

# ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE CAFEEIROS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS SOB MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL EM DIFERENTES ARRANJOS

ESTIMATION OF COFFEE BIOMASS IN AGROFORESTRY SYSTEMS UNDER  
ORGANIC AND CONVENTIONAL MANAGEMENT IN DIFFERENT ARRANGEMENTS

**Ivan Edson da Silva Meireles** 

Mestre em Ciências Florestais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Sylvana Naomi Matsumoto** 

Professora plena do Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Cristina de Andrade Santos Reis** 

Professora do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Luanna Fernandes Pereira** 

Graduanda em Engenharia Agrônoma, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Ueliton Soares de Oliveira** 

Graduando em Engenharia Agrônoma, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia** 

Professora adjunta do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Thiago Reis Prado** 

Doutorando em Agronomia, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

**Paula Acácia Silva Ramos** 

Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UESB – Vitória da Conquista (BA), Brasil.

## Endereço para correspondência:

Sylvana Naomi Matsumoto –  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Estrada do Bem Querido,  
km 4 – Bem Querido – CEP 45031-900 –  
Vitória da Conquista (BA), Brasil –  
E-mail: snaomi@uesb.edu.br

Recebido em: 09/08/2019

Aceito em: 22/11/2019

## RESUMO

Atualmente, os serviços ambientais relativos aos sistemas agroflorestais (SAFs) estão fundamentados em aspectos qualitativos. Entretanto, para que ocorra a consolidação dos pagamentos por tais serviços, os diversos fatores que condicionam os SAFs necessitam ser caracterizados. Este estudo teve como objetivo analisar se o estoque de biomassa individual de cafeeiros é afetado por SAFs caracterizados por manejo e arranjos distintos dos cafeeiros arábica e grevileas, além de verificar se haveria possibilidade de ajuste de equações alométricas para estimar a biomassa seca dos cafeeiros. O experimento foi conduzido em sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.) sob manejo orgânico e convencional arborizado por grevileas (*Grevillea robusta* A. Cunn.), localizados nas regiões do Planalto da Conquista e Chapada Diamantina, Bahia. Com base na determinação da biomassa pelo método destrutivo da simples separação, foram estabelecidas equações de estimativa do estoque de biomassa individual dos cafeeiros. O sistema de manejo orgânico e o convencional são fatores de menor impacto para o acúmulo de biomassa e carbono em relação a fatores como a densidade de cafeeiros e o arranjo das grevileas. O menor adensamento de cafeeiros é fator que determina a superioridade dos estoques de biomassa individual. A densidade de cafeeiros e o arranjo das grevileas são elementos que definem modelos alométricos diferenciados para a estimativa de biomassa dos cafeeiros.

**Palavras-chave:** serviço ambiental; estoque de carbono; equações alométricas.

## ABSTRACT

Nowadays, environmental services related to agroforestry systems (AFS) are based on qualitative aspects. However, to consolidate payments for such service, the various factors that condition AFS must be characterized. This study was carried out to evaluate if the individual biomass of coffee plants is affected by AFS characterized by distinctive management and arrangement of Arabic and grevillea coffee plants, in addition to checking the possibility of adjustment of allometric equations to estimate dry coffee biomass. The assay was carried out at coffee fields (*Coffea arabica* L.) associated with grevilleas (*Grevillea robusta* A. Cunn.) under conventional and organic management, situated at Planalto da Conquista and Chapada Diamantina, Bahia. From the determination of biomass by the destructive method of simple separation, estimation equations of individual biomass of coffee plants were established. The organic and conventional management system have minor impact to carbon and biomass accumulation when compared to factors such as coffee density and grevillea arrangement. The lower coffee plant density is a factor that determines the superiority of individual biomass stocks. Coffee plants density and grevillea arrangement are factors that determine different allometric models to coffee plants biomass estimation.

**Keywords:** environmental service; carbon stock; allometric equations.

## INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do café é um dos principais *commodities* de exportação do Brasil, tendo gerado a receita cambial de US\$ 5,15 bilhões no ano de 2018 (CECAFÉ, 2019). Ainda em 2018, o Brasil foi considerado o mais significativo país produtor de café, com safra de 3,7 milhões de toneladas, 76% provenientes do cultivo de *Coffea arabica* (CONAB, 2018).

