

## Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia

Andrea Vita Reis Mendonça<sup>1</sup>, Josival Santos Souza<sup>1</sup>, Ana Maria Giuliatti<sup>2</sup>, Cássio Van Den Berg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Biológicas, Av. Transnordestina, s/n, CEP 44036-900, Feira de Santana, BA, Brasil

\*Autor correspondente:  
jsouza@ufpb.edu.br

**Termos para indexação:**  
Relações alométricas  
Equações  
Massa seca

**Index terms:**  
Allometric relations  
Equations  
Dry mass

**Histórico do artigo:**  
Recebido em 15/08/2013  
Aprovado em 27/11/2013  
Publicado em 31/12/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.76.579

**Resumo** - Foram obtidas neste estudo relações alométricas para estimação de biomassa de plantas individuais para dez espécies em uma área de caatinga arbustivo-arbórea localizada no norte da Bahia, no baixo médio São Francisco, nos Municípios de Casa Nova e Remanso. Para cada espécie foram amostrados 15 indivíduos, com exceção para *Chamaecrista belemii* que foram 30 indivíduos. Os modelos testados foram os propostos pela literatura e construídos pelos métodos de backward e forward, ajustados com base no diâmetro ao nível do solo (DAS) e a altura total (H) de cada planta. Obtiveram-se equações para estimação de biomassa aérea por árvore individual para as espécies: *Byrsonima gardneriana*, *Cenostigma macrophyllum*, *Chamaecrista belemii*, *Copaifera coriacea*, *Maytenus rigida*, *Ruprechtia glauca*, *Strychnos rubiginosa* e *Xylenia americana*. Construíram-se também equações gerais, considerando todas as espécies, para estimação de biomassa aérea por árvore individual e por classes de diâmetro. Para as plantas com diâmetro inferior a 3 cm a equação indicada foi:  $MS = 0,0194062 + (0,03254971 * D2H)$ . Para a classe diamétrica de 3 a 6 cm a equação indicada foi:  $MS = -1,02113 + (0,173795 * D2)$ . Para a classe diamétrica de 6 a 9 cm a equação de melhor ajuste foi ( $MS = 0,665406 + (0,0316595 * D2H)$ ). Para a classe de diâmetro > 9 cm foi:  $MS = 17,5704 + (-0,0339598 * D2H) + (0,130987 * DH2) + (0,0187364 * D2H2)$ . Os resultados encontrados reforçam a necessidade de aprimorar os métodos indiretos para estimativa da biomassa e o desenvolvimento de equações para diferentes classes de diâmetro.

### Estimation of biomass air caatinga north of Bahia

**Abstract** - Allometric equations were developed for estimating individual plant biomass for ten species in an area of caatinga in northern Bahia in the medium-lower São Francisco Basin, municipalities of Casa Nova and Remanso. In each species we sampled 15 individuals, except by *Chamaecrista belemii*, for which 30 individuals were sampled. The assessed models were those proposed in the literature and constructed by the forward and backward methods, adjusted on the soil level diameter (SLD) and total height (H) for each plant. We obtained equations for estimating the aerial biomass for individual trees of *Byrsonima gardneriana*, *Cenostigma macrophyllum*, *Chamaecrista belemii*, *Copaifera coriacea*, *Maytenus rigida*, *Ruprechtia glauca*, *Strychnos rubiginosa* and *Xylenia americana*. We also built general equations, considering all species, for estimating the total aerial biomass by individual tree and diameter classes. For plants with diameter smaller than 3 cm the estimated equation is  $MS = 0,0194062 + (0,03254971 * D2H)$ . For trees in the 3 to 6 cm diameter class:  $MS = -1,02113 + (0,173795 * D2)$ , in the 6 to 9 cm diameter class: ( $MS = 0,665406 + (0,0316595 * D2H)$ ) and in the > 9 cm diameter class:  $MS = 17,5704 + (-0,0339598 * D2H) + (0,130987 * DH2) + (0,0187364 * D2H2)$ . The results obtained reinforce the need for improving indirect methods of biomass estimation and the development of equations for separate diameter classes.

## Introdução

A vegetação dos trópicos influencia o ciclo global do carbono. Ela pode favorecer o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico, bem como atuar como sistema sorvedor de carbono (Resende & Felfili, 2004).

Entre os procedimentos necessários para compreender a dinâmica do carbono nos diferentes tipos de vegetação está a quantificação da biomassa das plantas. Para a realização de tal procedimento existem duas alternativas. A primeira é definir uma área amostral e abater todas as plantas presentes nesta área, quantificando, assim, o estoque total de biomassa. Trata-se de um método muito oneroso. A segunda opção é obter relações alométricas, nas quais ao se mensurar características de fácil medição, como altura e diâmetro das plantas, pode-se estimar a biomassa. Além de menos onerosas esta alternativa permite que se estime, de maneira eficiente, o incremento periódico anual de carbono, bastando para isto mensurar as plantas em intervalos de tempo predeterminados e aplicar as equações alométricas ajustadas. Entretanto, ressalta-se que para construção de equações alométricas, também é necessário realizar o abate de árvores, mas em menor número.

Obtida a biomassa, a determinação de carbono pode ser realizada por análise química nos tecidos vegetais, considerando as diferentes espécies e partes da planta, ou utilizando um fator que multiplicado pela biomassa fornece o conteúdo de carbono. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Eggleston et al., 2006) traz dados de referências sobre fração do carbono em biomassa florestal acima do solo, sendo que para região tropical e subtropical, considerando a planta inteira, o fator médio de conversão informado foi de 0,47 variando entre (0,44 a 0,49).

Além dos estudos sobre fixação e dinâmica do carbono, a estimativa da biomassa vegetal é necessária para obtenção de informações sobre estoque de macro e micronutrientes retidos na vegetação, sendo de grande importância no manejo florestal para o uso sustentável dos recursos (Santos et al., 2004). Detalhamento nos trabalhos sobre sucessão, ciclagem de nutrientes, produção e competição em comunidades vegetais, usualmente, requerem estimativa da biomassa vegetal (Salis et al., 2006).

As estimativas de biomassa são necessárias para um melhor entendimento dos impactos do desmatamento no aquecimento global (Lu et al., 2002). Para estimativa da

biomassa de determinada comunidade vegetal, utilizando relações alométricas, é indicado obter equações específicas para cada tipo de vegetação e qualidade de sítio (Higuchi et al., 2004). Entretanto, existem poucos trabalhos sobre equações para estimativa de biomassa, desenvolvidos para vegetação de caatinga. Entre os estudos existentes, pode-se citar: Sampaio et al. (2010), Silva e Sampaio (2008) e Sampaio e Silva (2005).

O objetivo deste trabalho foi construir relações alométricas para estimativa de biomassa de plantas individuais para uma área de caatinga arbustivo-arbórea localizada no norte da Bahia, no baixo médio São Francisco.

## Material e métodos

### Caracterização da área em estudo

As equações foram desenvolvidas para a caatinga arbustivo-arbórea localizada na região norte do Estado da Bahia, no baixo-médio São Francisco. A amostragem foi realizada em duas localidades, no Município de Remanso, Fazenda Santarém 09°31'42"S e 41°21'10,7"W, e Município de Casa Nova 09°07'4,7"S e 41°21'10,7"- 41°07'12"W, em altitudes de 459 m a 465 m. Os solos destas áreas são predominantemente arenosos. As dunas interiores na região do baixo-médio São Francisco são constituídas de depósitos eólicos de areias que formam elevações de até 30 m de altura. O solo é constituído de areia quase pura contendo uma fina camada de folhiço apenas abaixo da copa de arbustos ou dentro da circunferência formada pelas ervas e subarbustos prostrados.

