalmocentra*, entre as duas equações a 19 foi a selecionada, pois apresentou o menor Sxy e distribuição residual com menor variação quando comparada com a equação 8 que mesmo com maior IAaj, apresenta o maior Sxy e a presença de outliers na sua distribuição residual. Para *Cnidocolus quercifolius*, a equação 5 foi a selecionada, pois apesar de possui variação residual semelhante a equação 1, tem maior IAaj e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, as

equações 2 e 5 apresentam estatísticas muito próximas, porém a 2 foi selecionada, que mesmo na presença de um outliers nos resíduos, essa, apresenta uma distribuição homogênea.

As equações selecionadas para potássio no fuste ajustadas para cada uma das espécies em estudo, sendo que só foi possível gerar boas equações para *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra* e *Cnidocolus quercifolius* (Tabela 17).

Tabela 17: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio no fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Potássio do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	8,36126	-2,19214	0,15316	0,024	85,27	23,07
14	2,723425	0,012485	1,549658	1,985606	94,12	14,57
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-9,91045	4,08631	-0,30114	0,02277	93,74	11,07
19	7,40873	181,1124	1,130573		74,13	22,51
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	-0,3131	1,72376	-1,28591		78,68	33,88
19	7,047094	47,7282	0,706289		75,19	30,33

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 4 e 14 de Silva e Bailey. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e 19 Logística. Para *Cnidocolus quercifolius* as equações selecionadas foram a 8 Schumacher e Hall e a equação 19 Logística. Para as outras duas espécies não se conseguiu obter equações para o potássio no fuste.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para potássio no fuste por espécie, mostrando que algumas das equações gera aumento do desvio a medida que se aumenta o teor de potássio (Figura 17).

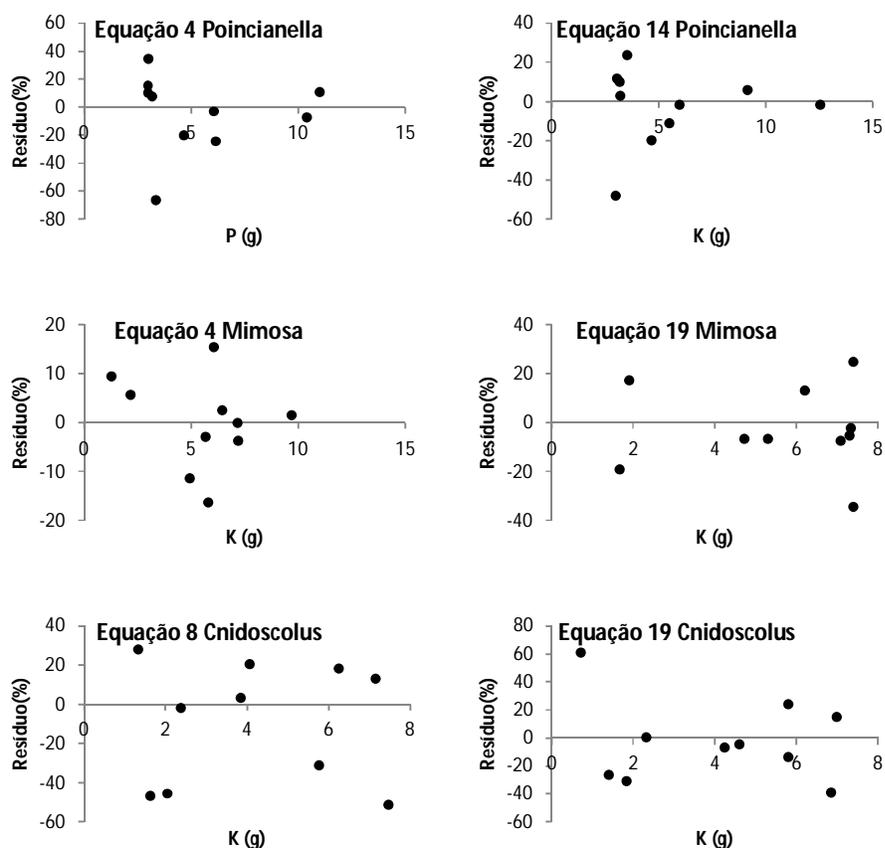


Figura 17: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio no fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Cnidoscolus quercifolius*, em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 14 foi mais precisa que a equação 4, apesar de apresentar uma pequena superestimativa dos desvios nos menores teores de fósforo, tem a menor variação residual, maior IAaj e menor Sxy. Para a *Mimosa ophthalmocentra*, entre as duas equações a 4 foi selecionada, pois apresentou o maior IAaj, menor Sxy e distribuição residual com menor variação. Para *Cnidoscolus quercifolius*, a equação 19 foi a selecionada, pois possui menor variação residual e menor Sxy.

As equações selecionadas para estimar potássio nas folhas ajustadas para cada uma das cinco espécies em estudo, mas uma vez não foi possível obter boas equações para todas as espécies, os modelos propostos só conseguiram se ajustar bem aos dados de *Poincianella bracteosa* e *Cnidoscolus quercifolius* (Tabela 18).

Tabela 18: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n := coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa

Potássio de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
15	316,1486	275,803	-0,54662	-1,48805	85,92	12,49
17	36,3653	0,517017	4,546279		85,78	12,55
<i>Cnidoscopus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	7,84566	0,631	0,12853	-0,07753	90,94	10,58
5	10,18211	0,59494	-0,06828		91,59	10,19

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 15 de Weibull e a equação 17 de Chapman e Richard. Já para *Cnidoscopus quercifolius*, as equações selecionadas foram a 1 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para as estimativas de potássio nas folhas por espécie, as equações ajustadas para *Poincianella bracteosa* e *Cnidoscopus quercifolius* apresentaram distribuições dos resíduos com tendências a homogeneidade (Figura 18).

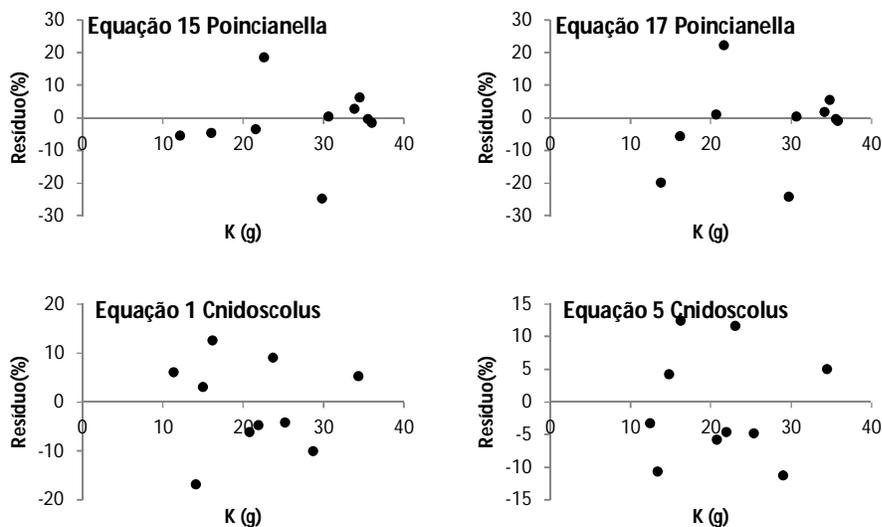


Figura 18: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para potássio nas folhas de duas espécies em estudo sendo *Poincianella bracteosa*, *Cnidoscopus quercifolius*, em Floresta-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 15 apresentou melhores estimativas que a equação 17, mesmo apresentando estatísticas muito próximas, mas a distribuição residual da equação 15 apresentou uma menor variação. Para

Cnidocolus quercifolius, a equação 5 foi a selecionada, pois apesar de possuir variação residual semelhante a equação 1, apresentou maior IAaj e menor Sxy.

As equações selecionadas para estimar potássio nos galhos ajustadas para cada uma das espécies em estudo sendo que só foi possível ajustar boas equações para as espécies *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra* e *Anadenanthera colubrina* (Tabela 19).

Tabela 19: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas de potássio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj = índice de ajuste ajustado e Sxy = erro padrão da estimativa.

Potássio de galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
14	6,871043	0,049017	1,365625	1,225306	87,69	23,24
19	61122809	20105590	0,228368		85,97	24,80
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
12	1,477223	0,01	0,84411		82,66	19,10
17	4350601	3,43E-06	1,184638		82,66	19,10
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	9,8954	-2,74148	0,39902	-0,01098	89,81	21,59
15	18,62887	13,84023	1,78E-09	8,556776	91,28	19,98

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 14 de Silva e Bailey e 19 Logística. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 12 Lognormal e equação 17 Chapman e Richard. Para *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram 4 e 15 de Weibull. Para as outras espécies em estudo nem um modelo conseguiu gerar boas equações alcançando no máximo IAaj = 48,81%.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para potássio nos galhos por espécie, em que todas as equações geraram distribuições nas quais os desvios foram maiores nas menores concentrações de potássio (Figura 19).

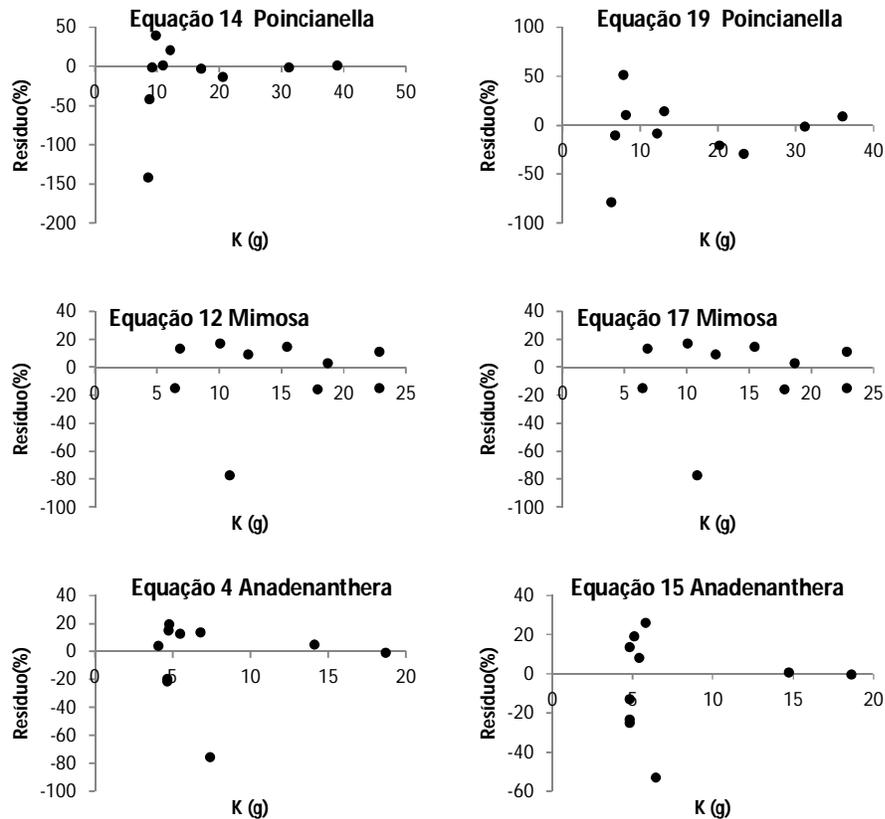


Figura 19: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para Potássio nos galhos de *Poincianaella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianaella bracteosa* a equação 14 apresentou estimativas mais precisas que a equação 19, pois apresentou as melhores estatísticas e distribuições residuais semelhantes. Para a *Mimosa opthalmocentra*, as duas equações apresentam o mesmo comportamento podendo gerar boas estimativas, mas a equação 17 é a mais indicada por ser de mais fácil aplicação. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação 15 foi a selecionada, pois apresentou IAaj mais alto e Sxy mais baixo e distribuição residual com menor variação dos desvios.

4.5 Equações para estimar Cálcio

Entre os nutrientes avaliados o cálcio foi o único que após ajustes dos modelos propostos, se conseguiu gerar equações para toda a amostra, e não apenas para o cálcio total, mas também para o cálcio total no fuste (Tabela 20).

Tabela 20: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio total e do fuste para espécies da caatinga, Floresta-PE. Em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Cálcio total						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	1,94447	0,48529			78,66	36,30
8	1,95972	1,03865	0,4033		78,32	38,63
Cálcio do fuste						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	-0,45005	0,55394			70,00	64,00
8	-0,38137	1,82718	-0,35725		70,13	60,95

Para o cálcio total as duas equações selecionadas apresentaram IAaj em torno de 78% com Sxy próximo de 40%, para o cálcio no fuste esse Sxy aumentou para próximo de 65% e IAaj de 70%.

Pelas distribuições gráficas dos resíduos verifica-se que essas equações superestimam os desvios nas menores concentrações de cálcio, mas os desvios diminuem a medida que se aumenta o teor de cálcio (Figura 20).

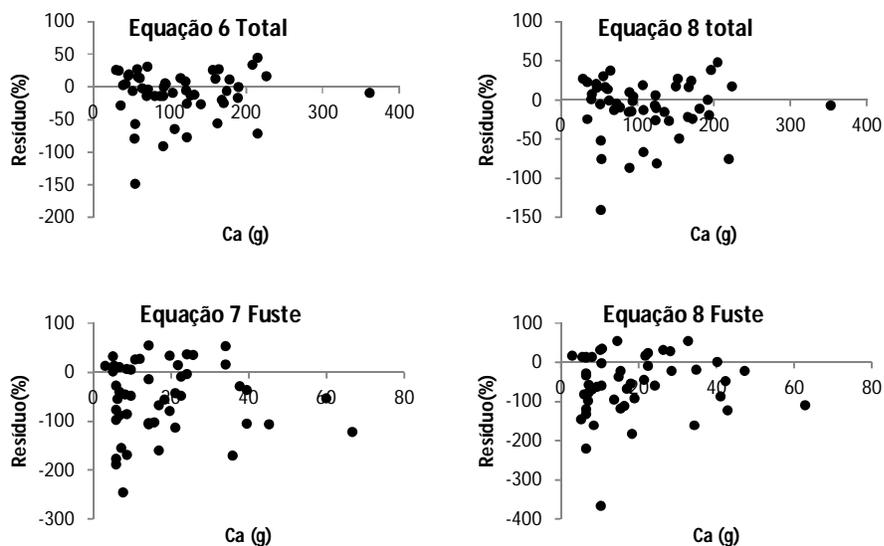


Figura 20: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio total e do fuste, em uma área de caatinga no município de Florestal-PE.