A associação de árvores aos cafezais é uma forma de adaptação às mudanças climáticas, sendo frequentemente citada como um sistema de cultivo sustentável em razão da geração de diversos serviços ecossistêmicos e também por viabilizar serviços ambientais (EHRENBERGEROVÁ *et al.*, 2016). Cafezais arborizados podem desempenhar um papel importante no armazenamento de carbono na biomassa acima do solo (FELICIANO *et al.*, 2018), no solo e na biomassa subterrânea (BELIZÁRIO *et al.*, 2018).

A possibilidade de inclusão de sistemas agroflorestais (SAFs) com cafeeiros em projetos de carbono tem sido fomentada para o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), mercados voluntários e como opção para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa do mecanismo de redução do desmatamento e da degradação florestal, conservação e aumento do estoque de carbono florestal e manejo sustentável de florestas (REED+) (TUMWEBAZE; BYAKAGABA, 2016).

Os serviços ambientais relacionados aos SAFs podem gerar liquidez aos produtores, contribuindo para a manutenção desses sistemas (PINOARGOTE *et al.*, 2017; CERDA *et al.*, 2017). No entanto, para que o impacto do serviço ambiental no que tange ao sequestro de carbono se reverta em adesão a esse sistema de cultivo, são necessários meios para a quantificação do estoque de carbono. A alometria é a técnica mais utilizada em estudos de quantificação de carbono em florestas, muitas vezes combinada com outros métodos associados. A estimativa por meio de modelos alométricos constitui uma base de cálculo real, obtida de parâmetros de fácil obtenção em campo, como o diâmetro e a altu-

ra total (SEGURA; ANDRADE, 2008). É notável o crescente interesse pelo ajuste de equações de biomassa para o café no mundo, principalmente na América Central (PINOARGOTE *et al.*, 2017), na América do Sul (COLTRI *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2018) e na África (GUILLEMOT *et al.*, 2018).

A plasticidade fenotípica das espécies pode afetar a aplicação de modelos de estimativa da quantificação de biomassa, estando intrinsecamente relacionada à espécie avaliada em relação aos fatores que caracterizam determinado local (HENNERON *et al.*, 2018). Dessa forma, condições edafoclimáticas, arranjo e composição dos sistemas, bem como as práticas de manejo, são fatores capazes de interferir na acurácia das estimativas por meio de modelos.

A elevação da densidade de plantio é considerada uma prática de manejo favorável ao desenvolvimento dos cafeeiros, pois condiciona a otimização da eficiência de utilização da luz solar e a exploração de maior volume de solo, resultando em maior capacidade de absorção de água e nutrientes (COLODETTI *et al.*, 2018). Porém, quando os cafeeiros são cultivados em associação às árvores, recomenda-se aumentar o espaçamento entre plantas, de modo a evitar sombreamento excessivo, fato que poderia comprometer o processo fotossintético e o alongamento excessivo do ramo ortotrópico.

A receita drástica é uma forma de manejo muito praticada em cafezais, fato que deve ser considerado na composição de modelos alométricos para estimativas de estoque de carbono. Nesse caso, a razão de raízes (R) é diferenciada, pois a rebrota da parte aérea ocorre por intermédio de um sistema radicular bastante desenvolvido anteriormente (DEFRENET *et al.*, 2016).

Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar se o estoque de biomassa individual de cafeeiros é afetado por SAFs caracterizados por regimes de manejo e arranjos distintos dos cafeeiros e das grevileas, além de verificar a possibilidade de ajuste de equações alométricas para estimar a biomassa seca dos cafeeiros.

## MATERIAIS E METÓDOS

O estudo foi realizado no Planalto da Conquista, principal região produtora de *Coffea arabica* do estado da Bahia. Foram definidos como área do estudo dois SAFs

de cafeeiros, submetidos a regimes de manejo orgânico e convencional, situados em cafezais nos municípios de Ibicoara e Barra do Choça, respectivamente.

O SAF orgânico está localizado na região da Chapada Diamantina, no município de Ibicoara (13°21'00" latitude sul e 41°19'12" longitude oeste), a 1.100 metros de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima dessa região é temperado, do tipo Cfb, com verão ameno (ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média anual é de 18,4°C, e a precipitação média, de 1.166,2 mm (SEI, 2014). O cafezal arábica cv. Catucaí vermelho foi implantado em 2005, em espaçamento 4,0 × 0,75 m (3.333 plantas ha<sup>-1</sup>), sendo associado às grevileas (*Grevillea robusta*), introduzidas após três anos da implantação do cafezal, mantendo espaçamentos irregulares que definiram a densidade de 104 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de fundação foi constituída de esterco e torta de mamona, sendo realizadas fertirrigações por gotejamento duas vezes após a colheita, além de três pulverizações anuais, no período de outubro a março, ambas utilizando biofertilizante à base de esterco de ovino fresco, sulfato de Zn e Mg e vísceras de peixe. Foram realizadas duas podas na grevilea desde o início da implantação das árvores.