A precipitação média mensal é de 52,64 mm, considerando o período de 1994 a 2003.

### Espécies estudadas

Para seleção das espécies foi realizada análise preliminar da estrutura horizontal, em seis parcelas circulares de 20 m de raio. Com base neste levantamento foram selecionadas cinco espécies de maior dominância relativa e mais cinco espécies de fácil identificação no campo, considerando aquelas que mantinham a parte vegetativa por mais tempo no período do desenvolvimento do trabalho. Equações para estimativa de biomassa foram desenvolvidas para as dez espécies selecionadas, cujas principais características estão apresentadas a seguir, sendo que os dados de distribuição geográfica e tipos de vegetação foram baseados em

Queiroz (2009) para a família Fabaceae e as demais famílias em Forzza et al. (2010).

*Byrsonima gardneriana* A. Juss.: espécie da família Malpigiaceae, popularmente conhecida como murici. Encontra-se distribuída nos Estados do Amapá, Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, em áreas de caatinga e cerrado (Mamede et al., 2010).

*Cenostigma macrophyllum* Tul.: espécie da família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, conhecida popularmente por canela-de-velho. Encontrada nos Estados da Bahia, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Piauí e Tocantins, em áreas de caatinga e cerrado. Essa espécie foi referida como *C. gardnerianum* Tul., por Queiroz (2009).

*Chamaecrista belemii* (H.S.Irwin & Barneby) H.S.Irwin & Barneby: espécie da família Fabaceae, subfamília Mimosoideae, e conhecida regionalmente por flor-de-são-joão. Endêmica da caatinga do leste do São Francisco, nos Estados da Bahia, Pernambuco e Sergipe (Queiroz, 2009).

*Copaifera coriacea* Mart.: espécie da família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, popularmente conhecida como cacuricabra, copaiva-branca e sapucaia. Possui grande potencial na produção de cera e óleos essenciais. Encontrada nos Estados da Bahia, ao norte da Chapada Diamantina e no sul do Piauí, em áreas de caatinga (Queiroz, 2009).

*Maytenus rigida* Mart.: espécie da família Celastraceae regionalmente conhecida por bom-homem, bom-nome, bonome, cabelo-de-negro, casca-grossa e pau-de-colher. Bastante utilizada como planta apícola, sendo importante na produção de lenha e madeira para construção (esquadrias e estacas) e usos finos (entalhados) e na medicina popular. Ocorre em áreas de caatinga e cerrado do Nordeste (Lombardi & Groppo, 2010).

*Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & Jobson: espécie da família Fabaceae, subfamília Mimosoideae, popularmente conhecida como, angico-de-bezerro, rama-de-bezerro, catanduva, quipé, angico-branco, estralador, folha-miúda e quipembe. Ocorre normalmente em solos de baixa fertilidade e arenosos (Queiroz, 2009).

*Ruprechtia glauca* Meissn.: espécie da família Polygonaceae, endêmica de áreas da caatinga do Estado da Bahia, entre Xique-Xique, Casa Nova e Barra (Melo & França, 2006).

*Strychnos rubiginosa* A.DC.: espécie da família Loganiaceae. Encontrada em áreas de caatinga, cerrado e Mata Atlântica dos Estados do Nordeste (Bahia, Ceará,

Pernambuco e Piauí), Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Zappi et al., 2010).

*Waltheria brachypetala* Turcz: espécie da família Malvaceae. Regionalmente conhecida como capa-carneiro, mudubim-de-sarna e malva-branca. Distribuída nos Estados da Bahia, Maranhão, Pernambuco e Piauí. Em áreas de caatinga, campo rupestre, cerrado, carrasco e Mata Atlântica.

*Ximenia americana* L.: espécie da família Olacaceae. Popularmente conhecida por ameixa, ameixa-do-brasil e ameixeira. Apresenta ampla distribuição geográfica, de norte a sul do país, em vegetação de caatinga, cerrado, Mata Atlântica e ecossistemas amazônicos (Rossi, 2010). É cultivada como planta apícola e produz cera, lenha, madeira para construção rural e óleos essenciais.

### Ajuste das equações de regressão

Realizou-se para cada espécie uma distribuição por classe de diâmetro, padronizando cinco classes diamétricas. Foram aleatoriamente amostrados 15 indivíduos por espécie, sendo três para cada classe de diâmetro, com exceção da espécie *Chamaecrista belemii*, em que foram amostrados 30 indivíduos. Antes de serem abatidos, mensurou-se o diâmetro ao nível do solo (DAS) e a altura total (H) de todos os indivíduos amostrados. Para plantas de hábito cespitoso calculou-se a média geométrica dos diâmetros dos diferentes perfis.

As plantas foram abatidas e a massa fresca de folhas, galhos e tronco foi obtida por meio de dinamômetros tubulares com capacidade variando de 0,50 kg a 20 kg. Para a determinação da massa seca, uma amostra de pelo menos 300 g de cada material foi acondicionada em sacos de papel e submetida à secagem em estufa de circulação a  $\pm 80^\circ\text{C}$  por 72 h.

Com os resultados de massa seca de folhas, galhos e tronco obteve-se a biomassa total por planta. Foram ajustados modelos que estimam a biomassa total por planta com base no diâmetro e/ou na altura. Foram testados modelos propostos na literatura e modelos construídos pelos métodos de Backward e Forward (Draper & Smith, 1981). Os modelos sugeridos na literatura foram:

$$MS = e^{(b_0 + b_1 \cdot DAS)} + e_i \text{ (Bartelt et al., 2000)}$$

$$MS = b_0 \cdot DAS^{b_1} + e_i \text{ (Nelson et al., 1999)}$$

$$MS = b_0 + b_1 \cdot DAS^2 + e_i \text{ (Lima et al., 1996)}$$

$$MS = b_1 \cdot DAS^2 + e_i \text{ (Lima et al., 1996)}$$

Onde:  $b_1$  = parâmetros estimados; DAS = diâmetro ao nível do solo;  $e_i$  = resíduos.

Para os modelos construídos pelos métodos de Backward e Forward (Draper & Smith, 1981), utilizaram-se as seguintes variáveis independentes: DAS, DAS<sup>2</sup>, H, H<sup>2</sup>, DAS\*H, DAS<sup>2</sup>\*H, DAS\*H<sup>2</sup> e DAS<sup>2</sup>\*H<sup>2</sup>.

A seleção da melhor equação ajustada foi por meio da distribuição gráfica de resíduos, desvio padrão, teste t para parâmetros estimados e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). Para equações não lineares observou-se distribuição de resíduos e intervalo de confiança para os parâmetros estimados.

Para obtenção de uma equação geral, para estimação de biomassa seca aérea para todas as espécies, foram utilizados os dados referentes as dez espécies selecionadas e mais 30 indivíduos pertencentes a outras espécies vegetais da área em estudo. A metodologia de análise foi a mesma empregada para a regressão por espécie.