Pelas análises gráficas dos resíduos verifica-se que todas as equações tem comportamentos semelhantes, sendo que para a amostra total a equação selecionada foi a 6 de Spurr por apresentar IAaj mais elevado e menor Sxy e para o cálcio no fuste a equação selecionada foi a 8 de Schumacher e Hall.

Quando se fez a estratificação por espécie, avaliando o cálcio total, em todas as espécies foi possível ajustar boas equações (Tabela 21).

Tabela 21: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Cálcio total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
14	13,52262	0,538977	1,150404	1,058872	96,62	13,80
19	-338,903	-11,8371	0,171025		97,00	13,01
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-59,29831	27,89323	-1,86132	0,18189	90,02	17,81
7	1,16948	0,57015			90,87	20,73
<i>Aspidosperma pyriformium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
15	10159,1	10120,85	0,000055	2,24894	84,19	21,57
19	2,15E+10	8,13E+08	0,163409		84,27	21,52
<i>Cnidoscopus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	19,25238	3,62334	-0,38706		77,63	27,88
8	3,25901	1,211	-0,63755		80,34	35,37
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	-34,46957	38,1813	-11,70388		91,98	19,53
5	12,86932	3,60801	-0,13802		92,63	18,72

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para estimar o cálcio total foram as provenientes de modelos não linear sendo a 14 de Silva e Bailey e 19 Logística. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e 7. Para *Aspidosperma pyriformium* as equações selecionadas foram a 15 de Weibull e 19 Logística. Para *Cnidoscopus quercifolius*, destaque para as equações 5 e 8 de Schumacher e Hall e para a espécie *Anadenanthera colubrina* as melhores foram equações 2 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para cálcio total por espécie sendo que as equações obtidas para *Poincianella bracteosa* foram as que apresentaram ajustes tendendo a uniformidade (Figura 21).

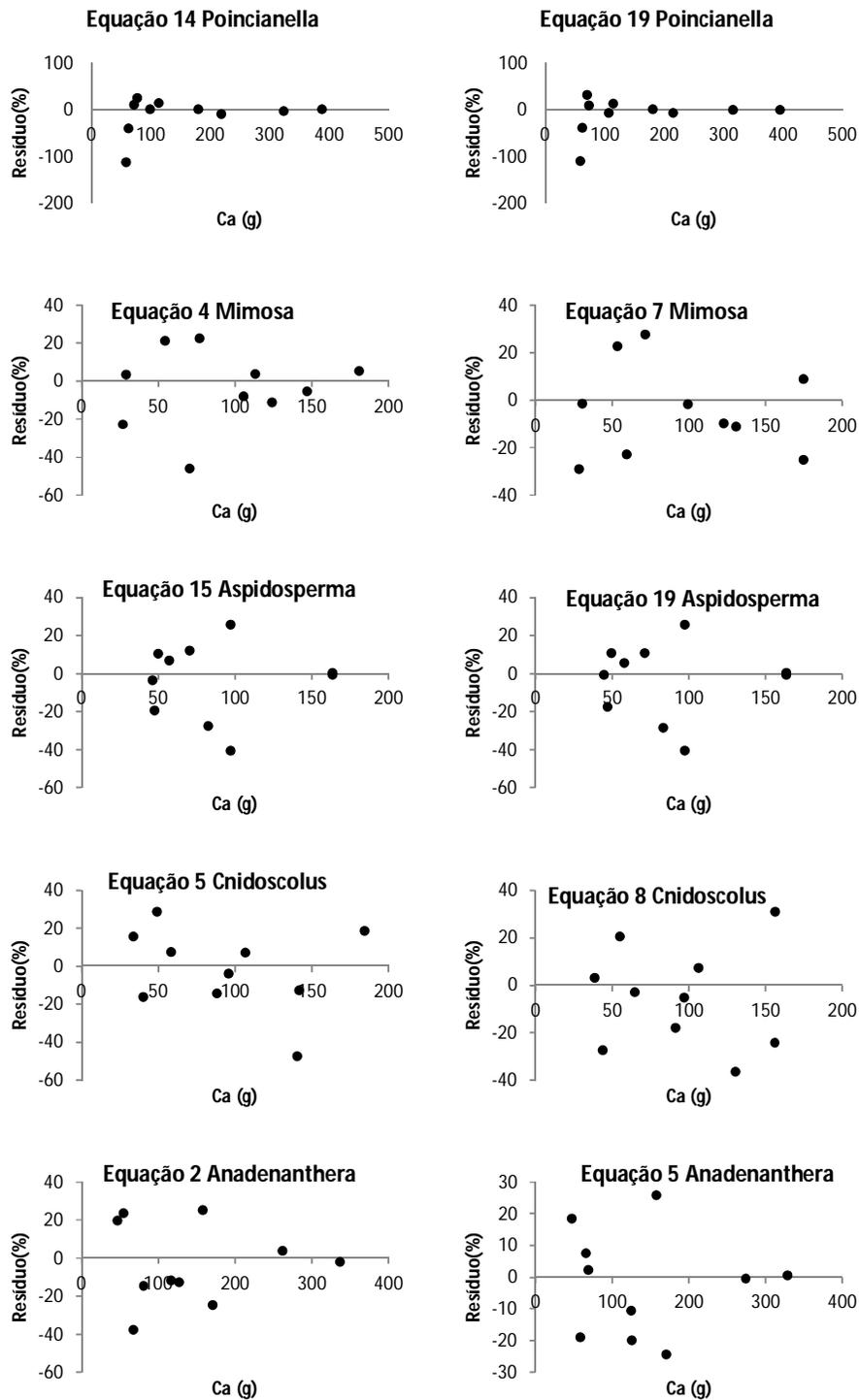


Figura 21: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio total *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram comportamentos semelhantes, logo a equação 19 apresentou IAaj mais elevado e

Sxy mais baixo do que equação 14 podendo ser considerada a indicada para se estimar cálcio total para essa espécie. As equações 4 e 7 apresentaram IAaj, muito próximos, mas a equação 4 apresentou menor Sxy, e na distribuição do resíduo a equação 7 tem uma pequena tendência a aumentar os desvios para o cálcio total de *Mimosa ophtalmocentra*, Sendo assim a equação 4 foi selecionada.

Para *Aspidosperma pyrifolium*, as equações selecionadas apresentam distribuições residuais semelhantes, então a equação selecionada para essa espécie foi a 19, pois apresentou as melhores estatísticas e menor número de variáveis independentes. Para *Cnidocolus quercifolius*, a equação selecionada foi a 8, pois mesmo apresentando o maior Sxy, teve um comportamento tendendo a uma homogeneidade na distribuição gráfica dos resíduos. Para *Anadenanthera colubrina* as equações 2 e 5 apresentaram distribuições residuais muito próximas, o que levou a selecionar a equação 5 por apresentar IAaj mais alto e menor Sxy

As equações selecionadas para cálcio no fuste obtidas para cada uma das espécies em estudo estão na Tabela 22.

Tabela 22: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Cálcio do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
14	1,781779	0,521746	1,16685	1,151974	98,37	10,09
19	2,83E+09	1,04E+09	0,286761		94,75	18,11
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
3	-7,60587	2,63777	0,1283		92,64	19,23
4	-35,41957	11,77964	-0,76013	0,16246	94,90	16,01
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
3	1,05849	1,41679	0,02119		79,26	25,58
12	4,832146	1,02	0,860663		81,28	24,31
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
12	0,536207	0,01	0,6818		87,79	25,31
17	2014,587	0,003883	1,489616		86,04	27,06
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	-7,0227	4,09716	-1,6411		90,79	22,52
5	0,90864	0,36848	-0,0233		91,13	22,09

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para estimar o cálcio do fuste novamente foram a 14 de Silva e Bailey e 19 Logística. Para *Mimosa ophthalmocentra* as equações selecionadas foram a 3 e 4. Para *Aspidosperma pyriforme* as equações selecionadas foram 3 e 12 Lognormal. Para *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 12 Lognormal e 17 de Chapman e Richard e para *Anadenanthera colubrina* assim como no cálcio total as equações selecionadas foram equações 2 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para cálcio no fuste por espécie sendo que todas as equações superestimam os desvios nos menores teores de cálcio (Figura 22).

Para *Poincianella bracteosa* a equação 14 apresentou maior IAaj e menor Sxy, e mesmo apresentando superestimativas dos desvios nas menores concentrações de cálcio, apresentou uma distribuição mais homogênea a medida que se aumenta o teor de cálcio. Assim, pode-se inferir que a equação 14 é a indicada para se estimar cálcio do fuste para essa espécie (Figura 22). As equações 3 e 4 apresentaram superestimativas do desvios nos menores teores de cálcio, mas a equação 4 apresentou menor Sxy, e maior IAaj, então a equação 4 foi a selecionada para estimar o cálcio no fuste para a espécie *Mimosa ophthalmocentra* (Figura 22).

Para *Aspidosperma pyriforme*, as equações selecionadas apresentam distribuições residuais semelhantes, então a equação selecionada para essa espécie foi a 12, pois apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy e menor número de variáveis independentes considerando apenas DAP. Para *Cnidoscolus quercifolius*, as equações 12 e 17 apresentaram distribuições gráficas residuais muito próximas. A equação 12 foi a selecionada por apresentar IAaj mais alto e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 5, tendo uma menor variação dos desvios comparando com a equação 2 (Figura 22).

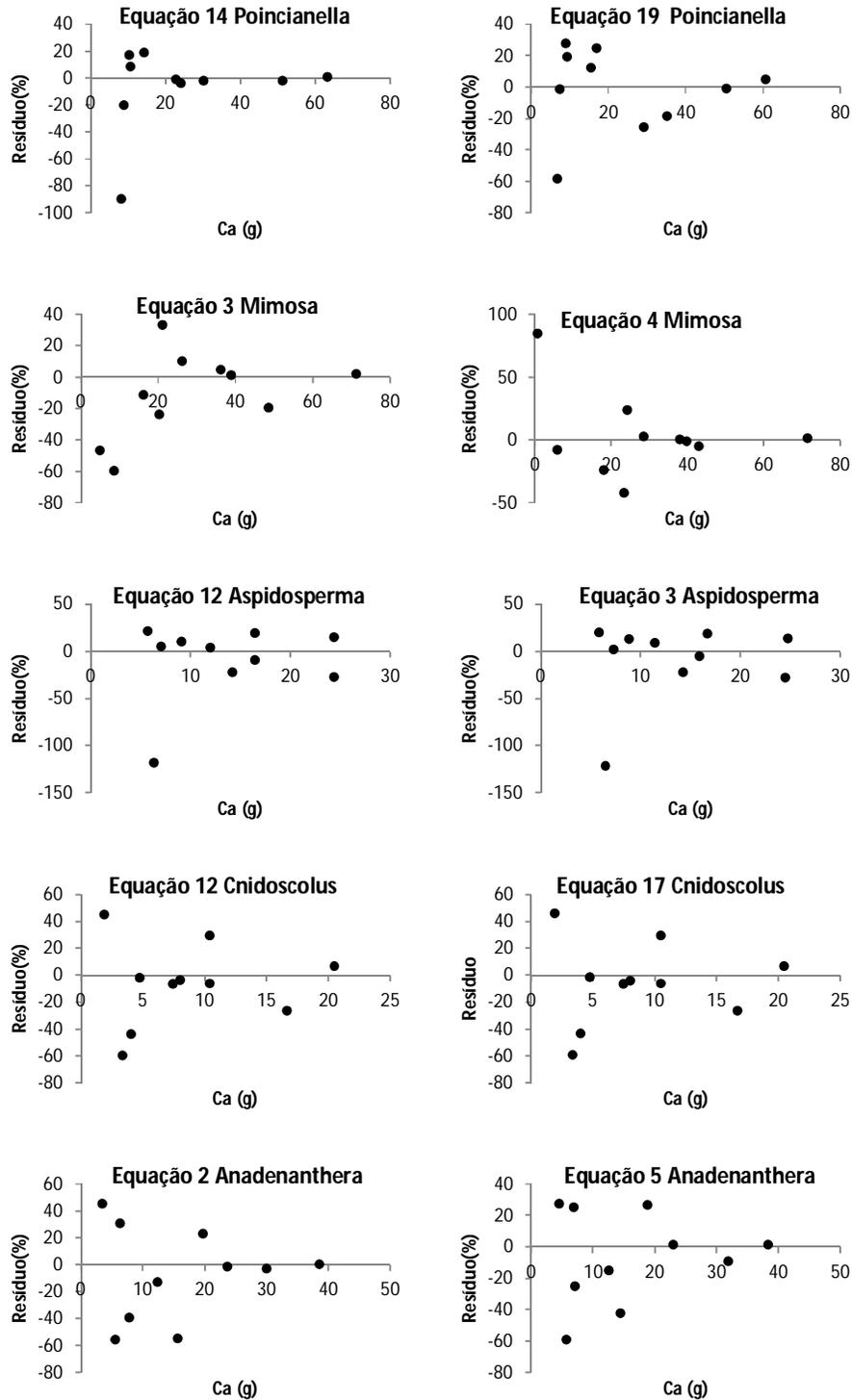


Figura 22: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio do fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

As equações selecionadas para cálcio nas folhas ajustadas para cada uma das espécies estão na Tabela 23.

Tabela 23-Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Cálcio de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
6	1,4927	0,30772			72,35	20,87
9	1,61149	0,86988			73,7	21,40
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	0,45852	0,42955			78,99	25,03
8	1,04089	1,47275	-0,53587		78,05	27,63
<i>Aspidosperma pyriformium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	44,15524	-10,45944	1,85569	-0,09701	85,03	21,46
19	8,828384	-0,58845	-0,03799		87,11	19,92
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	10,2403	1,1481	-0,12061		88,93	16,60
8	2,36112	1,15673	-0,62551		88,69	22,64
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	7,9698	0,76773	-0,03754		92,56	12,88
8	1,73535	1,80425	-0,89903		91,88	18,59

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para estimar o cálcio nas folhas foram 6 de Spurr e 9. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 7 e a 8. Para *Aspidosperma pyriformium* as equações selecionadas foram 4 e 19 Logística. Para a espécie *Cnidocolus quercifolius* e *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram 5 e 8 para ambas.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para cálcio nas folhas em que algumas equações superestimam os desvios nos menores teores de cálcio e outras nos maiores teores (Figura 23).