Já o SAF convencional foi implantado em 1997 na região do Planalto da Conquista, no município de Barra do Choça (14°54'46" latitude sul e 40°36'39" longitude oeste), a 847 metros de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima dessa região é subtropical, do tipo Cfa (ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média anual é de 20,2°C, e a precipitação média, de 733,9 mm (SEI, 2013). O plantio dos cafeeiros arábica var. Catucaí foi realizado com espaçamento de 2 × 0,5 m (10.000 plantas ha<sup>-1</sup>), com poda rasa (recepta) e desbaste de plantas após 10 anos e 15 anos da implantação, respectivamente, sendo mantido o *stand* de 8.895 plantas ha<sup>-1</sup>. No plantio e em cobertura se fez a adubação química (fonte de nitrogênio, potássio e micronutrientes em cobertura e de superfosfato simples e calcário no plantio). As grevileas (*Grevillea robusta*) foram dispostas em renques, em espaçamento de 30 × 3 m (111 plantas ha<sup>-1</sup>). O manejo da espécie arbórea consistiu em podas anuais (1 poda ano<sup>-1</sup>) até o terceiro ano de plantio.

Para constituição da base de dados relativos à concepção dos modelos alométricos, foram selecionados 20 cafeeiros no SAF orgânico e 30 no SAF convencional, aleatoriamente, conforme Silva *et al.* (2013). As plantas amostradas foram coletadas na linha de plantio com distanciamento mínimo entre elas de 50 m.

Após a coleta das plantas, foram mensurados os parâmetros dendrométricos: altura total (Ht; comprimento da

base ao ápice do caule), diâmetro da base (D<sub>b</sub>; diâmetro medido na base no caule, logo acima do ponto de corte), diâmetro a 50% do comprimento do caule (D<sub>m</sub>; diâmetro medido na posição correspondente a 50% do comprimento total da planta), diâmetro do topo (D<sub>t</sub>; diâmetro medido a 10 cm do ápice da planta) e diâmetro médio (d; média entre os diâmetros anteriormente medidos).

A determinação da biomassa foi realizada utilizando-se o método destrutivo da simples separação, descrito por Sanquetta (2002), sendo os cafeeiros cortados ao nível do solo. Cada planta foi separada em caule, galhos grossos (diâmetro ≥ 0,5 cm), galhos finos (diâmetro < 0,5 cm), folhas, miscelânea (flores e frutos), raiz pivotante e raízes secundárias. A biomassa radicular foi determinada mediante escavações em torno do cafeeiro, considerando-se o limite de 0,25 m<sup>2</sup> (0,50 × 0,50 m) e 0,50 m de profundidade.

A biomassa fresca de cada compartimento foi estimada gravimetricamente em campo. Subamostras de cada componente da planta foram retiradas e secas em estufas a 65°C até atingir peso constante. A biomassa seca foi obtida conforme Sanquetta *et al.* (2014), por meio do fator de correção de umidade (Equação 1):

$$B(c) = \frac{Mf(c) \times Ms(a)}{Mf(a)} \quad (1)$$

Em que:

B(c) = biomassa seca do compartimento (kg);

Mf(c) = massa fresca do compartimento (kg);

Ms(a) = massa seca da amostra do compartimento (kg).

A biomassa total individual foi obtida pela soma de todos os componentes.

Os estoques de biomassa dos cafeeiros do SAF orgânico e do SAF convencional foram comparados pelo teste *t* de Student para amostras independentes. Para melhor compreender a relação entre o estoque de biomassa e as variáveis dendrométricas dos cafeeiros, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, considerando significância a 5% de probabilidade de erro.

Foram testados modelos alométricos disponíveis na literatura para predição do estoque de biomassa individual dos cafeeiros (Tabela 1). Os modelos foram ajustados para as quatro variações de diâmetro mensurados neste estudo ( $D_b$ ,  $D_m$ ,  $D_t$  e  $d$ ). O modelo sugerido por Van Noordwijk *et al.* (2002), utilizado para estimativa de biomassa de cafeeiros recepados, foi aplicado exclusivamente para o conjunto de dados do SAF convencional.