#### Determinação do teor de carbono no tecido vegetal

Foram obtidas amostras dos diferentes tecidos vegetais das espécies selecionadas e enviadas para o laboratório da Fundação Hugo Simas. Após prévia preparação, as amostras foram submetidas à análise de teor total de carbono, utilizando o método de combustão com o analisador de carbono marca LECO, modelo C-144. A partir da amostra de aproximadamente 10 g procedente do processo de secagem, efetuou-se a retirada de uma amostra de aproximadamente dois gramas para análise do teor de carbono, sendo esta pesada em balança analítica. Neste método, a amostra do material sólido é levada à combustão total, sendo que um sensor infravermelho detecta a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado pela combustão, relacionando automaticamente com a quantidade de carbono elementar existente na amostra.

### Resultados e discussão

Os dados da análise da estrutura horizontal representativa das áreas de estudo podem ser observados na Tabela 1. As espécies de maior dominância relativa foram: *Byrsonima gardneriana*, *Cenostigma macrophyllum*, *Copaifera coriácea*, *Maytenus rigida* e *Pityrocarpa moniliformis* sendo estas, portanto, selecionadas para construção das equações de biomassa. As outras cinco espécies selecionadas foram *Chamaecrista belemii*, *Ruprechtia glauca*, *Strychnos rubiginosa*, *Waltheria brachypetala* e *Ximenia americana*. As dez espécies selecionadas contribuíram

com 76,2% da ocupação em área basal, representada pela dominância relativa.

Para as espécies *Pityrocarpa moniliformis* e *Waltheria brachypetala* não foram obtidas equações para estimação da biomassa aérea. Todos os modelos ajustados para estas espécies resultaram em distribuições gráficas de resíduos inadequadas e coeficiente de determinação inferior a 50%.

Para as demais espécies obtiveram-se equações de biomassa aérea total adequada. As equações selecionadas para a estimação de biomassa aérea total das espécies de *Byrsonima gardneriana*, *Cenostigma macrophylla*, *Chamaecrista belemii*, *Copaifera coriacea*, *Maytenus rigida*, *Ruprechtia glauca*, *Strychnos rubiginosa* e de *Xymenia americana*, se aplicam para a caatinga arbustiva-arbórea localizada no norte da Bahia, no baixo médio São Francisco, e para indivíduos com diâmetros dentro da amplitude diamétrica amostral (Tabela 2).

Para a seleção das equações foi atribuída maior importância à distribuição gráfica de resíduos (Figura 1), seguida pelo desvio padrão (%S). Para as equações lineares múltiplas só foram selecionadas aquelas cujos parâmetros estimados foram significativos pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Evidencia-se que a inclusão ou não da variável altura dependerá da espécie e do tipo de vegetação, bem como da disponibilidade de tempo e recursos financeiros para a mensuração da altura. No caso da caatinga, a mensuração da altura é uma atividade de fácil execução, justificando a avaliação da inclusão desta variável nos modelos testados para estimação de biomassa.

Modelos gerais para estimação de biomassa tendem a ter eficiência diferenciada para indivíduos de menor e maior diâmetro. Nelson et al. (1999) observaram que os modelos de estimação de biomassa testados para floresta secundária da Amazônia Central apresentavam eficiência condicionada a classes de diâmetro. No trabalho realizado por estes autores foi relatado que o modelo proposto por Uhl et al. (1988) foi adequado somente para a classe de diâmetro (DAP) de 7 cm a 20 cm, o modelo de Overman et al. (1994) subestimou a biomassa de árvores com diâmetro inferior a 5 cm. Por outro lado, os modelos baseados apenas no diâmetro, propostos por Higuchi et al. (1998) e Overman et al. (1994) superestimaram a biomassa, principalmente nas maiores classes de diâmetro. Isto evidencia a necessidade de ajustar modelos por classes diamétricas, conforme realizado no presente estudo.

**Tabela 1.** Estrutura horizontal da vegetação de caatinga representativa da região de Casa Nova e Remanso, BA.

Espécie	Da	Dr	Doa	Dor	Fa	Fr	IVC	IVI
<i>Aeschynomene martii</i>	7,96	0,09	0,01	0,02	16,67	0,85	0,11	0,96
<i>Anemopaegma</i> sp.	7,96	0,09	0,01	0,01	16,67	0,85	0,10	0,95
<i>Aspidosperma</i> sp. 1	15,92	0,18	0,60	1,17	16,67	0,85	1,35	2,20
<i>Bignoniaceae</i> sp. 1	7,96	0,09	0,01	0,02	16,67	0,85	0,11	0,96
<i>Trischidium molle</i>	541,13	6,17	0,69	1,35	100,00	5,08	7,51	12,60
<i>Bombacopsis retusa</i>	7,96	0,09	0,07	0,14	16,67	0,85	0,23	1,08
<i>Byrsonima gardneriana</i>	883,31	10,06	13,26	25,78	100,00	5,08	35,85	40,93
<i>Poincianella laxiflora</i>	7,96	0,09	0,02	0,03	16,67	0,85	0,13	0,97
<i>Calliandra macrocalyx</i>	111,41	1,27	0,63	1,23	83,33	4,24	2,50	6,73
<i>Cenostigma macrophyllum</i>	1090,21	12,42	7,53	14,63	83,33	4,24	27,05	31,29
<i>Chamaecrista belemii</i>	159,15	1,81	0,22	0,42	50,00	2,54	2,24	4,78
<i>Copaifera coriacea</i>	636,62	7,25	6,43	12,50	100,00	5,08	19,75	24,83
<i>Cratylia mollis</i>	31,83	0,36	0,05	0,10	33,33	1,69	0,46	2,16
<i>Croton alagoensis</i>	620,70	7,07	0,90	1,76	50,00	2,54	8,83	11,37
<i>Croton</i> sp. 6	859,44	9,79	1,14	2,21	50,00	2,54	12,00	14,54
<i>Croton</i> sp. 7	23,87	0,27	0,03	0,07	16,67	0,85	0,34	1,19
<i>Erythroxylum</i> sp.	23,87	0,27	0,05	0,11	16,67	0,85	0,38	1,23
<i>Eugenia</i> sp.	15,92	0,18	0,05	0,09	16,67	0,85	0,27	1,12
<i>Guapira</i> sp.	47,75	0,54	0,55	1,07	33,33	1,69	1,62	3,31
<i>Harporchilus neesianus</i>	811,69	9,25	1,84	3,58	83,33	4,24	12,82	17,06
<i>Hymenaea</i> sp.	31,83	0,36	0,21	0,41	66,67	3,39	0,77	4,16
<i>Hymenaea</i> sp. 2	39,79	0,45	0,10	0,19	16,67	0,85	0,65	1,50
<i>Jatropha mutabilis</i>	7,96	0,09	0,01	0,03	16,67	0,85	0,12	0,96
<i>Lippia</i> sp.	7,96	0,09	0,08	0,16	16,67	0,85	0,26	1,10
<i>Malpighiaceae</i> sp.1	7,96	0,09	0,01	0,01	16,67	0,85	0,10	0,95
<i>Maytenus rigida</i>	748,03	8,52	5,38	10,46	100,00	5,08	18,98	24,06
<i>Mimosa verrucosa</i>	87,54	1,00	0,21	0,40	66,67	3,39	1,40	4,79
<i>Mimosa xiquexiquensis</i>	63,66	0,73	0,07	0,13	33,33	1,69	0,85	2,55
Myrtaceae sp. 1	31,83	0,36	0,12	0,24	16,67	0,85	0,61	1,45
Myrtaceae sp. 2	7,96	0,09	0,01	0,01	16,67	0,85	0,10	0,95
Myrtaceae sp. 3	135,28	1,54	0,57	1,11	33,33	1,69	2,65	4,35
Myrtaceae sp. 5	15,92	0,18	0,08	0,16	16,67	0,85	0,34	1,19
<i>Pavonia glazioviana</i>	7,96	0,09	0,01	0,02	16,67	0,85	0,11	0,96
<i>Peltogyne pauciflora</i>	63,66	0,73	0,88	1,71	50,00	2,54	2,44	4,98
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	254,65	2,90	2,45	4,76	66,67	3,39	7,66	11,05

Da = densidade absoluta; Dr = densidade relativa; Doa = dominância absoluta; Dor = dominância relativa; Fa = frequência absoluta; Fr = frequência relativa; IVC = índice valor de cobertura; IVI = índice valor de importância.