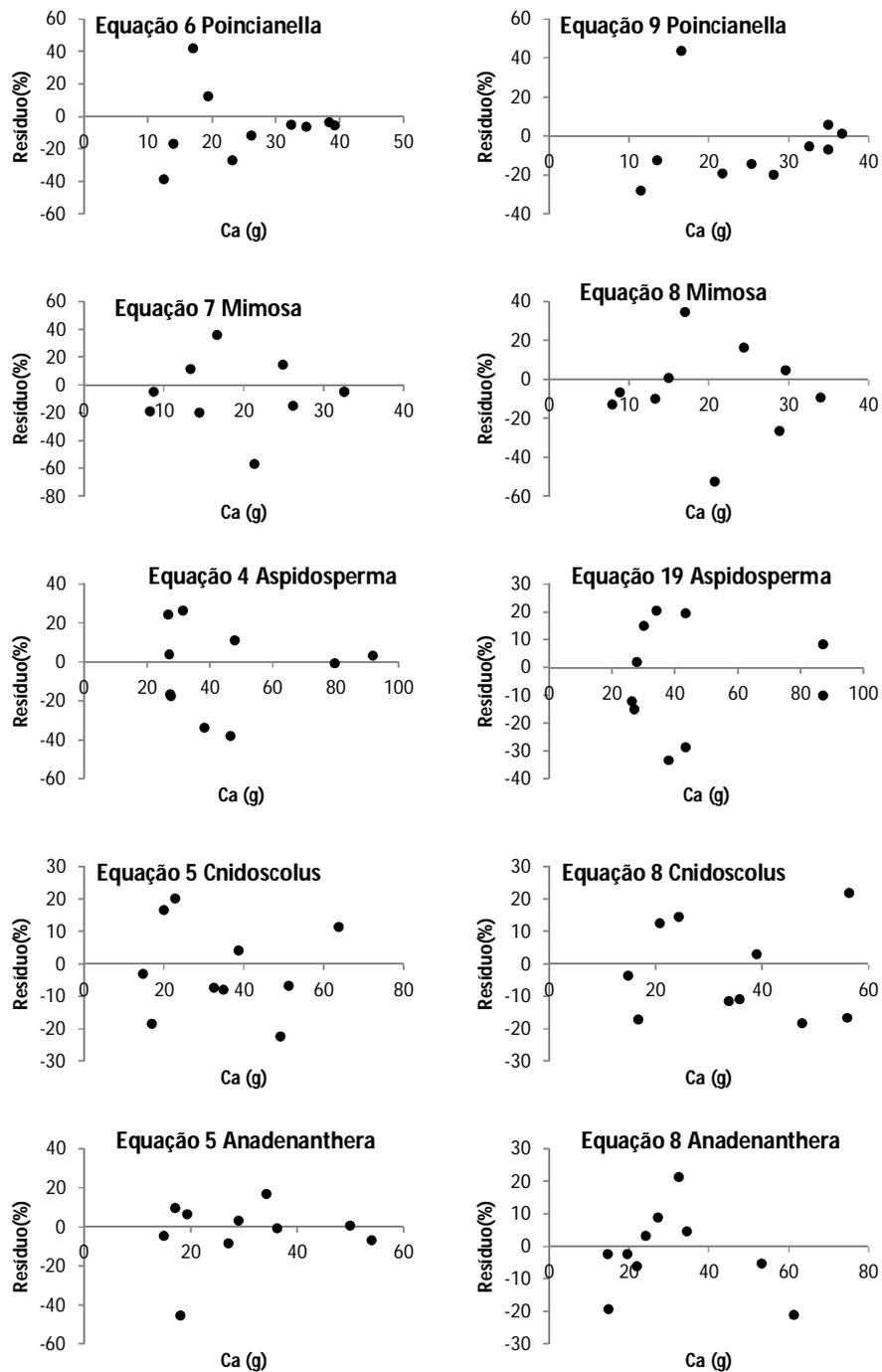


Figura 23: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio nas folhas *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Aspidosperma pyriformis*, *Cnidocolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE.

Para *Poincianella bracteosa* as equações 6 e 9 apresentaram distribuições gráficas dos resíduos semelhantes, então pode se inferir que a equação 9 foi a selecionada para se estimar cálcio nas folhas para essa espécie pois apresenta maior IAaj.

As equações 7 e 8 apresentaram superestimativas dos desvios nos valores intermediários de teores de cálcio, mas a equação 7 apresentou menor Sxy, e maior IAaj, sendo portanto, a selecionada para estimar o cálcio nas folhas para *Mimosa ophthalmocentra*.

Para *Aspidosperma pyriformium*, as equações selecionadas apresentam distribuições residuais semelhantes, então a equação selecionada para essa espécie foi a 19, pois apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy e considerando apenas DAP como variável independente. Para *Cnidoscolus quercifolius*, as equação 5 apresentou distribuição gráfica dos resíduos tendendo a uma homogeneidade, além de apresentar IAaj mais elevado e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, novamente a equação 5 foi a indicada por apresentar as melhores estatísticas e melhor distribuição dos resíduos.

As equações selecionadas para cálcio nos galhos obtidas para cada uma das espécies, sendo que as equações geradas para *Cnidoscolus quercifolius*, não obtiveram boas estatísticas (Tabela 24).

Tabela 24: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o cálcio de galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Cálcio de galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	0,729	0,8989	1,13384		95,29	33,03
14	5,633056	0,677381	1,142452	1,052616	96,94	14,71
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	0,69044	0,52461			84,97	22,37
8	1,6045	1,86279	-0,84108		86,45	30,31
<i>Aspidosperma pyriformium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	1,32687	0,35276			72,32	33,79
8	1,3899	1,51289	-0,61552		71,21	35,50
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	36,438	-11,49313	3,63273	-0,12238	89,47	24,75
5	4,29589	2,3988	-0,08343		90,39	23,65

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para estimar o cálcio nos galhos foram a 8 de Schumacher e Hall e a 14 de Silva e Bailey. Para *Mimosa*

ophthalmocentra as equações selecionadas foram a 7 e a 8 Schumacher e Hall. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram 7 e 8 novamente, já para *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram equações 4 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para cálcio nos galhos por espécie sendo que algumas equações superestimam os desvios nos menores teores de cálcio e outras nos maiores (Figura 24).

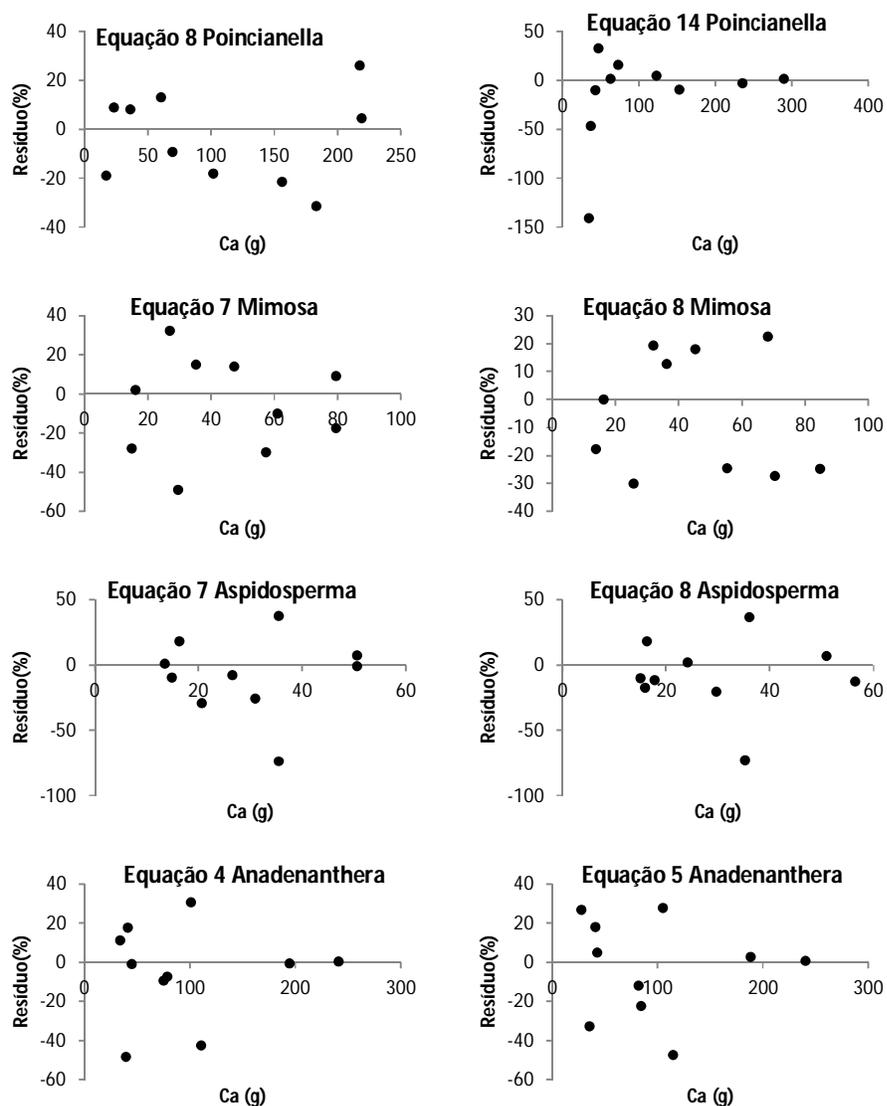


Figura 24: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para cálcio nos galhos de quatro espécies em estudo sendo *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as equação 8 apresentou aumentos dos desvios a media que se aumentam os teores de cálcio. A equação 14 foi a selecionada, pois mesmo apresentando outliers em sua distribuição de resíduos apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy. As equações 7 e 8 apresentaram superestimativas dos desvios sendo que a equação 7 nos menores teores de cálcio enquanto a 8 nos maiores teores, a equação 7 apresentou menor Sxy, então pode-se inferir que a equação 7 é a indicada para estimar cálcio nos galhos de *Mimosa ophtalmocentra*. Para *Aspidosperma pyrifolium*, as equações selecionadas apresentam distribuições residuais semelhantes, então a equação selecionada para essa espécie é a 7, pois apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, as equações 4 e 5 apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a equação 5 obteve IAaj mais elevado e menor Sxy.

4.6 Equações para estimar Magnésio

Não foi possível se gerar equações para toda a amostra, devido o ajuste dos modelos para magnésio total terem sido todos ruins. Quando se fez a estratificação por espécie se obtiveram boas equações com exceção de *Cnidocolus quercifolius* (Tabela 25).

Tabela 25: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Magnésio total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
14	0,370247	1,697408	1,05969	1,028219	97,18	9,62
19	-1,75E+07	-1827608	0,196354		97,41	9,22
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	-0,55477	0,60071			91,13	19,28
8	0,15965	2,02799	-0,65738		91,66	23,82
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	3,97397	3,83038	-2,6742		77,15	24,03
5	7,32864	0,25145	-0,01015		76,92	24,15
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	1,0648	2,92366	-1,00977		81,28	23,70
5	4,17309	0,2684	-0,01046		81,21	23,74

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para estimar o magnésio total foram a 14 de Silva e Bailey e 19 Logística ambas com ótimos ajustes. Para *Mimosa ophthalmocentra* as equações selecionadas foram a 7 e a 8 Schumacher e Hall. Para *Aspidosperma pyrifolium* e *Anadenanthera colubrina* as equações selecionadas foram a 2 e 5. As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para magnésio total, sendo que as equações ajustadas para *Poincianella bracteosa* obtiveram as distribuições com tendência a homogeneidade (Figura 25).

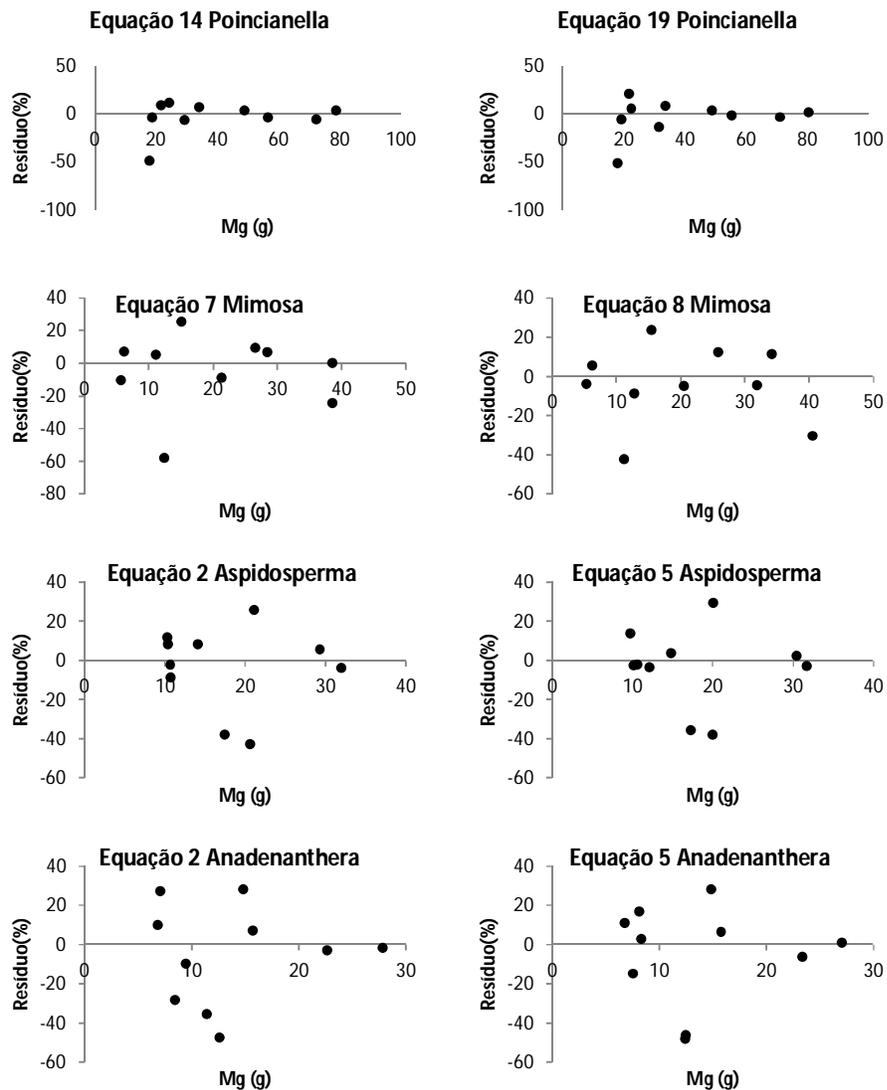


Figura 25: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio total de quatro espécies em estudo sendo *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Anadenanthera colubrina* em Florestal-PE

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações selecionadas apresentaram distribuições residuais semelhantes, porém a equação 19 obteve IAaj um pouco mais elevado e mais baixo Sxy, como é uma equação que usa apenas DAP como variável independente, então pode-se inferir que a equação 19 é a indicada para estimar magnésio total para *Poincianella bracteosa*. As equações 7 e 8 apresentaram IAaj muito próximos, distribuição residual semelhantes, mas o Sxy da equação 7 foi mais baixo, sendo ela a melhor para estimar magnésio total para *Mimosa ophtalmocentra*. Para *Aspidosperma pyrifolium* e *Anadenanthera colubrina* a equação 2 foi a melhor para ambas as espécies.