O critério de seleção dos melhores modelos foram o valor ponderado (VP) dos escores dos parâmetros estatísticos e a significância dos coeficientes da equação. O desempenho das equações foi analisado conforme os seguintes critérios:

- maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ );
- menor erro padrão da estimativa absoluto ( $S_{yx}$ );
- menor erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx\%}$ );
- maior valor F;
- menor valor do critério de informação de Akaike (AIC);
- menor valor do critério de informação bayesiano (BIC).

As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua maior valoração, sendo atribuído peso 1 para equação de melhor ajuste, 2 para a segunda e assim sucessivamente (*ranking*), como sugerido por Thiersch (1997).

Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo, sendo a equação de menor VP considerada com desempenho superior. Adicionalmente, para os dois melhores modelos de biomassa da parte aérea e total, foi realizada a análise gráfica da biomassa estimada e dos resíduos em relação à biomassa observada, visando verificar a existência de possíveis tendências.

Nos modelos em que a variável dependente sofreu transformação logarítmica, o erro padrão foi corrigido na escala original, para possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Dessa forma, multiplicou-se a biomassa seca pelo fator de correção de Meyer (Equação 2):

$$FM = 10^{1,1513(S_{yx})^2} \quad (2)$$

Em que:

FM = fator de correção de Meyer;

$S_{yx}$  = erro padrão da estimativa.

Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo *software* estatístico R versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018).

**Tabela 1 – Equações alométricas gerais utilizadas para estimar a biomassa da parte aérea e total em cafeeiros.**

| Modelo | Equação  | Fonte                              |
|--------|--|------------------------------------|
| M1     | $Y = \beta_0 + \beta_1 D$  | Segura, Kanninen e Suárez (2006)   |
| M2     | $Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$                                    | Andrade <i>et al.</i> (2018)       |
| M3     | $\text{Log}(Y) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D)$                          | Segura, Kanninen e Suárez (2006)   |
| M4     | $Y = \beta_0 + \beta_1 D^2$  | Andrade <i>et al.</i> (2018)       |
| M5     | $Y = \beta_0 + \beta_1 (D^2 Ht)$   | Andrade <i>et al.</i> (2018)       |
| M6     | $\text{Log}(Y) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D) + \beta_2 \text{Log}(Ht)$ | Segura, Kanninen e Suárez (2006)   |
| M7     | $Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 Ht + \beta_3 (D Ht)$                  | Andrade <i>et al.</i> (2018)       |
| M8     | $Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D^3$                      | Van Noordwijk <i>et al.</i> (2002) |
| M9     | $Y = \beta_0 * D^{\beta_1}$  | Van Noordwijk <i>et al.</i> (2002) |

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ : coeficientes da equação; D:  $D_b$ , diâmetro da base;  $D_m$ , diâmetro a 50% da altura;  $D_t$ , diâmetro do topo;  $d$ , diâmetro médio; Ht: altura total; Log: logaritmo de base 10; Y: biomassa seca.

## RESULTADOS

Independentemente do manejo, o maior estoque de biomassa foi encontrado na parte aérea, correspondendo a 81,2% do total para o SAF orgânico e a 75,9% do total para o convencional. De maneira geral, a contribuição das raízes variou entre 18,8 e 24,1%.

A biomassa seca total do cafeeiro foi superior para o SAF orgânico (6,16 kg planta<sup>-1</sup>) quando comparado ao SAF convencional (4,22 kg planta<sup>-1</sup>), sendo armazenada em maior proporção no caule (29,4%), seguido por galhos grossos (17,4%), galhos finos (17,4%), folhas (15,9%), raiz pivotante (11,0%), raízes secundárias (7,8%) e miscelânea (1,1%). Para os cafeeiros no SAF convencional, o caule foi o compartimento com maior proporção de biomassa (36,7%), seguido por raiz pivotante (17,5%), folhas (17,3%), galhos finos (11,9%), galhos grossos (7,6%), raízes secundárias (6,6%) e miscelânea (2,4%) (Tabela 2).