**Tabela 1.** Continuação.

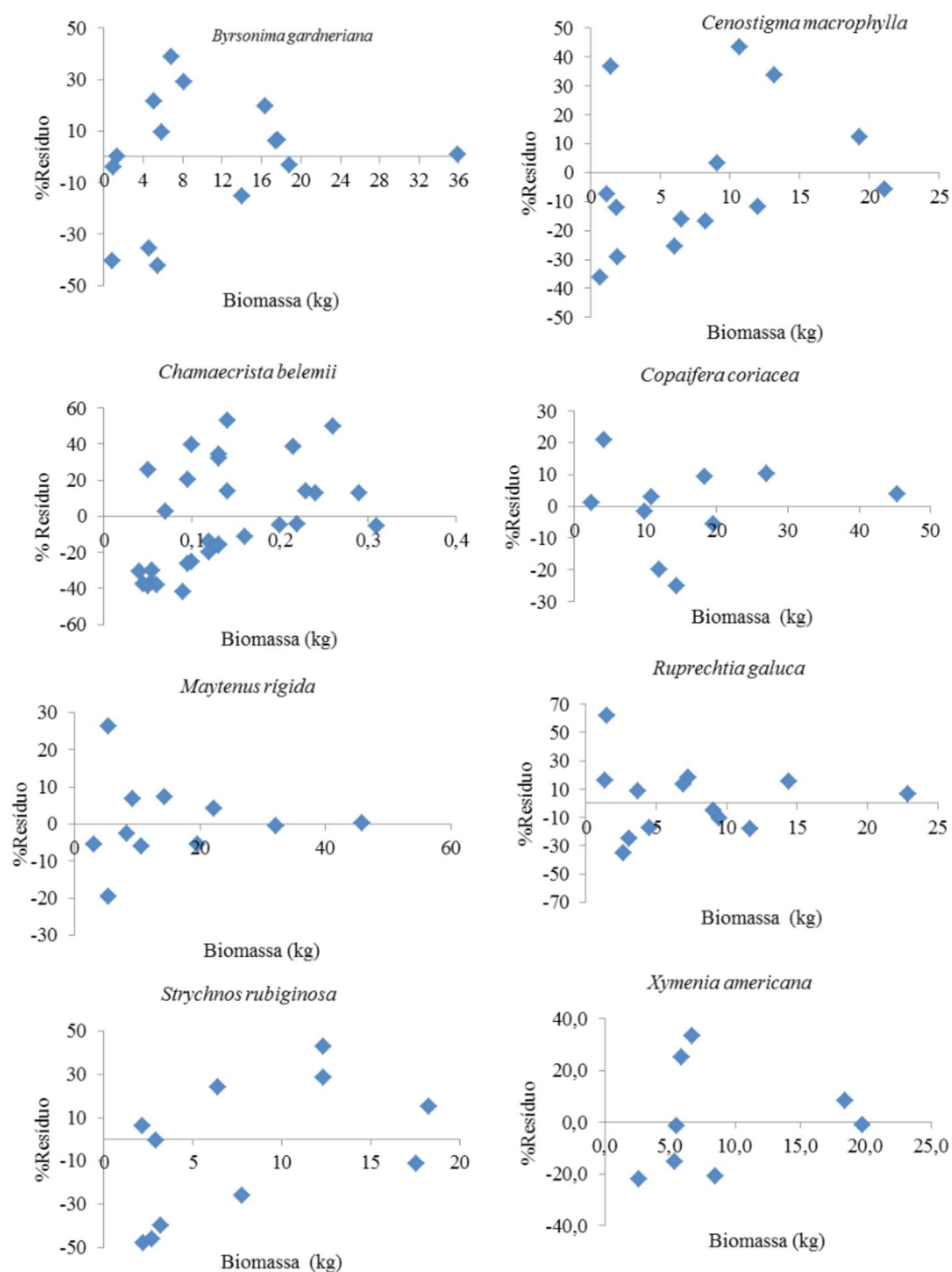
Espécie	Da	Dr	Doa	Dor	Fa	Fr	IVC	IVI
Rubiaceae sp.	15,92	0,18	0,03	0,06	16,67	0,85	0,24	1,08
Rubiaceae sp. 1	23,87	0,27	0,18	0,36	33,33	1,69	0,63	2,33
Rubiaceae sp. 3	87,54	1,00	0,03	0,06	50,00	2,54	1,06	3,60
<i>Ruprechtia glauca</i>	151,20	1,72	0,97	1,88	66,67	3,39	3,60	6,99
Sapotaceae sp.	31,83	0,36	0,98	1,91	50,00	2,54	2,28	4,82
Sapotaceae sp.1	15,92	0,18	1,93	3,75	16,67	0,85	3,93	4,78
<i>Senna macranthera</i>	7,96	0,09	0,01	0,02	16,67	0,85	0,11	0,95
<i>Strychnos rubiginosa</i>	334,23	3,81	1,47	2,86	66,67	3,39	6,66	10,05
<i>Tabebuia</i> sp.	7,96	0,09	0,06	0,12	16,67	0,85	0,21	1,05
<i>Waltheria brachypetala</i>	588,87	6,71	1,04	2,02	100,00	5,08	8,73	13,81
<i>Ximenia americana</i>	87,54	1,00	0,45	0,88	66,67	3,39	1,87	5,26

Da = densidade absoluta; Dr = densidade relativa; Doa = dominância absoluta; Dor = dominância relativa; Fa = frequência absoluta; Fr = frequência relativa; IVC = índice valor de cobertura; IVI = índice valor de importância.

**Tabela 2.** Equações selecionadas para estimação de massa seca total da parte aérea das espécies avaliadas para uma área de Caatinga, em Casa Nova e Remanso, BA.