Para o magnésio do fuste foi possível gerar equações para todas as espécies, sendo que para *Aspidosperma pyrifolium* apenas uma equação conseguiu atingir IAaj de 70% (Tabela 26).

Tabela 26: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio no fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj = índice de ajuste ajustado e Sxy = erro padrão da estimativa.

Magnésio no fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	0,25031	0,00833	0,00179		94,78	13,58
14	0,038983	0,938623	1,104194	1,080726	96,48	11,15
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-1,30552	0,49751	-0,03566	0,00466	97,08	9,69
6	-4,59749	0,91048			89,16	28,28
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
12	1,490816	1,02	1,236318		70,92	22,85
<i>Cnidocolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	0,31998	0,12748	-0,13496		74,78	24,46
12	0,13229	0,01	1,112078		73,96	24,85
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	1,48706	0,13984	-0,04762	-0,00581	88,34	24,01
5	1,01831	0,1486	-0,00861		89,32	22,98

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 5 e 14 de Silva e Bailey. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e a 6 de Spurr. Para *Aspidosperma pyrifolium* apenas o modelo 12 Lognormal obteve

ajuste satisfatório. Para *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 2 e 12 Lognormal. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 1 e 5.

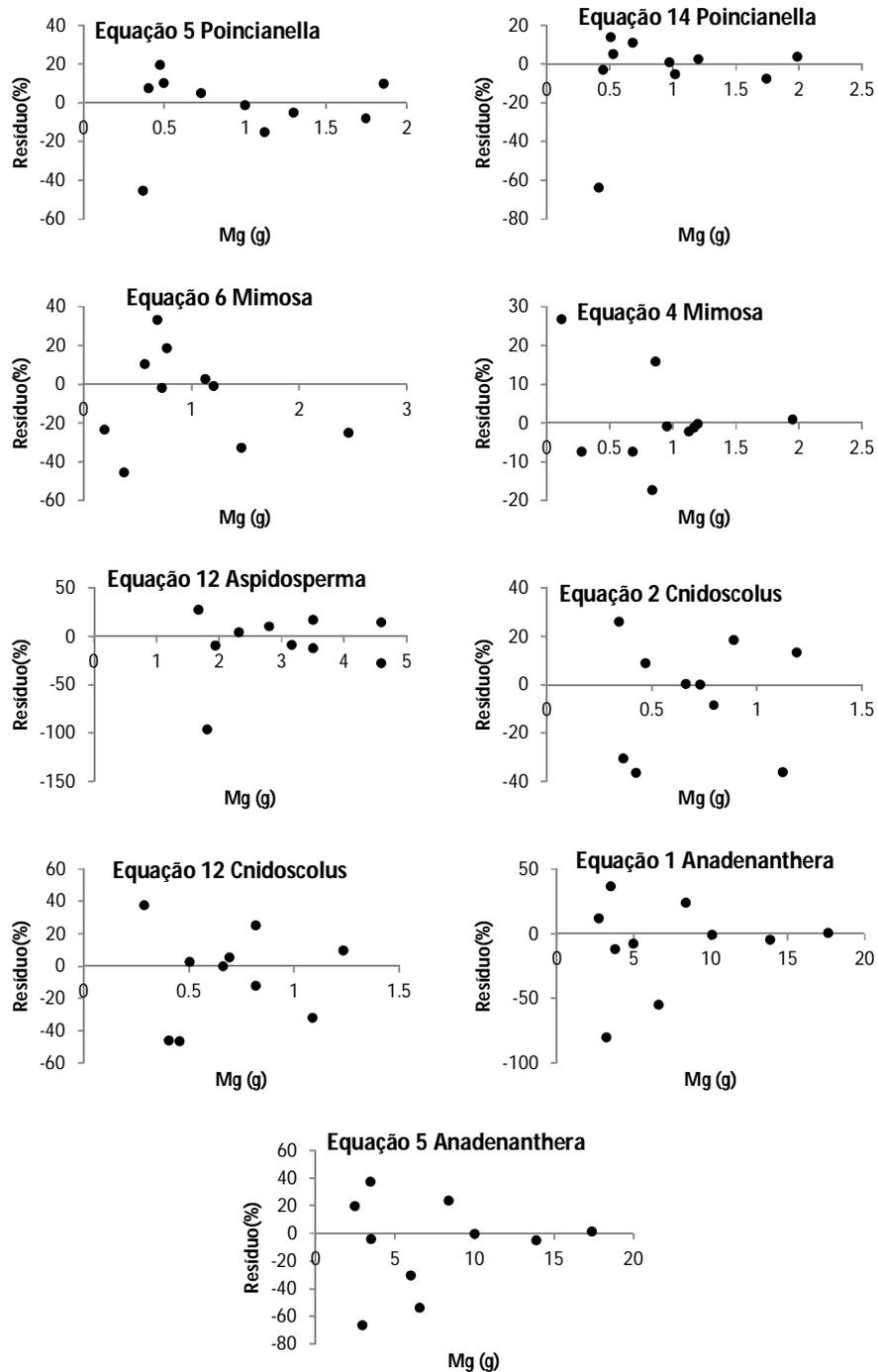


Figura 26: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio no fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para magnésio no fuste por espécie, sendo que novamente as equações geradas para *Poincianella bracteosa* apresentam distribuições mais regulares. (Figura 26).

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a equação 14 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 5 podendo ser considerada a indicada para se estimar magnésio no fuste para essa espécie. A equação 4 é a melhor para *Mimosa ophthalmocentra*, pois apresentou IAaj mais elevado, menor Sxy e menor variação dos desvios na distribuição gráfica dos resíduos. Na espécie *Aspidosperma pyriforme*, apenas a equação 12 gerou boas estimativas. Para *Cnidocolus quercifolius*, as equações 2 e 12 apresentaram distribuições residuais muito próximas, então a equação 2 foi selecionada por apresentar IAaj mais alto e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 5, pois apresentou estatísticas um pouco mais precisas que a equação 1, sendo que apresentaram distribuições residuais semelhantes diminuindo os desvios a medida que se aumenta o teor de magnésio (Figura 26).

As equações selecionadas para magnésio nas folhas ajustadas para cada uma das espécies em estudo sendo que só foi gerada boas equações para *Poincianella bracteosa*, *Aspidosperma pyriforme* (Tabela 27).

Tabela 27: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio nas folhas para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Magnésio de folhas por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	9,15199	-0,04839	0,01824		86,08	15,04
19	659733,2	118408,3	0,131382		86,33	14,91
<i>Aspidosperma pyriforme</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	6,45458	0,08852	-0,19772	0,00476	77,05	20,51
4	11,78152	-2,67798	0,3777	-0,01983	81,72	18,30

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 5 e 19 Logística e para *Aspidosperma pyriforme* as equações selecionadas foram 1 e 4.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para magnésio nas folhas em que todas as equações superestimam os desvios nos menores teores de magnésio (Figura 27).

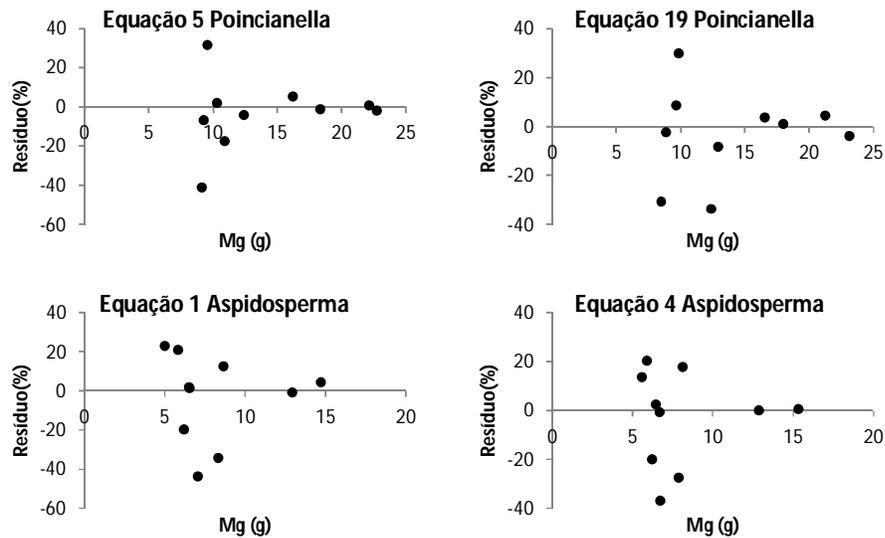


Figura 27: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio nas folhas de *Poincianella bracteosa*, *Aspidosperma pyriforme* em Floresta-PE

Para a espécie *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a equação 19 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 5 podendo ser considerada a indicada para se estimar magnésio nas folhas para essa espécie. Na espécie *Aspidosperma pyriforme*, as duas equações também apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a 4 é a indicada, pois apresentou IAaj mais alto e menor Sxy.

As equações selecionadas para magnésio nos galhos ajustadas para cada uma das espécies em estudo sendo que só foi gerada boas equações para *Poincianella bracteosa*, *Mimosa opthalmocentra* e *Aspidosperma pyriforme* (Tabela 28).

Tabela 28: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o magnésio nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Magnésio nos galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	0,00252	0,83972	0,8366		96,58	18,34
12	0,954035	0,01	0,590973		96,09	13,48
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
3	-6,07996	1,83367	0,01895		93,82	18,75
5	-0,69855	0,17237	0,01322		93,75	18,85
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	-0,8382	0,45894			79,61	40,64
8	-0,75433	1,98166	-0,81892		79,92	44,12

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 8 e 12 Lognomal. Para *Mimosa ophthalmocentra* as equações selecionadas foram a 3 e 5. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram 7 e 8 Schumacher e Hall. Distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para magnésio nos galhos mostrando uma distribuição mais uniforme mesmo com outliers para *Mimosa ophthalmocentra* (Figura 28).

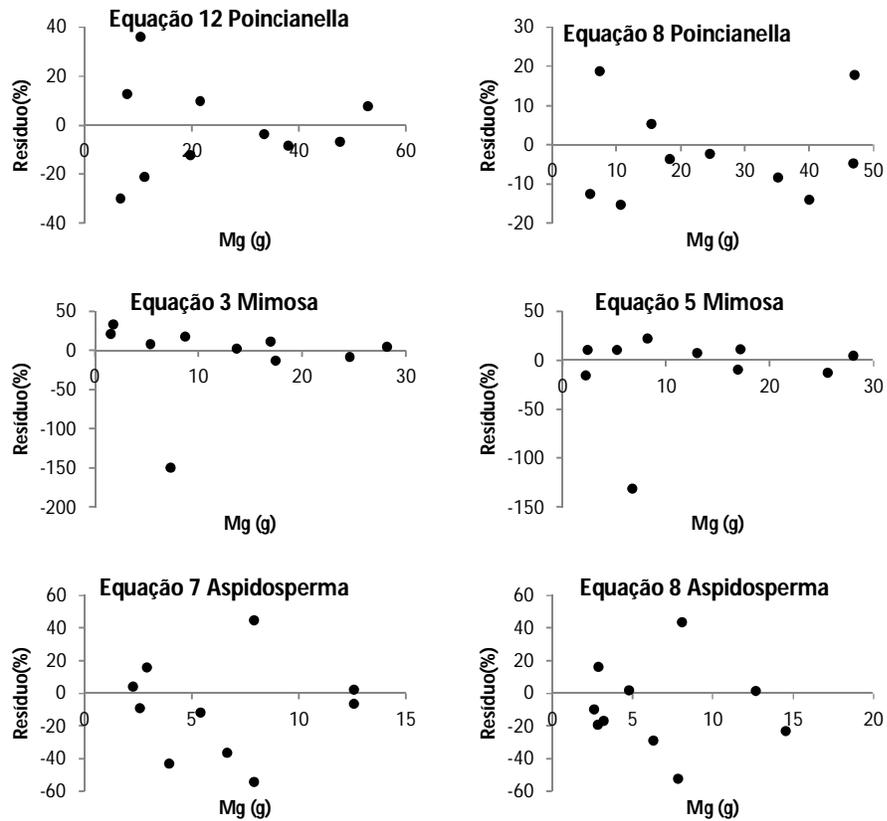


Figura 28: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para magnésio nos galhos de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Aspidosperma pyriformium*, em Floresta-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação selecionada foi a 12, pois apresentou menor Sxy, e na sua distribuição gráfica dos resíduos os desvios foram minimizados a medida que se aumentou o teor de magnésio. Para *Mimosa ophtalmocentra*, a equação selecionada foi a 3, pois apresenta distribuição do seu resíduo semelhante a equação 5, mas apresentou IAaj mais elevado e menor Sxy. Para *Aspidosperma pyriformium*, a equação selecionada foi a 7, pois apresenta o menor Sxy.

4.7 Equações para estimar Enxofre

Para o enxofre total nem um modelo obteve um bom ajuste para representar toda a amostra, apenas quando se fez a estratificação por espécie se teve boas equações para representar o enxofre total presente nas mesmas. Apenas para a espécie *Cnidocolus quercifolius* não foi possível gerar boas equações já que o ajuste de todas equações ficaram abaixo de 70% (Tabela 29).

Tabela 29: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre total para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n , = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Enxofre total por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
13	2,936706	0,01	1,239115		88,24	12,78
16	4275,675	11658,3	1,002232	0,002176	90,19	11,68
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-7,33973	3,3601	-0,22661	0,00979	89,18	14,96
15	4271,899	11658,3	1,002232	0,0018	89,19	14,96
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	2,38231	1,12721	-0,79783		71,71	22,30
19	1705519	629082,1	0,119254		73,8	21,45
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	0,03482	0,41317			85,57	29,67
8	0,1653	1,66576	-0,46078		85,53	31,76

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 13 Lognormal e 16 de Weibull. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e a 15 de Weibull. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram a 2 e 19 Logística. Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 7 e 8.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para enxofre total por espécie, sendo que as equações obtidas para *Poincianella bracteosa* geraram distribuições residuais tendendo a homogeneidade (Figura 29).