No SAF orgânico, a biomassa da parte aérea e a biomassa total foram fracamente correlacionadas com  $D_t$ ,  $D_t^2$ , Ht,  $Ht^2$ ,  $D_t Ht$ ,  $D_t^2 Ht$  e  $D_t^3$  ( $0,03 \leq r \leq 0,48$ ) e moderadamente correlacionadas com os demais parâmetros ( $0,71 \leq r \leq 0,85$ ). No SAF convencional, a correlação entre biomassa (parte aérea e total) com  $D_t$ ,  $D_t^2$ ,  $D_t Ht$ ,  $D_t^2 Ht$  e  $D_t^3$  ( $0,20 \leq r \leq 0,60$ ) foi considerada de menor intensidade, moderada com  $D_m$ , Ht,  $D_m^2$ ,  $Ht^2$ ,  $D_m Ht$ ,  $D_m^2 Ht$ ,  $D_m^3$  ( $0,74 \leq r \leq 0,88$ ) e forte com os demais parâmetros ( $0,90 \leq r \leq 0,93$ ) (Tabela 3).

Os modelos de melhores ajustes para estimar a biomassa da parte aérea e total dos cafeeiros do SAF orgânico, conforme classificação do VP, foram baseados em  $d$ ,  $D_m$  e Ht (Tabela 4). No SAF convencional, os melhores ajustes foram para o modelo não linear (M9) e para o modelo linear (M1), utilizando  $d$  e  $D_b$  como variáveis independentes, respectivamente (Tabela 5). De maneira geral, todos os modelos selecionados ( $p < 0,01$ ) e coeficientes ( $p < 0,05$ ) foram significativos.

**Tabela 2 – Parâmetros da biomassa seca (kg planta<sup>-1</sup>) dos compartimentos e dendrométricos dos cafeeiros arábica amostrados no sistema agroflorestal (SAF) orgânico (n = 20) e no sistema agroflorestal convencional (n = 30).**

| Parâmetros         | SAF orgânico |      |       |      |        | SAF convencional |       |       |      |        |
|--------------------|--------------|------|-------|------|--------|------------------|-------|-------|------|--------|
|                    | Mín.         | Máx. | Méd*  | dp   | CV (%) | Mín.             | Máx.  | Méd*  | dp   | CV (%) |
| $D_b$ (cm)         | 4,80         | 7,10 | 5,71  | 0,62 | 10,94  | 1,68             | 8,20  | 4,24  | 1,53 | 36,08  |
| $D_m$ (cm)         | 2,60         | 4,65 | 3,39  | 0,59 | 17,35  | 1,13             | 3,56  | 2,54  | 0,55 | 21,85  |
| $D_t$ (cm)         | 0,50         | 1,80 | 0,93  | 0,33 | 35,09  | 0,50             | 1,55  | 0,80  | 0,25 | 31,66  |
| $d$ (cm)           | 2,70         | 4,15 | 3,34  | 0,39 | 11,79  | 1,14             | 4,18  | 2,53  | 0,69 | 27,25  |
| Ht (m)             | 2,03         | 3,20 | 2,64  | 0,27 | 10,24  | 2,50             | 3,40  | 2,97  | 0,49 | 16,66  |
| Biomassa           |              |      |       |      |        |                  |       |       |      |        |
| Folhas             | 0,54         | 1,63 | 0,98a | 0,28 | 28,40  | 0,02             | 2,55  | 0,73b | 0,48 | 65,11  |
| Galhos finos       | 0,41         | 1,91 | 1,07a | 0,46 | 43,11  | 0,02             | 1,10  | 0,50b | 0,26 | 52,46  |
| Galhos grossos     | 0,37         | 1,79 | 1,07a | 0,36 | 34,17  | 0,00             | 1,19  | 0,32a | 0,27 | 83,34  |
| Caule              | 1,08         | 2,57 | 1,81a | 0,49 | 26,93  | 0,13             | 5,41  | 1,55a | 1,44 | 92,97  |
| Miscelânea         | 0,02         | 0,43 | 0,07a | 0,11 | 153,30 | 0,00             | 0,31  | 0,10a | 0,09 | 97,01  |
| Raiz pivotante     | 0,37         | 1,22 | 0,68a | 0,22 | 32,19  | 0,04             | 1,80  | 0,74a | 0,39 | 52,11  |
| Raízes secundárias | 0,25         | 0,82 | 0,48a | 0,17 | 34,80  | 0,02             | 0,68  | 0,28b | 0,15 | 53,54  |
| Biomassa total     | 3,36         | 9,00 | 6,16a | 0,28 | 28,40  | 0,25             | 10,20 | 4,22b | 2,31 | 54,67  |

Mín.: mínimo; máx.: máximo; méd.: média; dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação;  $D_b$ : diâmetro da base;  $D_m$ : diâmetro a 50% da altura;  $D_t$ : diâmetro do topo;  $d$ : diâmetro médio; Ht: altura total; \*valores seguidos de mesma letra na linha não diferem pelo teste  $t$ , a 5% de probabilidade.