Espécie	Equação	S (%)	R <sup>2</sup>	F	AD (cm)
<i>Byrsonima gardneriana</i>	$MS = -92,8787 + (58,8329 * H) + (-8,94707 * H^2) + (1,79877 * DH) + (0,522902 * DH^2)$	20,4	96,2	64,1	2,5 a 18
<i>Cenostigma macrophylla</i>	$MS = -0,823377 + (0,129639 * D^2)$	22,53	93,1	161,3	3,8 a 15
<i>Chamaecrista belemii</i>	$MS = 0,722088 + (-0,439452 * D) + (1,57947 * H) + (0,763683 * H^2) + (1,04003 * DH) + (0,4694498 * DH^2)$	25,86	79,1	18,94	1 a 4
<i>Copaifera coriacea</i>	$MS = -11,947 + (3,01001 * D)$	15,9	96,7	268,1	3,8 a 18
<i>Maytenus rigida</i>	$MS = -125,773 + (30,7247 * D) + (43,1044 * H) + (1,60801 * D^2) + (-10,2886 * DH) + (0,577549 * D^2H)$	7,50	99,6	248,4	5 a 15
<i>Ruprechtia glauca</i>	$MS = -2,77842 + (1,37031 * D)$	15,42	95,5	252,1	2,5 a 18
<i>Strychnos rubiginosa</i>	$MS = 0,286847 * (D1,59815)$	-	-	-	3,5 a 14
<i>Xymenia americana</i>	$MS = -2,81201 + (0,0817217 * DH^2)$	16,07	95,5	127,5	4 a 12

%S = desvio padrão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; F = quadrado médio da regressão/quadrado médio do resíduo; MS = massa seca (kg); D = diâmetro ao nível do solo (cm); H = altura (m); e<sub>i</sub> = resíduo; AD = amplitude de diâmetro.



**Figura 1.** Distribuição dos resíduos das equações para estimativa de biomassa aérea total das espécies estudadas de uma área de caatinga, em Casa Nova e Remanso, BA.

Foram ajustadas equações para estimação de biomassa total para as classes de diâmetro: < 3 cm, 3 – 6 cm, 6 – 9 cm e > 9 cm (Tabela 3). Nas equações 1, 6 e 17 foram utilizados dois métodos de obtenção da equação, obtendo-se resultados semelhantes.

Para as plantas com diâmetro inferior a 3 cm o melhor modelo foi a equação 1 ( $MS = 0,0194062 + (0,03254971 * D^2H)$ ), com melhor distribuição gráfica de resíduos e menor coeficiente de variação (Figura 2).

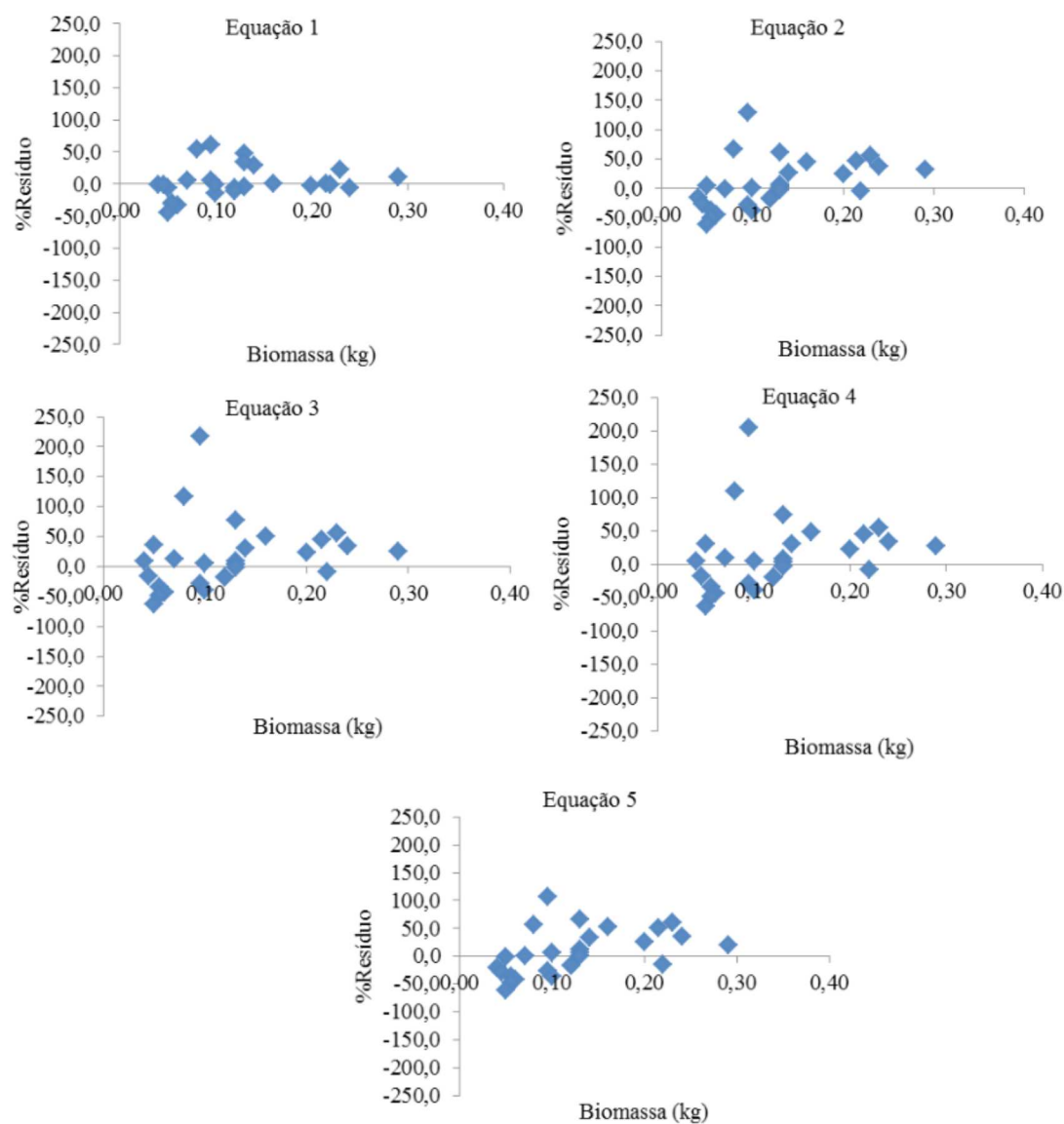
O modelo referente à equação construída para estimação de biomassa inferior a 3 cm ( $MS = \beta_0 + \beta_1 * (D^2H)$ ),

encontrado neste trabalho, foi o mesmo indicado por Cole & Ewel (2006) para quatro espécies tropicais e por Resende & Felfili (2004) para a vegetação do cerrado do Brasil central.