Para *Poincianella bracteosa* as duas equações apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a equação 16 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 13 podendo ser considerada a melhor para se estimar enxofre total para essa espécie. Para *Mimosa ophtalmocentra*, a equação 15 é a melhor, por mais que ela apresente estatísticas próximas com a equação 4, a equação 15 de Weibull, apresentar menor variação dos desvios e usa apenas DAP como variável independente. Para *Aspidosperma pyrifolium*, a equação 19 teve o melhor ajuste. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 7, pois apresentou estatísticas um pouco mais elevadas que a equação 8 e apresentam distribuições

residuais semelhantes diminuindo os desvios a medida que se aumenta o teor de enxofre (Figura 29).

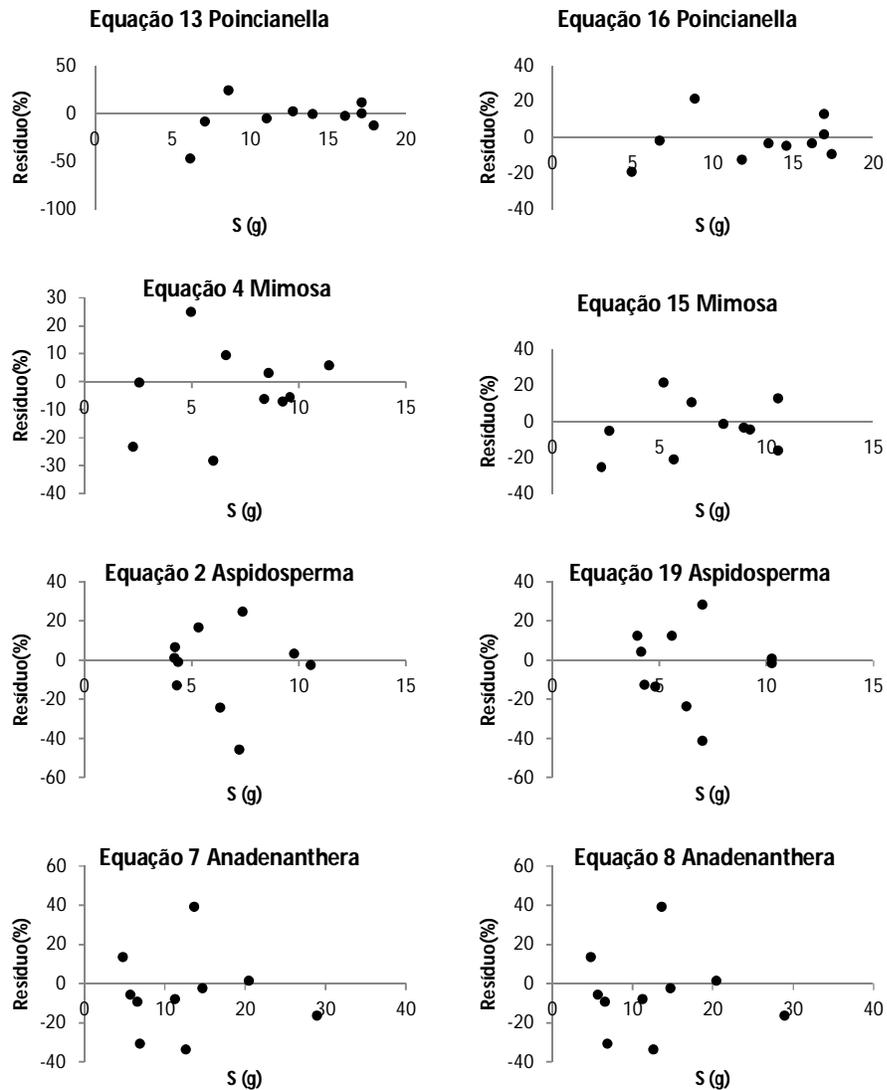


Figura 29: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre total de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyriformis*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE

Para o enxofre no fuste não foi possível obter boas equações para *Aspidosperma pyriformis* já que as estatísticas de todas as equações ficaram abaixo de 70%, mas para as outras espécies se teve boas equações (Tabela 30).

Tabela 30: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre do fuste para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Enxofre do fuste por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
1	-0,0486	0,07102	0,12013	-0,02027	88,29	13,70
17	2,04071	0,720899	11,8347		81,26	17,33
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
4	-2,64116	1,00306	-0,0719	0,00934	97,11	9,67
6	-3,9602	0,92114			88,92	29,13
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	0,16643	0,06536	-0,07242		74,41	24,95
12	0,065236	0,01	1,10245		73,20	25,53
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
2	-0,08939	0,16176	-0,06399		84,97	22,79
5	0,23414	0,014	-0,00083583		86,20	21,84

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas para enxofre no fuste foram a 1 e 17 Chapman e Richard. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 4 e a 6 de Spurr. Para a espécie *Cnidoscolus quercifolius*, destaque para as equações 2 e 12 Lognormal . Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 2 e 5.

As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para enxofre no fuste estão na Figura 30.

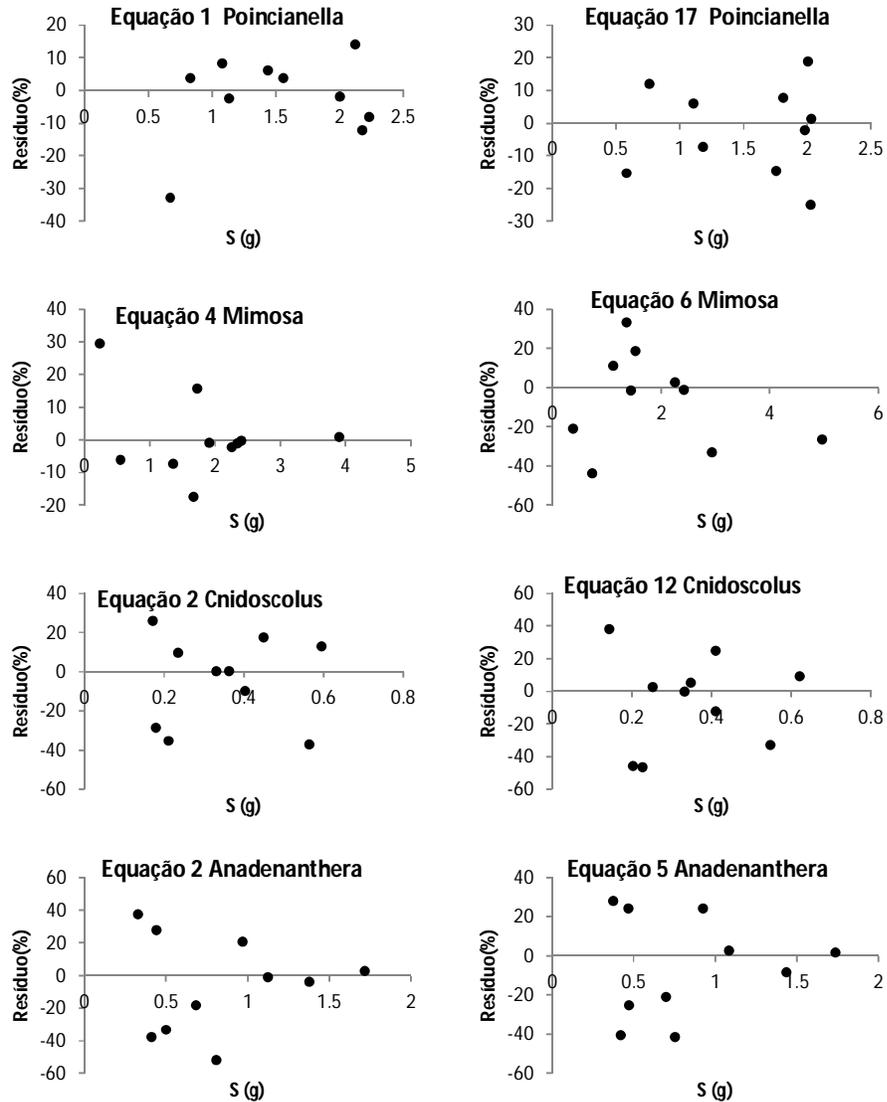


Figura 30: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre no fuste de *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophtalmocentra*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE

Para *Poincianella bracteosa* a equação 1 é a indicada, pois apresentou o mais elevado IAaj, menor Sxy e distribuição gráfica dos resíduos tendendo a homogeneidade. A equação 4 foi a melhor para estimar enxofre no fuste para *Mimosa ophtalmocentra*, apresentou o mais alto IAaj, menor Sxy e menor variação dos desvios no resíduo. Para *Cnidoscolus quercifolius*, as equações 2 e 12 apresentaram distribuições residuais muito próximas, sendo selecionada a equação 2 por ter apresentado IAaj mais alto e menor Sxy. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 5, pois apresentou estatísticas melhores que a equação 1 mesmo apresentando distribuições residuais semelhantes.

Para o enxofre por espécie nas folhas, não se obteve nem uma equação para qualquer espécie. Já pra os galhos se obtiveram boas equações com exceção da espécie *Cnidocolus quercifolius* já que todas as equações para essa espécie ficaram com IAaj abaixo de 70% (Tabela 31).

Tabela 31: Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações selecionadas ajustadas para o enxofre nos galhos para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, em que: b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes da equação, IAaj= índice de ajuste ajustado e Sxy= erro padrão da estimativa.

Enxofre nos galhos por espécie						
<i>Poincianella bracteosa</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	-0,25499	0,05571	1,13954		92,4	20,21
9	-0,23865	1,18724			93,32	19,20
<i>Mimosa ophtalmocentra</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
7	-1,58229	0,47614			71,99	34,17
8	-0,58542	1,74355	-0,91729		72,54	40,35
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
8	-1,23209	1,93344	-1,08144		76,34	36,06
12	0,208798	0,01	0,784268		74,85	33,44
<i>Anadenanthera colubrina</i>						
Equação	b_0	b_1	b_2	b_3	IAaj (%)	Sxy(%)
5	-0,51005	0,25269	-0,0107		79,96	36,08
7	-1,43733	0,5687			86,41	41,88

Para *Poincianella bracteosa* as equações selecionadas foram a 8 Schumacher e Hall, e 9. Para *Mimosa ophtalmocentra* as equações selecionadas foram a 7 e a 8. Para *Aspidosperma pyrifolium* as equações selecionadas foram a 8 e 12 Lognormal . Já para *Anadenanthera colubrina* destaque para as equações 5 e 7. As distribuições gráficas dos resíduos para as equações que mais se destacaram para enxofre nos galhos por espécie mostra variação nas superestimativa dos desvios (Figura 31).

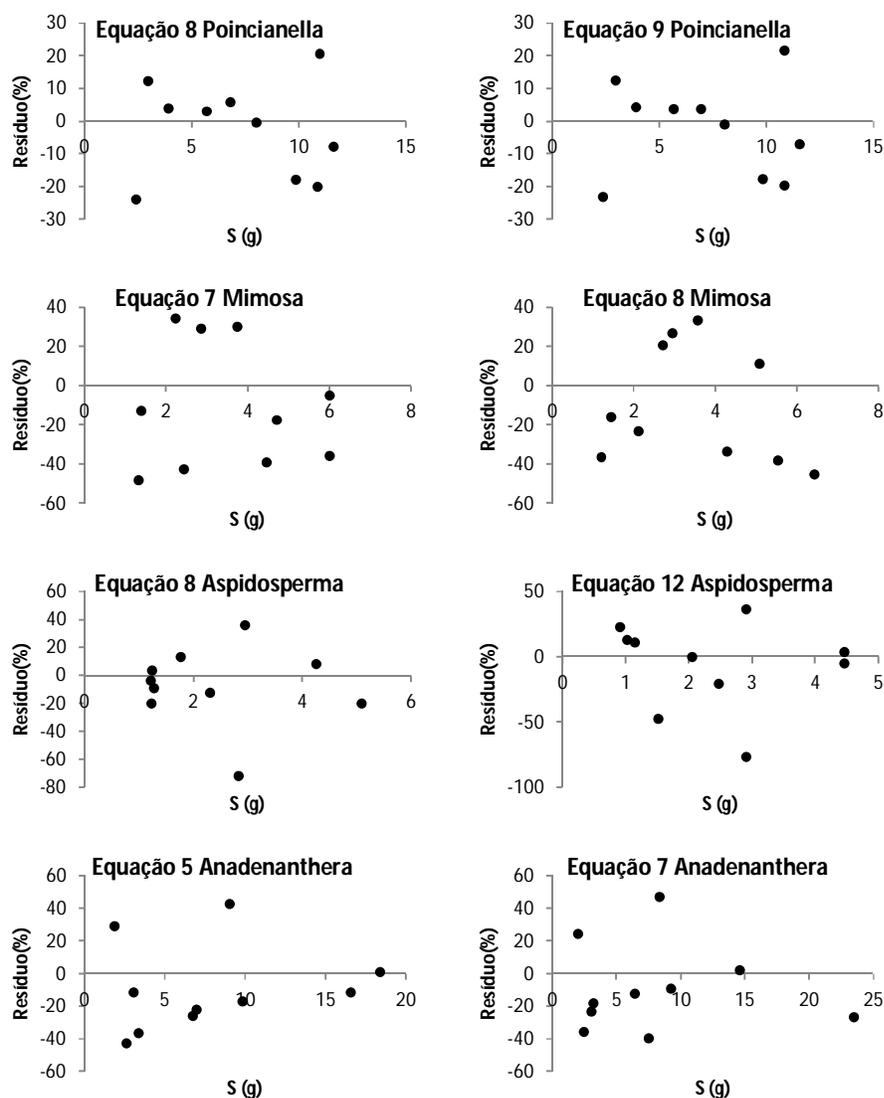


Figura 31: Distribuições gráficas dos resíduos das equações selecionadas para enxofre nos galhos de *Poinciana bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Aspidosperma pyriform*, *Anadenanthera colubrina* em Floresta-PE

Para *Poinciana bracteosa* as duas equações apresentaram distribuições residuais semelhantes, mas a equação 9 apresentou IAaj mais elevado e Sxy mais baixo do que equação 8 sendo a indicada para se estimar enxofre nos galhos para essa espécie. Para *Mimosa ophthalmocentra*, a equação 7 foi a selecionada, pois apresentou o menor Sxy e distribuição do resíduo quase homogênea. Para *Aspidosperma pyriform*, a equação 12 foi a selecionada por apresentar resíduo com menor variação e Sxy mais baixo. Para *Anadenanthera colubrina*, a equação selecionada foi a 7, pois apresentou IAaj mais elevado que a equação 5, mesmo

apresentando distribuições residuais semelhantes diminuindo os desvios a media que se aumenta o teor de enxofre.