## DISCUSSÃO

Por conta de o adensamento de cafeeiros no SAF convencional ter sido superior ao do SAF orgânico, o maior autossombreamento associado à presença das árvores restringiu a disponibilidade de luz, reduzindo a capacidade fotossintética e, por conseguinte, limitando o estoque de biomassa dos cafeeiros quando avaliados individualmente.

Sob sombreamento moderado (30 a 50%), a redução da incidência luminosa e a atenuação da temperatura do ar e da velocidade dos ventos resultam em maior vigor dos cafezais (COLTRI *et al.*, 2015).

Entretanto, sob intensa restrição de luz, a capacidade fotossintética dos cafeeiros é restrita, comprometendo o desenvolvimento da cultura (RODRÍGUEZ-LOPEZ *et al.*, 2014).

No SAF orgânico, o padrão de distribuição dos estoques de biomassa nos diferentes compartimentos foi similar ao observado na literatura, classificados em ordem decrescente de proporção: caule > galhos > folhas > raízes > frutos (COLTRI *et al.*, 2015; NEGASH; KANNINEN, 2015). Entretanto, no SAF convencional, a elevação da proporção relativa da biomassa da raiz pivotante e das

**Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson entre a biomassa e as variáveis dendrométricas de cafeeiros arábica em sistemas agroflorestais (SAF) orgânico (n = 20) e convencional (n = 30).**

| Variáveis  | SAF orgânico         |                    | SAF convencional     |                    |
|------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|            | Biomassa parte aérea | Biomassa total     | Biomassa parte aérea | Biomassa total     |
| $D_b$      | 0,76**               | 0,75**             | 0,92**               | 0,92**             |
| $D_m$      | 0,80**               | 0,78**             | 0,74**               | 0,75**             |
| $D_t$      | 0,03 <sup>ns</sup>   | 0,03 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup>   | 0,28 <sup>ns</sup> |
| d          | 0,81**               | 0,79**             | 0,91**               | 0,92**             |
| Ht         | 0,48*                | 0,45*              | 0,85**               | 0,87**             |
| $D_b^2$    | 0,75**               | 0,74**             | 0,91**               | 0,91**             |
| $D_m^2$    | 0,77**               | 0,75**             | 0,76**               | 0,76**             |
| $D_t^2$    | 0,05 <sup>ns</sup>   | 0,05 <sup>ns</sup> | 0,26 <sup>ns</sup>   | 0,28 <sup>ns</sup> |
| $d^2$      | 0,79**               | 0,77**             | 0,92**               | 0,92**             |
| $Ht^2$     | 0,48*                | 0,45*              | 0,87**               | 0,88**             |
| $D_b Ht$   | 0,77**               | 0,75**             | 0,93**               | 0,93**             |
| $D_m Ht$   | 0,84**               | 0,80**             | 0,86**               | 0,87**             |
| $D_t Ht$   | 0,19 <sup>ns</sup>   | 0,17 <sup>ns</sup> | 0,57**               | 0,60**             |
| dHt        | 0,83**               | 0,80**             | 0,93**               | 0,93**             |
| $D_b^2 Ht$ | 0,79**               | 0,77**             | 0,90**               | 0,90**             |
| $D_m^2 Ht$ | 0,83**               | 0,80**             | 0,84**               | 0,84**             |
| $D_t^2 Ht$ | 0,13 <sup>ns</sup>   | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,39*                | 0,41*              |
| $d^2 Ht$   | 0,85**               | 0,83**             | 0,92**               | 0,92**             |
| $D_b^3$    | 0,73**               | 0,72**             | 0,88**               | 0,88**             |
| $D_m^3$    | 0,74**               | 0,71**             | 0,75**               | 0,75**             |
| $D_t^3$    | 0,05 <sup>ns</sup>   | 0,07 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup>   | 0,22 <sup>ns</sup> |
| $d^3$      | 0,77**               | 0,76**             | 0,91**               | 0,90**             |

$D_b$ : diâmetro da base;  $D_m$ : diâmetro a 50% da altura;  $D_t$ : diâmetro do topo; d: diâmetro médio; Ht: altura total; ns: não significativo; \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ .

folhas e a redução da biomassa dos galhos resultaram em alteração desse padrão para caule > raiz pivotante > folhas > galhos finos > galhos grossos > raízes secundárias > miscelânea (Tabela 2).