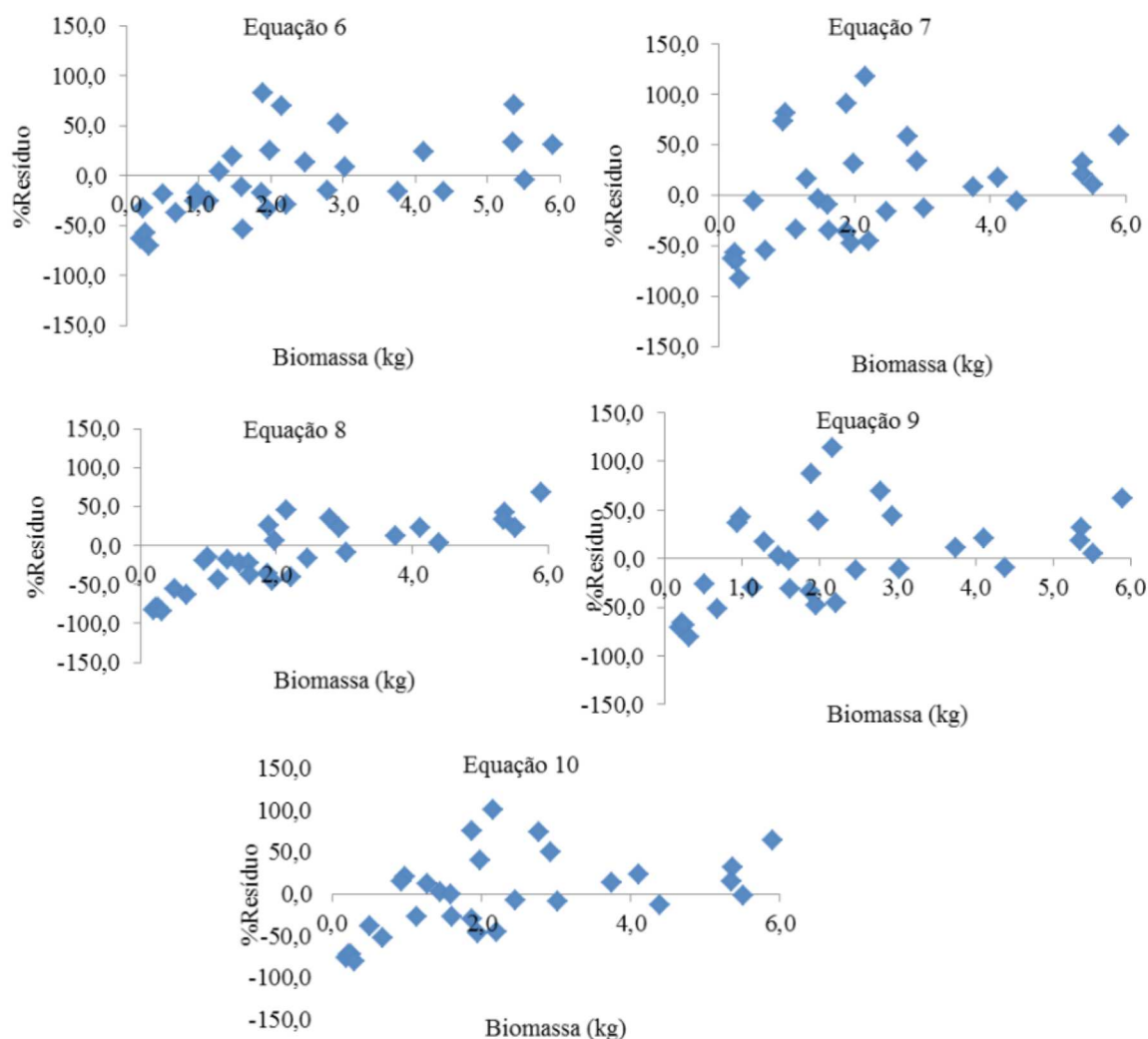
Para a classe diamétrica de 3 cm a 6 cm o modelo indicado para estimação de biomassa total aérea é a equação 7 ( $MS = -1,02113 + (0,173795 * D^2)$ ), referente ao modelo proposto por Lima et al. (1996). Apesar de não apresentar o menor coeficiente de variação e maior  $R^2$  (Tabela 2), mostrou melhor distribuição gráfica de resíduos padronizados (Figura 3).

**Tabela 3.** Equações gerais por classe de diâmetro para estimação de biomassa aérea total da caatinga da região de Casa Nova e Remanso, BA.

Classe diamétrica < 3 cm				
Modelos	Equação	%S	R <sup>2</sup>	F
(1) Backward e Forward	$MS = 0,0194062 + (0,03254971 * D^2H)$	20,1	86,5	159,8
(2) Lima et al. (1996)	$MS = 0,0148462 + (0,0331406 * D^2)$	36,3	55,3	30,96
(3) Lima et al. (1996)	$MS = 0,0370101 * D^2$	36,2	89,5	221,9
(4) Nelson et al. (1999)	$MS = 0,0381971 * (D^{1,95532})$	-	-	-
(5) Bartelt et al. (2000)	$MS = e^{(-4,01444 + (1,03663 * D))}$	-	-	-
Classe diamétrica 3 a 6 cm				
(6) Backward e Forward	$MS = 0,054827 + (0,0420234 * D^2H)$	37,5	75,3	85,2
(7) Lima et al. (1996)	$MS = -1,02113 + (0,173795 * D^2)$	41,2	70,0	65,4
(8) Lima et al. (1996)	$MS = 0,128377 * D^2$	44,2	87,7	205,9
(9) Nelson et al. (1999)	$MS = 0,0252101 * (D^{3,01191})$	-	-	-
(10) Bartelt et al. (2000)	$MS = e^{(-2,19137 + (0,665365 * D))}$	-	-	-
Classe diamétrica 6 a 9 cm				
(11) Backward	$MS = 0,665406 + (0,0316595 * D^2H)$	37,7	67,0	38,6
(12) Forward	$MS = -1,00506 + (0,297248 * DH)$	29,6	66,2	37,3
(13) Lima et al. (1996)	$MS = -1,38186 + (0,157319 * D^2)$	39,4	39,8	12,6
(14) Lima et al. (1996)	$MS = 0,132662 * D^2$	38,7	88,3	151,7
(15) Nelson et al. (1999)	$MS = 0,0710772 * (D^{2,30733})$	-	-	-
(16) Bartelt et al. (2000)	$MS = e^{(-0,286184 + (0,303097 * D))}$	-	-	-
Classe diamétrica > 9 cm				
(17) Forward e Backward	$MS = 17,5704 + (-0,0339598 * D^2H) + (0,130987 * DH^2) + (0,0187364 * D^2H^2)$	24,9	97,6	422,5
(18) Lima et al. (1996)	$MS = -23,4629 + (0,339534 * D^2)$	78,17	75,5	99,3
(19) Lima et al. (1996)	$MS = 0,214909 * D^2$	99,2	76,05	107,9
(20) Nelson et al. (1999)	$MS = 0,000947679 * (D^{3,94876})$	-	-	-
(21) Bartelt et al. (2000)	$MS = e^{(-0,217513 + (0,255282 * D))}$	-	-	-



**Figura 2.** Distribuição gráfica dos resíduos padronizados para equações de biomassa total aérea dos indivíduos com diâmetro ao nível do solo (DAS) inferior a 3 cm, para uma área de caatinga, em Casa Nova e Remanso, BA.