Por fim estão listadas as equações selecionadas de biomassa e nutrientes que foram criadas para as espécies da Caatinga. Estas equações serviram de subsídio e embasamento para futuros trabalhos científicos e planos de manejo florestal, para se estimar o quanto de biomassa e nutrientes será retirado do ambiente em um futuro processo de colheita, e posteriormente se fazer o processo de recomposição (Tabela 32).

Tabela 32: Equações Criadas para estimar biomassa e nutrientes de espécies da caatinga em Floresta-PE, em que IAaj: índice de ajuste ajustado, Sxy: erro padrão da estimativa, DAP: diâmetro a altura do peito, HT: altura total, Hc: altura comercial, B=biomassa verde, N=nitrogênio, P=fosforo, K=potássio, Ca=cálcio, Mg=magnésio, S=enxofre.

	Equações amostra total	IAaj(%)	Sxy(%)
Total	$\hat{B}_i = 1,987783.DAP_i^{0,58544}HT_i^{0,65105}$	78,41	29,67
Ca.Total	$\ln\hat{Ca}_i = 1,94447 + 0,48529\ln(DAP^2H)_i$	78,66	36,30
Ca.Fuste	$\hat{Ca}_i = 0,682925.DAP_i^{1,82718}HC_i^{-0,35725}$	70,13	60,64
	Equações para <i>Poincianella bracteosa</i>	IAaj(%)	Sxy(%)
B.total	$\hat{B}_i = 0,11841 + 0,75577DAP_i^2 + 0,26359HT_i^2 - 0,05644(DAP^2HT)_i$	95,12	12,49
B.fuste	$\hat{B}_i = 2,62706 + 0,25919DAP_i^2 + 0,21975HC_i^2 - 0,03077(DAP^2HC)_i$	93,45	14,63
B.folha	$\hat{B}_i = 0,91273 + 0,08629DAP_i^2 + 0,04301HT_i^2 - 0,00773(DAP^2HT)_i$	86,78	14,31
B.galho	$\hat{B}_i = -1,90161 + 0,41341DAP_i^2 + 0,09929HT_i^2 - 0,0312(DAP^2HT)_i$	91,95	18,66
N.total	$\ln\hat{N}_i = 2,74365 + 0,42712\ln(DAP^2HT)_i$	91,56	21,62
N.Fuste	$\ln\hat{N}_i = 0,92632 + 0,74401\ln(DAP^2)_i$	84,84	41,47
N.folha	$\ln\hat{N}_i = 2,42768 + 0,31071\ln(DAP^2)_i$	84,91	18,32
N.galho	$\ln\hat{N}_i = 1,37629 + 1,48374\ln(HT)_i$	92,76	23,11
P.total	$\hat{P}_i = 0,2368 + 2,15314DAP_i + 1,70038HT_i$	92,96	11,23
P.fuste	$\hat{P}_i = 2,808828.exp[0,071134 (1,338278^{DAP_i} + 1,458296^{HC_i})]$	96,54	11,82
P.folhas	$\hat{P}_i = 14,01526[1 - exp(-0,288658.DAP_i)]^{2,177347}$	94,58	8,14
P.galhos	$\hat{P}_i = 1,253074.DAP_i^{-0,68896}HT_i^{1,7115}$	88,88	17,45
K.total	$\hat{K}_i = \frac{3191188}{[1 + 180715,9e^{-0,144621.DAP_i}]}$	90,22	13,71
K.fuste	$\hat{K}_i = 2,723425.exp[0,012485 (1,549658^{DAP_i} + 1,985606^{HC_i})]$	94,12	14,57
K.folha	$\hat{K}_i = 316,1486 - 275,803e^{0,54662DAP_i^{-1,48805}}$	85,92	12,49
K.galho	$\hat{K}_i = 6,871043.exp[0,049017(1,365625^{DAP_i} + 1,225306^{HT_i})]$	87,69	23,24
Ca.total	$\hat{Ca}_i = \frac{-338,903}{[1 - 11,8371e^{-0,171025.DAP_i}]}$	97,00	13,01
Ca.fuste	$\hat{Ca}_i = 1,781779.exp[0,521746 (1,16685^{DAP_i} + 1,151974^{HC_i})]$	98,37	10,09
Ca.folha	$\ln\hat{Ca}_i = 1,61149 + 0,86988\ln HT_i$	73,70	21,40
Ca.Galho	$\hat{Ca}_i = 5,633056.exp[0,677381 (1,142452^{DAP_i} + 1,052616^{HT_i})]$	96,94	14,71
Mg.total	$\hat{Mg}_i = \frac{-1,75E+07}{[1 - 1827608e^{-0,196354.DAP_i}]}$	97,41	9,22
Mg.fuste	$\hat{Mg}_i = 0,038983.exp[0,938623(1,104194^{DAP_i} + 1,080726^{HC_i})]$	96,48	11,15
Mg.folha	$\hat{Mg}_i = \frac{659733,2}{[1 + 118408,3e^{-0,131382.DAP_i}]}$	86,33	14,91
Mg.galho	$\hat{Mg}_i = 0,954035e^{(\ln DAP_i - 0,01) / 0,590973)}$	96,09	13,48
S.total	$\hat{S}_i = 4275,675 - 11658,3e^{-1,002232.HT_i^{0,002176}}$	90,19	11,68

Continua...

Continua...

S.fuste	$\hat{S}_i = -0,0486+0,07102DAP^2_i +0,12013H^2-0,02027 (DAP^2HC)_i$	88,29	13,70
S.galho	$\ln\hat{S}_i = -0,23865+ 1,18724\ln HT_i$	93,32	19,20
Equações para <i>Mimosa ophthalmocentra</i>		IAaj(%)	Sxy(%)
B.total	$\hat{B}_i = -7,44589+5,53015DAP_i -0,41305DAP^2_i+0,03565(DAP^2HT)_i$	91,22	15,94
B.fuste	$\hat{B}_i = -12,05362+5,48046DAP_i - 0,37473DAP^2_i+0,04007(DAP^2HC)_i$	94,22	14,42
B.folha	$\hat{B}_i = 0,385871e^{[(\ln DAP_i-0,01)/ 1,133721]}$	77,29	20,90
B.galho	$\hat{B}_i = 0,958585e^{[(\ln DAP_i-0,01)/ 0,995987]}$	80,38	22,38
N.total	$\ln\hat{N}_i = 2,19661+ 0,68417\ln(DAP^2)_i$	88,38	16,80
N.fuste	$\ln\hat{N}_i = 0,98861+ 0,74483\ln(DAP^2)_i$	72,47	33,07
N.galho	$\hat{N}_i = -37,46035+20,15458DAP_i - 2,4351DAP^2_i+0,2228 (DAP^2HT)_i$	72,07	31,39
P.total	$\hat{P}_i = -10,39917+6,08305DAP_i - 0,42921DAP^2_i+0,02632(DAP^2HT)_i$	83,99	17,05
P.fuste	$\hat{P}_i = -5,83392+2,08382DAP_i -0,13262DAP^2_i+0,02045(DAP^2HC)_i$	89,81	20,47
K.total	$\hat{K}_i = \frac{43,28301}{[1+ 20,80546e^{-0,596359.DAP_i}]}$	84,65	16,00
K.fuste	$\hat{K}_i = -9,91045+4,08631DAP_i - 0,30114DAP^2_i+ 0,02277(DAP^2HC)_i$	93,74	11,07
K.galho	$\hat{K}_i = 4350601[1-\exp(-(3,43E-06).DAP_i)]^{1,184638}$	82,66	19,10
Ca.total	$\hat{C}a_i = -59,29831+27,89323DAP_i -1,86132DAP^2_i+0,18189(DAP^2HT)_i$	90,02	17,81
Ca.fuste	$\hat{C}a_i = -35,41957+11,77964DAP_i -0,76013DAP^2_i+0,16246(DAP^2HC)_i$	94,90	16,01
Ca.folha	$\ln\hat{C}a_i = 0,45852+ 0,42955\ln(DAP^3)_i$	78,99	25,03
Ca.galho	$\ln\hat{C}a_i = 0,69044+ 0,52461\ln(DAP^3)_i$	84,97	22,37
Mg.total	$\ln\hat{M}g_i = -0,55477+ 0,60071\ln(DAP^3)_i$	91,13	19,28
Mg.fuste	$\hat{M}g_i = -1,30552+0,49751DAP_i -0,03566DAP^2_i +0,00466 (DAP^2HC)_i$	97,08	9,69
Mg.galho	$\hat{M}g_i = -6,07996+1,83367DAP_i+0,01895(DAP^2H)_i$	93,82	18,75
S.total	$\hat{S}_i = 4271,899 - 11658,3e^{-1,002232.DAP_i^{0,0018}}$	89,19	14,96
S.fuste	$\hat{S}_i = -2,64116+1,00306DAP_i -0,0719DAP^2_i +0,00934 (DAP^2HC)_i$	97,11	9,67
S.galho	$\ln\hat{S}_i = -1,58229+0,47614\ln(DAP^3)_i$	71,99	34,17
Equações para <i>Aspidosperma pyriformium</i>		IAaj(%)	Sxy(%)
B.total	$\ln\hat{B}_i = 1,09367+ 0,27233\ln(DAP^2HT)_i$	78,72	19,41
B.fuste	$\hat{B}_i = 0,76345+0,51505DAP_i -0,2711HT_i$	79,18	20,22
N.total	$\hat{N}_i = 80,25838-2,54954DAP^2_i+0,54826(DAP^2HT)_i$	76,18	23,71
N.folha	$\hat{N}_i = \frac{27,2455}{[1 -0,02936e^{0,26588.DAP_i}]}$	83,70	15,04
Ca.total	$\hat{C}a_i = \frac{2,15E+10}{[1+(8,13E+08)e^{-0,163409.DAP_i}]}$	84,27	21,52
Ca.fuste	$\hat{C}a_i = 4,832146e^{[(\ln DAP_i-1,02)/ 0,860663]}$	81,28	24,31
Ca.folha	$\hat{C}a_i = \frac{8,828384}{[1-0,58845e^{0,03799.DAP_i}]}$	87,11	19,92
Ca.galho	$\ln\hat{C}a_i = 1,32687+ 0,35276\ln(DAP^3)_i$	72,32	33,79
Mg.total	$\hat{M}g_i = 3,97397+3,83038DAP_i -2,6742HT_i$	77,15	24,03
Mg.fuste	$\hat{M}g_i = 1,490816e^{[(\ln DAP_i-1,02)/ 1,236318]}$	70,92	22,85
Mg.folha	$\hat{M}g_i = 11,78152-2,67798DAP_i+0,3777DAP^2_i-0,01983(DAP^2HT)_i$	81,72	18,30
Mg.galho	$\ln\hat{M}g_i = -0,8382+0,45894\ln(DAP^3)_i$	79,61	40,64
S.total	$\hat{S}_i = \frac{1705519}{[1+629082,1e^{-0,119254.DAP_i}]}$	73,8	21,45
S.galho	$\hat{S}_i = 0,208798e^{[(\ln DAP_i-0,01)/ 0,784268]}$	74,85	33,44
Equações para <i>Cnidoscopus quercifolius</i>		IAaj(%)	Sxy(%)
B.total	$\ln\hat{B}_i = 1,22879+ 0,2874\ln(DAP^3)_i$	83,02	20,76
B.fuste	$\hat{B}_i = 1,345943e^{[(\ln DAP_i-0,01)/1,090766]}$	74,22	23,58
B.folha	$\ln\hat{B}_i = -0,16657+ 0,25898\ln(DAP^3)_i$	82,94	14,25
N.total	$\hat{N}_i = 39,63154+3,29374DAP^2_i - 0,384 (DAP^2HT)_i$	76,24	21,11
N.folha	$\hat{N}_i = 22,76911+1,16383DAP^2_i - 0,13238(DAP^2HT)_i$	88,78	11,26

Continua...

Continua...

P. total	$\hat{P}_i = 3,80337+0,31294DAP_i^2 - 0,03579 (DAP^2HT)_i$	75,78	21,66
P. folha	$\hat{P}_i = -0,07524+0,83388DAP_i - 0,006(DAP^2HT)_i$	87,85	10,66
K. total	$\hat{K}_i = 20,01499+1,43002DAP_i^2 - 0,16541(DAP^2HT)_i$	81,47	17,20
K. fuste	$\hat{K}_i = \frac{7,047094}{[1+ 47,7282e^{-0,706289.DAP_i}]}$	75,19	30,33
K. folha	$\hat{K}_i = 10,18211+0,59494DAP_i^2 - 0,06828(DAP^2HT)_i$	91,59	10,19
Ca. total	$\hat{C}a_i = 26,02376.DAP_i^{1,211} HT_i^{-0,63755}$	80,34	35,37
Ca. fuste	$\hat{C}a_i = 0,536207e^{[(\ln DAP_i - 0,01)/ 0,6818]}$	87,79	25,31
Ca. folha	$\hat{C}a_i = 10,2403+1,1481DAP_i^2 - 0,12061 (DAP^2HT)_i$	88,93	16,60
Mg.fuste	$\hat{M}g_i = 0,31998+0,12748DAP_i - 0,13496HC_i$	74,78	24,46
S. fuste	$\hat{S}_i = 0,16643+0,06536DAP_i - 0,07242HC_i$	74,41	24,95
Equações para <i>Anadenanthera colubrina</i>		IAaj(%)	Sxy(%)
B. total	$\hat{B}_i = \frac{51,63157}{[1+ 16,05867e^{-0,362138.DAP_i}]}$	93,45	15,08
B. fuste	$\hat{B}_i = \frac{24,9822}{[1+ 18,05488e^{-0,369333.DAP_i}]}$	89,43	20,35
b.folha	$\hat{B}_i = 3,99122 - 2,497061e^{-0,000204DAP_i^{4.395654}}$	83,13	14,99
B. galho	$\hat{B}_i = \frac{22,74502}{[1+ 18,10931e^{-0,353235.DAP_i}]}$	91,62	18,76
N. total	$\hat{N}_i = 35,81478+3,44182DAP_i^2 - 0,16838 (DAP^2HT)_i$	88,04	16,62
N. fuste	$\hat{N}_i = 99,72195 - 72,72517e^{-(7,15E-13)DAP_i^{13,24435}}$	95,44	12,82
N. folha	$\hat{N}_i = 15,08706+ 1,4889DAP_i^2 - 0,08839(DAP^2HT)_i$	78,76	18,68
N. galho	$\ln \hat{N}_i = 1,55972+ 0,50989 \ln(DAP_i^2)$	78,54	25,11
P. total	$\hat{P}_i = 3,216711e^{[(\ln DAP_i - 0,01)/ 1,140942]}$	77,39	22,39
P. fuste	$\hat{P}_i = 1,25977-0,00704DAP_i^2 - 0,07883HC_i^2 + 0,00508 (DAP^2HC)_i$	84,76	17,7
P. galho	$\hat{P}_i = 2,57122+0,21101DAP_i^2 - 0,0074(DAP^2HT)_i$	80,56	27,71
K. total	$\hat{K}_i = 6,57629+2,84903DAP_i - 0,8983HT_i$	91,59	10,73
K. galho	$\hat{K}_i = 18,62887- 13,84023e^{-(1,78E-09)DAP_i^{8,556776}}$	91,28	19,98
Ca. total	$\hat{C}a_i = 12,86932+3,60801DAP_i^2 - 0,13802 (DAP^2HT)_i$	92,63	18,72
Ca. fuste	$\hat{C}a_i = 0,90864+0,36848DAP_i^2 - 0,0233(DAP^2HC)_i$	91,13	22,09
Ca. folha	$\hat{C}a_i = 7,9698+0,76773DAP_i^2 - 0,03754 (DAP^2HT)_i$	92,56	12,88
Ca. galho	$\hat{C}a_i = 4,29589+2,3988DAP_i^2 - 0,08343 (DAP^2HT)_i$	90,39	23,65
Mg. total	$\hat{M}g_i = 1,0648+2,92366DAP_i - 1,00977HT_i$	81,28	23,70
Mg. fuste	$\hat{M}g_i = 1,01831+0,1486DAP_i^2 - 0,00861 (DAP^2HC)_i$	89,32	22,98
S. total	$\ln \hat{S}_i = 0,03482+0,41317 \ln(DAP_i^3)_i$	85,57	29,67
S. fuste	$\hat{S}_i = 0,23414+0,014DAP_i^2 - 0,00083583(DAP^2HC)_i$	86,20	21,84
S. galho	$\ln \hat{S}_i = -1,43733+ 0,5687 \ln(DAP_i^3)_i$	86,41	41,88

5. DISCUSSÃO

Em estudo com Biomassa total Alves Júnior (2010) encontrou equações para todas as espécies superiores a 90% de R^2_{aj} para biomassa total, porém o S_{xy} mais baixo nesse trabalho foi de 39 %, e o mais alto de 152%. Nesse estudo o autor acrescentou a variável número de galhos para biomassa total, variável essa que não estava disponível no banco de dados usado neste estudo. Silveira (2008) ajustou modelos que resultaram em equações com R^2_{aj} variando de 85% a 91% com S_{xy} variando de 25% a 35% em floresta ombrófila densa, mostrando que é difícil se obter uma equação mais precisa para toda a amostra de espécies da Caatinga, já que as árvores que compõem essa vegetação apresentam medidas dendrometrias com muitas variações entre as espécies.

Para biomassa do fuste as equações selecionadas tiveram valores para os critérios estatísticos muito próximos em torno de 64% de coeficiente de determinação e de 38% para o erro padrão da estimativa. Para galhos as equações mais regulares ficaram entre 69 a 67% de R^2_{aj} e entre 54 e 52% para biomassa verde de folhas. Barbeiro et al. (2009) ajustaram modelos para estimativa de peso de total, fuste, galhos e folhas para *Nectandra grandiflora* em São João do Triunfo-PR e concluíram que para a folhagem, os ajustes não se mostraram satisfatórios, enquanto para galhos os ajustes foram apenas razoáveis para alguns dos modelos, embora os erros padrões das estimativas tenham sido sempre superiores a 20%.

Ratuchne (2010) ajustou modelos para biomassa verde total, do fuste, galhos e folhas de sua amostra em floresta ombrófila densa, com R^2_{aj} maior que 90%, superiores as equações obtidas para todo o conjunto amostral da Caatinga, mas com S_{xy} maiores que 36% também superiores, mostrando que apesar de nesse trabalho o R^2_{aj} não ser tão alto, apresentaram S_{xy} satisfatórios para um ambiente heterogêneo como a Caatinga.

Em estudo com biomassa total Ferraz (2011) ajustou modelos para *Poincianella bracteosa* no município de Floresta-PE sendo que a melhor equação que o autor encontrou obteve $R^2_{aj} = 0,93\%$ e $S_{xy}(\%) = 18,65$ logo os modelos utilizados nesse trabalho geraram equações mais precisas para estimar biomassa de *Poincianella bracteosa*. Zákia et al. (1992) desenvolveram uma equação com R^2 de 95% para *Poincianella pyramidalis* no Seridó Estado do Rio Grande do Norte, em área de vegetação densa, porém nesse estudo o coeficiente de determinação

utilizado foi o simples e não o ajustado, desconsiderando o número de parâmetros no modelo testado. O mesmo autor ainda obteve uma equação com R^2 de 91% para *Aspidosperma pyriforme*, sendo que mais uma vez não foi considerado o número de parâmetros do modelo.

Sampaio et al. (2010) avaliando o peso seco de regeneração de *Mimosa ophthalmocentra* no sertão pernambucano ajustou o modelo potência encontrando R^2 de 81%, logo a equação ajustada nesse estudo em Floresta-PE teve um ajuste bem mais significativo. Já Scolforo et al. (2008) utilizaram o modelo de Schumacher e Hall, em três municípios diferentes no Estado de Minas Gerais em área de Cerrado para estimar a biomassa total de *Anadenanthera colubrina*, encontrando R^2_{aj} para essa mesma espécie variando de 91,93% a 95,37%, sendo que as equações ajustadas para o município de Floresta-PE estão nesse intervalo, porém para erro padrão da estimativa as equações ajustadas em Minas Gerais tiveram valores mais altos, variando de 21,24% a 32,33%.

Em outras formações com características similares a Caatinga, Prado et al. (1986) ajustaram modelos para biomassa total de *Quillaja saponaria* Mol em região semiárida Central no Chile, sendo que a equação selecionada gerou R^2 de 97%. Cairns et al. (2003), em área de florestas secas na península Yucatan no México, ajustou modelos para as principais espécies da área sendo que para as árvores com DAP abaixo de 10 cm as equações variaram de R^2 72% a 99% e para as árvores com DAP acima de 10 cm o R^2 variou de 91% a 98%. Shackleton e Scholes (2010), ajustaram modelos nas Savanas Africanas para as principais espécies da área e encontram R^2 variando de 95% a 99%. Em todos esses trabalhos as equações apresentaram boas estatísticas, sendo que para algumas espécies R^2 maior que para as espécies da Caatinga em Floresta-PE, porém nesses trabalhos nem um dos autores considerou o número dos modelos.

Para biomassa no fuste por espécie Brandeis et al. (2006), encontrou equações para o fuste de *Bucida buceras* espécie de florestas tropicais secas em Porto Rico, sendo que a equação selecionada obteve R^2 de 98%. Prado et al. (1986), obteve uma equação com R^2 de 96% e S_{xy} de 30,8% usando um modelo com 2 parâmetros, sendo que o R^2 desses estudos foi maior, porém o S_{xy} das equações para a Caatinga foi menor.

As equações criadas para estimar biomassa verde das folhas por Shackleton e Scholes (2010) para as espécies das savanas africanas indicaram que a espécie

que apresentou menor R^2 85% foi *Acacia swazica*, valor esse menor que para a equação selecionada para as espécies da Caatinga *Poincianella bracteosa* com IAaj de 86,78%.

Shackleton e Scholes (2010) ajustaram equação para biomassa de galhos de *Combretum collinum*, em área de Savanas na África e considerando como variável independente apenas o Log(DAP) encontrando um R^2 de 96%.

Em trabalhos para estimar nitrogênio total, Phillips et al. (1989), ajustaram modelos para principais espécies do litoral sul dos Estados Unidos e obtiveram equações com precisões variando de 94% a 99% de R^2 . Rubilar et al. (2005) ajustaram modelos para estimar nitrogênio total de *Pinus taeda* no Alabama, Sudeste dos Estados Unidos, e a melhor equação que conseguiu ajustar obteve R^2 de 62%. No Brasil, Ribeiro et al. (2012) também testaram modelos para nitrogênio total em povoamento de Bracatinga (*Mimosa scabrella*) em Curitiba, conseguindo uma equação com R^2 aj de 91,6%, valor esse muito próximo das equações selecionadas para *Poincianella bracteosa* em Floresta PE.

Já para nitrogênio no fuste Ratuchne (2010) encontrou uma equação para estimar nitrogênio no fuste pelo método *Stepwise* com R^2 aj de 96,9%, porém com erro Sxy de 52%, Téó (2009), em seu estudo com modelagem de nitrogênio total para bracatingais (povoamento de *Mimosa scabrella*), obteve uma equação com R^2 aj de 89% e Sxy de 23%.

Em trabalho com modelagem de nitrogênio em folhas, Téó (2009) obteve equações com 80,8 % de R^2 aj e Sxy de 36, 5%, sendo que o IAaj das equações ajustadas para *Poincianella bracteosa* e *Cnidocolus quercifolius*, foram superiores a desenvolvida pelo autor para Bracatingais, e o Sxy do mesmo, foi superior aos das equações para as espécies da Caatinga. Ratuchne (2010), também encontrou equações para estimativa do nitrogênio nas folhas de floresta ombrófila densa, porem como ele não fez ajuste por espécies, não conseguir gerar boas equações.

Para modelagem de fósforo, Phillips et al. (1989) obtiveram equações para fósforo total com R^2 variando de 91% a 98%, para as principais espécies do litoral sul dos Estados Unidos. Rubilar et al. (2005) obteve uma equação para *Pinus taeda* com R^2 de 79%. Ribeiro et al. (2012) obteve uma equação para estimar o fósforo total com R^2 aj de 91,7% e Sxy de 14,4% para Bracatinga, inferior a melhor equação para *Poincianella bracteosa*.

Ratuchne (2010) tentou encontrar boas equações para estimar o fósforo no fuste para floresta ombrófila densa, porém o R^2_{aj} mais elevado que ele encontrou não passou de 55% e um S_{xy} muito alto acima de 200%. Já Téó (2009), obteve uma equação para o fósforo no fuste de Bracatinga com R^2_{aj} de 85,5% e S_{xy} de 26,2%, erro padrão da estimativa maior do que das equações selecionadas ajustadas para as espécies da Caatinga, e o R^2_{aj} só foi maior que para *Cnidocolus quercifolius*.

Rubilar et al. (2005) ajustaram equações para o fósforo nas folhas de *Pinus taeda* sendo que a equação selecionada ajustado por esses autores atingiu R^2 75%.

Téó (2009) obteve duas equações para estimar fósforo em galhos finos com R^2_{aj} de 63% e para galhos grossos com R^2_{aj} de 95%.

As equações globais para estimarem potássio total ajustadas por Ratchune (2010) atingiram no máximo 73% de R^2_{aj} , Santana et al. (2009), obtiveram uma equação para Eucaliptos com R^2 de 89% e Ribeiro et al. (2012) em seu trabalho obtiveram para sua melhor equação R^2_{aj} de 89,6% e S_{xy} de 16,9%.

Phillips et al. (1989) ajustaram equações em que o R^2 variou de 98% a 94% para as principais espécies da Costa Sul dos Estados Unidos, já a equação ajustada para estimar potássio no fuste de *Pinus taeda* por Rubilar et al., (2005), obteve ajuste regular de apenas 65%.

As equações globais para estimar potássio nas folhas de Ratchune (2010), obtiveram ajustes muito fracos, resultando em equações com apenas de 40% de R^2_{aj} , já a equação de Rubilar et al. (2005) foi um pouco melhor com R^2 de 72%.

As equações para estimar potássio nos galhos ajustadas por Téó (2009) obtiveram 79,2 % de R^2_{aj} e 39,8% de S_{xy} para galhos finos, para os grossos o R^2_{aj} foi de 87% e S_{xy} de 33,2%, o ajuste para galhos finos foi inferior ao ajuste para as espécies da Caatinga em estudo, já o ajuste para galhos grossos, só foi superior para as equações ajustadas para *Mimosa ophtalmocentra* e a equação 19 ajustada pra *Poincianella bracteosa*, porém com S_{xy} maior.

Para o cálcio as equações globais desenvolvidas por Ratuchne (2010), em floresta ombrófila densa, apresentaram ajustes bem mais satisfatórios para o cálcio total com R^2_{aj} de 97%, mas o erro foi próximo ao encontrando neste estudo, sendo S_{xy} de 44,45%, já para o fuste o mesmo autor obteve pelo método *Stepwise* o R^2_{aj} para sua melhor equação de 87%, porém como o S_{xy} de 99,58%, inferindo-se que por mais que o R^2 seja alto, equações globais devem provavelmente apresentar erros relativamente altos, devido a grande variabilidade entre as espécies.

A equação ajustada por Santana et al. (2009) para estimar cálcio total para Eucaliptos apresentou R^2 de 89%, as equações ajustadas por Phillips et al. (1989), variaram para as principais espécies de 91% a 98 % de R^2 , sendo que nem um dos autores considerou o número de parâmetros dos modelos testados apresentando sempre R^2 e não R^2_{aj} , e isto pode estar favorecendo alguns modelos com maiores números de variáveis, mas mesmo assim as equações obtidas neste estudo apresentaram IA_{aj} 77% a 97% e com S_{xy} variando de 13% a 35%, mostrando resultados satisfatórios em comparação com equações de cálcio para outras espécies e formações

A equação apresentada por Rubilar et al. (2005) para estimar cálcio no fuste de *Pinus taeda* apresentou R^2 muito baixo de 32%. Téó (2009) obteve para a melhor equação valores de R^2_{aj} de 65,2% e S_{xy} de 46,2%. Já Ribeiro et al. (2012), obtiveram R^2_{aj} bem melhor de 88,1% e S_{xy} de 17,7%, sendo assim, verifica-se que as equações ajustadas para estimar o cálcio no fuste para as espécies da Caatinga apresentaram bons ajustes.

Rubilar et al. (2005) testaram modelos com 3 parâmetros para estimar cálcio nas folhas de *Pinus taeda*, obtendo equação com R^2 de 72, já Ratuchne (2010) encontrou R^2_{aj} mais baixo ainda de 52,5% e S_{xy} de 194,84%.

Ratuchne (2010) obteve uma equação para se estimar cálcio nos galhos para espécies de floresta ombrófila densa com R^2_{aj} de 89,8%, porém com S_{xy} de 57,39%. Téó (2009) obteve equações para galhos finos de Bracatinga com valores de R^2_{aj} de 64,8 e S_{xy} de 35,6%, e para os galhos grossos sua equação selecionada obteve R^2_{aj} de 85% e S_{xy} de 46,2%, esse maior do que as equações ajustadas neste estudo.