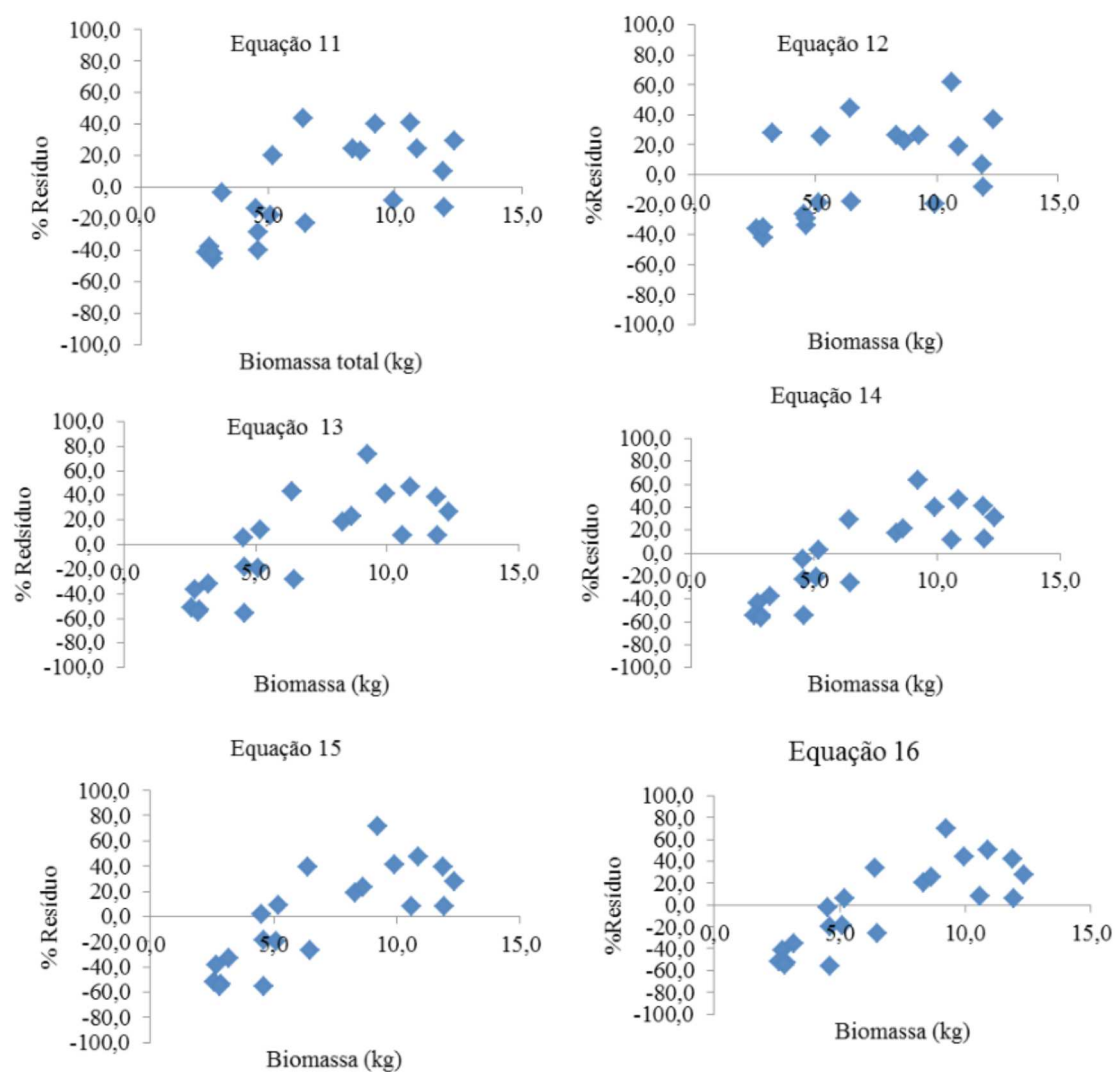
**Figura 3.** Distribuições gráficas dos resíduos padronizados para equações de biomassa total aérea dos indivíduos com diâmetro ao nível do solo (DAS) de 3 cm a 6 cm, para uma área de caatinga em Casa Nova e Remanso, BA.

Para a classe diamétrica de 6 cm a 9 cm o modelo de melhor ajuste foi a equação 11 ( $MS = 0,665406 + (0,0316595 \cdot D^2H)$ ), referente ao mesmo modelo indicado para classe de diâmetro menor do que 3 cm (Tabela 3). O melhor desempenho desta equação foi devido a melhor distribuição gráfica de resíduos (Figura 4).

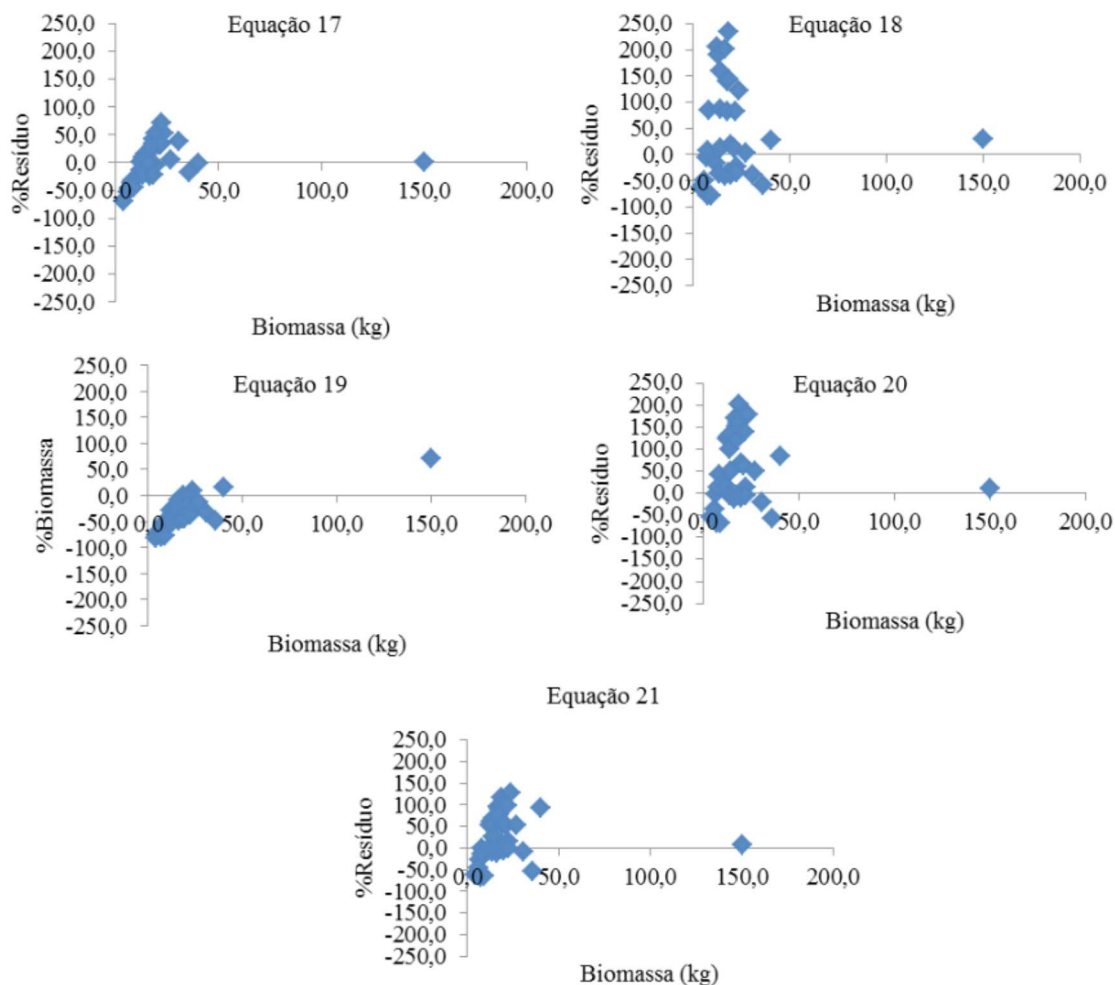
A equação escolhida para estimação da biomassa aérea total para a região de Casa Nova e Remanso para indivíduos com diâmetro ao nível do solo superior a 9 cm

foi o modelo 17:  $MS = 17,5704 + (-0,0339598 \cdot D^2H) + (0,130987 \cdot DH^2) + (0,0187364 \cdot D^2H^2)$  (Figura 5).

As equações de estimação de biomassa e os teores de carbono para as espécies (Tabela 4) poderão ser utilizados para futuros trabalhos de quantificação de carbono na região em estudo por método não destrutivo. Estas informações também poderão ser utilizadas em estudos de monitoramento e dinâmica do carbono na vegetação de caatinga da região, tornando estes estudos menos onerosos.



**Figura 4.** Distribuição gráfica dos resíduos padronizados para equações de biomassa total aérea dos indivíduos com diâmetro ao nível do solo (DAS) de 6 a 9 cm, para uma área de caatinga, em Casa Nova e Remanso, BA.



**Figura 5.** Distribuição gráfica dos resíduos padronizados para equações de biomassa total aérea dos indivíduos com diâmetro ao nível do solo (DAS) superior a 9 cm, para uma área de caatinga em Casa Nova e Remanso, BA.

**Tabela 4.** Teores de carbono em porcentagem para as espécies de caatinga da região de Casa Nova e Remanso, BA.

Espécie	Tronco (%)	Raiz (%)	Galho (%)	Galho sem no (%)	Folha (%)	Planta inteira (%)
<i>Maytenus rigida</i>	45,0	45,5	44,8	44,9	46,8	47,3
<i>Ximenia americana</i>	43,8	43,5	44,6	44,8	45,3	46,4
<i>Copaifera coriacea</i>	43,9	44,3	44,8	45,1	46,1	46,2
<i>Cenostigma macrophyllum</i>	44,1	44,5	44,6	44,8	45,1	45,4
<i>Ruprechtia glauca</i>	45,1	44,8	45,1	-	51,0	45,4
<i>Byrsonima gardnerana</i>	45,2	45,8	45,7	45,5	48,7	44,8
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	44,5	45,2	44,8	45,4	46,8	44,8
<i>Waltheria brachypetala</i>	45,1	47,1	45,6	47,8	50,9	44,6
<i>Strychnos rubiginosa</i>	44,0	44,7	44,0	-	42,1	44,4
<i>Chamaecrista belemii</i>	43,4	44,1	43,2	45,4	45,8	37,2

Os resultados deste trabalho reforçam a posição de que é necessário aperfeiçoar os métodos indiretos para estimativa de biomassa da vegetação. Segundo Higuchi et al. (2004) e Segura & Kaninen (2005), o ideal é desenvolver modelos de estimação específicos para cada tipo de vegetação e região. Ressaltando-se ainda que o desenvolvimento de equações para diferentes classes diamétricas pode resultar em estimativas mais acuradas.

### Conclusões

Foi possível indicar equações alométricas para estimação de biomassa, para área de caatinga, em Casa Nova e Remanso, BA.

Foram ajustadas equações satisfatórias para estimação de biomassa para as espécies: *Byrsonima gardneriana*, *Cenostigma macrophyllum*, *Chamaecrista belemii*, *Copaifera coriacea*, *Maytenus rigida*, *Ruprechtia glauca*, *Strychnos rubiginosa* e *Ximenia americana*. Construíram-se, também, equações alométricas satisfatórias para estimação de biomassa por classes de diâmetro.

### Agradecimentos

À Petrobras S.A, pelo financiamento do projeto "Sequestro de Carbono no Semi-Árido"; ao CNPq, pela concessão das bolsas de pesquisa dentro do projeto 507444/2004-3; e ao amigo, biólogo e Msc., Perimar Moura, que sempre esteve presente em todas as fases de desenvolvimento do projeto.

### Referências

- BARTELT, D.; KOCH, J.; TOURINHO, M. M. Anbau von Acai (*Euterpe oleracea*) und Kakao (*Theobroma sylvestri*) in Primärwäldern der varzeas am rio Tocantins (Brasilien/Para). **Forstarchiv**, Hannover, v. 71, n. 6, p. 250-256, 2000.
- COLE, T. G.; EWEL, J. J. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 229, n. 1-3, p. 351-360, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.04.017>.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1981. 709 p.
- FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JUNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2010. 2 v. 1.699 p.
- HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária a Amazônia Central. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, T. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.
- EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC. guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: volume 4: agriculture, forestry and other land use. Japan: IGES, Japan, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 1 mar. 2013.
- LIMA, P. S. F.; OLIVEIRA, E. D.; MACHADO, S. A. Equações para estimativa de biomassa de espécies de *Prosopis* no semiárido brasileiro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 67-79, 1996.
- LOMBARDI, J. A.; GROppo, M. Celastraceae. In: FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JUNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2010. v. 1. p. 842-847.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Above-ground biomass estimation of successional and mature forests using TM images in the Amazon Basin. In: SYMPOSIUM ON GEOSPATIAL THEORY, PROCESSING AND APPLICATIONS, Ottawa, 2002. **Symposium**, Ottawa, 2002. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/059.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2013.
- MAMEDE, J. A.; AMORIM, A. M. A.; SEBASTIANI, R. Malpighiaceae. In: FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JUNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2010. v. 2. p. 1183-1201.
- MELO, E.; FRANÇA, F. A família Polygonaceae no semi-árido brasileiro. In: GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. (Ed.). **Diversidade e caracterização das Fanerógamas do semi-árido brasileiro**. Recife: APNE/IMSEAR, 2006. p. 437-488.
- NELSON, B. W.; MESQUITA, R.; PEREIRA, J. L. G.; SOUZA, S. G. A.; BATISTA, G. T.; COUTO, L. C. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 117, n. 1-3, p. 149-167, 1999. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00475-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00475-7).

- OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIAGA, J. G. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 10, n. 2, p. 207-218, 1994. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467400007859>.
- QUEIROZ, L. P. de. **Leguminosae da Caatinga**. Feira de Santana: UEFS/APNE/Kew, 2009. 467 p.
- RESENDE, A. V.; FELFILI, J. M. Avaliação do estoque de carbono do cerrado *sensu stricto* no Brasil Central. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, DF, v. 6, n. 2, 2004. 27 p.
- ROSSI, L. Olacaceae. In: FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JUNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2010. v. 2. p. 1339-1341.
- SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; MATTOS, P. P.; PIÃO, A. C. S. Estimating the above-ground biomass and wood volume of savanna wood plants in Brazil Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 228, n. 1-3, p. 61-68, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.025>.
- SAMPAIO, E.; GASSONB, P.; BARACAT, A.; CUTLER, D.; PAREYNC, F.; LIMA, K. C. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1135-1140, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.028>
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. *Acta Botanica Brasílica*, Brasília, DF, v. 19, n. 4, p. 935-943, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028>.
- SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do Rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000100001>.
- SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. *Biotropica*, Washington, US, v. 37, n. 1, p. 2-8, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.02027.x>.
- SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p.567-575, 2008.
- UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRÃO, E. A. S. Abandoned pastures in eastern Amazônia. I. Patterns of succession. *Journal of Ecology*, Oxford, v. 76, n. 3, p. 663-681, 1988.
- ZAPPI, D. C.; MANOEL, E. A.; GUIMARÃES, E. F. Loganiaceae. In: FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JUNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, v. 2. p. 1168-1172.