A equação selecionada ajustada por Santana et al. (2009), para se estimar magnésio total em Eucaliptos obteve R^2 de 92%, Ribeiro et al. (2012), encontraram para sua melhor equação R^2_{aj} de 99,4% e S_{xy} de 3,4%, Phillips et al. (1989) obtiveram para suas espécies, equações variações de R^2 entre 87% a 98%, demonstrando que na maioria dos trabalhos o magnésio total é de fácil ajuste, gerando boas equações nas mais distintas formações.

Phillips et al. (1989) ajustando modelos para estimar magnésio no fuste para as principais espécies do litoral Sul dos Estado Unidos, encontraram para as equações selecionadas R^2 variando de 93% a 98%, Ribeiro et al. (2012), obtiveram

para sua melhor equação R^2_{aj} de 99,4% e S_{xy} de 3,8%, já Téó (2009), encontrou R^2_{aj} de 65% e S_{xy} de 60%.

A equação selecionada por Rubilar et al. (2005) para estimar magnésio nas folhas de *Pinus taeda* apresentou R^2 de 72%, da mesma forma a equação selecionada por Téó (2009), para Bracatinga obteve R^2_{aj} de 74,8% e S_{xy} de 36,6%, sendo assim pode se inferir que as 2 espécies deste estudo que foi possível obter regressão, apresentam equações satisfatórias para se estimar magnésio nas folhas, com um bom IA_{aj} e baixo S_{xy} .

. As equações ajustadas por Téó (2009) para estimar magnésio de Bracatinga, apresentaram para galhos finos R^2_{aj} de 74,4% e S_{xy} 54,4%, já para galhos grossos R^2_{aj} de 79,9% e S_{xy} 57,5%, sendo que para este estudo as equações que apresentaram estatísticas semelhantes às encontradas por esse autor, foram às equações ajustadas para *Aspidosperma pyrifolium*, as equações ajustadas para as outras espécies apresentaram ajustes melhores.

Ratuchne (2010), ajustando equações para enxofre total de floresta ombrófila densa, obteve para sua melhor equação um R^2_{aj} de 95,5%, porém o S_{xy} foi bastante elevado de 79,9%.

Rubilar et al. (2005), obteve uma equação para estimar enxofre no fuste de *Pinus taeda*, com um R^2 de apenas 64%, Ratuchne (2010), encontrou para sua melhor equação um R^2_{aj} de 93,5%, porém com S_{xy} de 105,07%. Comparando as equações obtidas neste estudo, com dos referidos autores infere-se que foram geradas boas equações para se estimar o teor de enxofre no fuste para as espécies da Caatinga.

A melhor equação selecionada por Ratuchne (2010) para estimar enxofre nos galhos para a floresta ombrófila densa, apresentou R^2_{aj} de 94,7%, mas o S_{xy} foi muito alto de 102,84%.

6. CONCLUSÕES

Para biomassa total as equações apresentaram estatísticas significativas, porém, por compartimento das árvores não foi possível se obter boas equações. A acurácia dos ajustes melhorou quando foi feito a estratificação por espécie, mas mesmo assim o ajuste foi um pouco menor que em outras formações com características similares da Caatinga.

Para nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre não foi possível gerar equações que representassem toda a amostra apenas para cálcio foi possível se ter equações globais para a amostra total e para fuste total.

Quando se fez a estratificação por espécie foi possível obter equações para a maioria das espécies, destaque para a espécie *Poincianella bracteosa*, na qual as equações selecionadas para essa espécie sempre apresentaram estatísticas significativas. Não foi possível gerar equação para essa espécie quando a variável resposta foi o enxofre para as folhas.

De um modo geral, foram criadas equações alométricas para estimar biomassa e nutrientes em espécies de maior valor de importância na vegetação de uma área de caatinga em Floresta-PE.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 13, n.36, p. 5-36, abr. 1999.

ALVES; A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011. 116f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2011.

ALVES JUNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de Caatinga, Floresta-PE**. 2010. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2010.

ANGELINI, R; GOMES, L. C. **O artesanão de ecossistemas: construindo modelos com dados**. 1.Ed. Maringa-PR: Editora UEM, 2009. 173f.

BARBEIRO, L. S. S; VIEIRA, G; SANQUETTA, C. R. equações para estimativa da biomassa individual de *Nectandra grandiflora* ness (Canela-Amarela).**Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 833-843, 2009.

BARICHELO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. Na região sul do Brasil. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

BATISTA, J. L. F; COUTO, H. T. Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no estado de São Paulo. **IPEF**. n. 32, p.33-42, 1986

BRANDEIS, T. J; DELANEY, M. PARRESOL, B. R; ROYER, L. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. **Forest Ecology and Management**. n. 233, p: 133–142, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2009**: ano base 2008. EPE: Rio de Janeiro, 2009.

BREDEMEIER, C; MUNSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

CAIRNS, M. A; OLMSTED, I; GRANADOS, J; ARGAEZ, J; Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. **Forest Ecology and Management**. n. 186, p:125–132. 2003.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed, Viçosa-MG: editora UFV, 2009.

CAMPELLO, F. B.; GARIGLIO, M. A.; SILVA, J. A.; LEAL, A. M. A. **Diagnóstico Florestal da Região Nordeste**. Projeto Desenvolvimento Florestal para o Nordeste do Brasil (Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033). Brasília: IBAMA, 1999. (Boletim Técnico, n. 2).

CANAVESI, V. **Quantificação de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e Dados obtidos a partir de imagens do satélite ikonosII**. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CNIP, 2012. Disponível em www.cnip.org.br acessado em 08 de outubro de 2012 as 16:06 h

DINIZ, C. A. F. **Análise estrutural e corte seletivo baseado no método BDq em vegetação de caatinga.** 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.

ENERSILVA, **Promoção do uso da Biomassa Florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa,** 44f, 2004 | 2007.

FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas.** 186f. Curso de pós-graduação “lato sensu” (especialização) à distância solos e meio ambiente. Universidade Federal de Lavras – UFLA, fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão FAEPE lavras – MG. 2005.

FERRAZ, J. S. F **Análise da vegetação de caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsidio ao manejo florestal.** 134f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2011.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 269 f, 1992.

GOMES, A. G; VARRIALE, M. C. **Modelagem de ecossistemas: uma introdução.** 2.Ed. Santa Maria-RS: Editora UFSM, 2004.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HIGUCHI, N; SANTOS, J; RIBEIRO, R. J; MINETTE, L; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica,** Manaus, v. 28, n. 2, p.153-166, 1998.

INUI, R. M. **Isolamento e identificação de bactérias solubilizadoras de fósforo e produtoras de auxinas em solo com cana-de-açúcarisolamento e identificação de bactérias solubilizadoras de fósforo e produtoras de auxinas em solo com**

cana-de-açúcar. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.

LEITE, J. A. N. **Análise quali-quantitativa da vegetação arbustivo-arbórea da caatinga em Teixeira-PB.** 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2012.

MACHADO, M. F; GOMES, L. J; MELLO, A. A. Caracterização do consumo de lenha pela atividade cerâmica no estado de Sergipe. **Revista Floresta**, v. 40, n. 3, p.507-514. 2010.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: Ferri, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal.** São Paulo: EPU, 1979. v.1, p.97-113.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. Piracicaba:POTAFÓS, 1997.319p.

MANFREDINI, D. **Cálcio e boro para soja-perene: características anatômicas e agronômicas e concentração de nutrientes.** 104f. Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP, 2008.

MORALES, F. E. R. **Estimação dos parâmetros de um círculo para modelos Heteroscedásticos de regressão.** 102f. Dissertação (Mestrado em Estatística) Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2006.

MARANGON, G. P. **Estrutura e padrão espacial em vegetação de Caatinga.** 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2011.

MEYER, H.A. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Journal Forestry**, v.36, p:340-342. 1943.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema sispinus**. 130f Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MURPHY, P. G; LUGO, A. E. ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v.17, p:67-88, 1986.

NOGUEIRA, L. A. H. Desertificação e a questão energética no semiárido brasileiro: desafios e oportunidades para as energias renováveis. Ln., p: Fundação Konrad Adenauer, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Org.). **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil**. Ceara: Fortaleza, 2006. p.21-50

PENNINGTON, R. T; PRADO, D. E; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, n.27, p:261–273, 2000.

PEREIRA, I.M. **Avaliação qualitativa e quantitativa da forragem produzida pela jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth), pelo estrato herbáceo em área de reflorestamento**. 1998. 37f. (Monografia) – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Patos.

PHILLIPS, D. R; MESSINA, M. G; CLARK III, A; FREDERICK, D. J. Nutrient Content Prediction Equations for Wetland Trees in the US Southern Coastal Plain. **Biomass**. v.19, p:169-187, 1989.

PIMENTEL, D. J. O. **Dinâmica da vegetação lenhosa em área de caatinga, Floresta-PE**. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

PRADO, A. J; PETERS, R; AGUIRRE, S. Biomass Equations for Quillay (*Quillaja saponária* Mol) in the Semiarid Region of Central Chile. **Forest Ecology and Management**, v,16,p: 41-47 1986.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta ombrófila mista**.111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

RESENDE, A. V; VALE, A. T; SANQUETTA, C. R; FIGUEIREDO FILHO, A; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 65-76, 2006.

RIBEIRO, A; MACHADO, S. A; PELLICO NETO, S; FIGUEREDO FILHO, A. Quantificação e modelagem de macronutrientes em povoamentos de bracatinga. **Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo**. v.32, n.69, p:29-43, 2012.

RIEGELHAUPT, E. M; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A; SAMPAIO, E. V. S. A; CESTARO, L. A; KAGEYAMA, P. Y. (Org.). **Uso Sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**, Brasília. p.65-75, 2010.

RUBILAR, R. A; ALLEN, H. L; KELTING, D. L. Comparison of biomass and nutrient content equations for successive rotations of loblolly pine plantations on na Upper Coastal Plain Site. **Biomass and Bioenergy**, v.28, p:548–564, 2005

SAIDELLES, F. L. F; CALDEIRA, M. V. W; SCHUMACHER, M. V; BALBINOT, R; SCHIRMER, W. N. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* de wild. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.

SAMPAIO, E. GASSON, P; BARACAT, A; CUTLER, D; PAREYN, F; LIMA, K. C. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**. n.259, p: 1135–1140, 2010.

SANQUETTA, C. R; WATZLAWICK, L. F; CÔRTE, A. P. D; FERNANDES, L. A. V; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2.Ed. Curitiba-PR: Multigraphic gráfica editora, 2009. 270 p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2004, p. 119-140

SANTANA, R. C; BARROS, N. F; NOVAIS, R. F; LEITE, H. G; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p:2723-2733, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não-linear parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca**. 1ed. Lavras-MG. Editora UFLA, 2005. 354p.

SCOLFORO, J. R. S; RUFINI, A. L; MELLO, J. M; OLIVEIRA, A. D; SILVA, C. P. C; TRUGILHO, P. F. Equações de volume, peso de matéria seca e produção de tanino do Angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Benth.) Brenan). Em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S; OLIVEIRA, A. D; ACERBI JÚNIOR, F. W. (Org.). **Inventário Floresta de Minas Gerais**. Belo horizonte, MG p: 117-148. 2008.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007

SCHACHT, W. H.; MESQUITA, R. C. M.; MALECHEK, J. C.; KIRMSE, R. D. Response of caatinga vegetation to decreasing levels of canopy cover. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 11, p. 1421-1426, 1989.

SHACKLETON, C.M; SCHOLES, R.J. Above ground woody community attributes, biomass and carbon stocks along a rainfall gradient in the savannas of the central lowveld, South Africa. **South African Journal of Botany** n.77, p: 184–192, (2010)

SCHALAEGL, B. E. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: southern forest biomass workshop. **Proceedings...** 1981. p. 95-112.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009. 293 p.

SCHUMACHER, M. V; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SILVA, A. C; SANTOS, A. R; PAIVA, A. V. Translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* (clone) e em acículas de *Pinus ocarpa*. **Revista Alfenas**, Alfenas, n.4, p:11-18, 1998

SILVA F. C. **Manual de análises químicas de solos e fertilizantes**. 2.ed. Editora: Embrapa: 2009. p. 198.

SILVA, E. A. **Mapeamento do uso e cobertura vegetal do município de Floresta-PE**. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2011.

SILVA, H. D; FERREIRA, C. A; CÔRREA, R. S; BELLOTE, A. F. J; TUSSOLINI, E. L. Alocação da biomassa e ajuste de equações para a estimativa da biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de pesquisas florestais Colombo**. n.49, p.83-95. 2004

SILVA, J. A. **Estimativa de crescimento em altura de *Leucena*[*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] por meio do Modelo ARIMA**. 2008. 64f. Dissertação

(mestrado em biometria e estatística) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

SILVEIRA, P. Ajuste de modelos matemáticos para estimar Biomassa aérea em floresta ombrófila densa. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 743-752, 2009.

SOARES, T. S; CARNEIRO, A. C. O; GONÇALVES, E. O; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**. Garça-SP, v.4, n.8, 2006.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Editora UFV, 2ªed. Viçosa: UFV. 2011. 278 p.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Aracucária (PR). **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v.38, n.2, p.245-252, 2008.

SODRÉ, U. Modelos matemáticos. Matemática, Universidade estadual de Londrina, 2007. 27p.

SOUZA, P. F. **Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB**. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2012.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-114, 2001.

TÉO, S. J. **Quantificação e modelagem do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* bentham)**. 157f. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

TURKMAN, M. M. A; SILVA, G. L. **Modelos lineares generalizados: da teoria a pratica**. Lisboa, 2000. 153 p.

URBANO, E; MACHADO, S. A; FIGUEIREDO FILHO, A; KOEHLER, H. S. Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, p:361-372. 2008.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 103f. Dissertação (Mestrado em recursos florestais) Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP, 2009.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* l. de 17 anos de idade no município de Cambará do sul – RS**. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2008.

ZANETTI, R. **Análise fitossociológica e alternativas de manejo sustentável da mata da agronomia, Viçosa, Minas Gerais**. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.

ZÁKIA, M. J. B.; PAREYN, F. G.; RIEGELHAUPT, E. Equações de peso e de volume para oito espécies lenhosa nativas do Seridó, RN. In: IBAMA. **Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte**. Natal: PNUD / FAO / IBAMA – Governo do Rio Grande do Norte, 1992. p. 1-92. cap. 4