A miscelânea (flores e frutos) pouco contribuiu para a biomassa total dos cafeeiros (Tabela 2). Esse resultado pode ser atribuído à época em que foram realizadas as avaliações. Em nenhum dos sistemas, a coleta não coincidiu com o período de produção do café, resultando, assim, em menor representatividade desse compartimento.

O acúmulo de biomassa e sua distribuição entre componentes de plantas lenhosas são afetados por muitos fatores, incluindo arquitetura e morfologia vegetal, idade, densidade de plantio, cultivares, fatores edafoclimáticos e práticas de manejo.

O maior vigor de crescimento da copa dos cafeeiros foi associado ao menor adensamento destes no SAF orgânico. O menor adensamento dos cafeeiros resulta em menor abscisão dos ramos plagiotrópicos inferiores, maior comprimento e diâmetro da copa e maior diâmetro da base do caule, ou seja, maior vigor (PEREIRA et al., 2011).

No presente estudo, o adensamento dos cafeeiros, aliado à restrição de luz no SAF convencional, limitou o crescimento dos componentes da copa. É im-

portante ressaltar o efeito do adensamento em elevar a competição das plantas vizinhas, resultando em potencialização da dominância apical e, dessa forma, restrição do desenvolvimento dos galhos (ramos laterais) (SAKAI et al., 2015). Para o SAF orgânico, a maior disponibilidade de luz induziu a redução da dominância apical, ocorrendo redistribuição homogênea da biomassa entre os compartimentos caule e galhos em relação ao SAF convencional (Tabela 2).

Os estudos disponíveis na literatura relatam valores heterogêneos de estoque de biomassa nos cafeeiros. Nos Andes peruanos, Ehrenbergerová et al. (2016) observaram estoques de 1,16 kg planta<sup>-1</sup>, em sistema de *Coffea arabica* e *Pinus* spp. (15 anos), 0,47 kg planta<sup>-1</sup> em *Coffea arabica* com *Inga densiflora* (15 anos), 1,02 kg planta<sup>-1</sup> em *Coffea arabica* com *Eucalyptus* spp. (7 anos), com densidade de plantio de 4.840 plantas ha<sup>-1</sup>, 6.830 plantas ha<sup>-1</sup> e 2.950 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No Brasil, Coltri et al. (2015), estudando um sistema cafeeiro arborizado com macadâmia (*Macadamia* ssp.), aos 10 anos, encontraram estoques de 5,65 kg planta<sup>-1</sup> (4.081 plantas ha<sup>-1</sup>).

Foi constatado que o estoque de biomassa médio dos cafeeiros no SAF orgânico foi superior quando comparado aos resultados dos estudos anteriormente citados. Entretanto, para o SAF convencional, o estoque de

**Tabela 4 – Modelos ajustados para estimar a biomassa da parte aérea e total de cafeeiros arábica em sistema agroflorestal orgânico.**

|                      | Equação  | FM    | F     | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> | S <sub>yx%</sub> | S <sub>yx</sub> | AIC   | BIC   | VP | R |
|----------------------|--|-------|-------|------------------------------|------------------|-----------------|-------|-------|----|---|
| Biomassa parte aérea |  |       |       |                              |                  |                 |       |       |    |   |
| M6                   | Log(Y) = -0,758+1,959*Log(d)+0,992*Log(Ht)                             | 1,012 | 28,90 | 0,75                         | 15,69            | 0,785           | -46,2 | -42,2 | 20 | 1 |
| M2                   | Y = -19,495+12,336*D <sub>m</sub> -1,465*D <sub>m</sub> <sup>2</sup>   | -     | 27,10 | 0,73                         | 14,89            | 0,745           | 49,7  | 53,7  | 31 | 2 |
| M5                   | Y = 1,804+0,102*(D <sub>m</sub> <sup>2</sup> Ht)                       | -     | 39,80 | 0,67                         | 16,52            | 0,827           | 53,0  | 56,0  | 43 | 3 |
| M3                   | Log(Y) = -0,448+2,163*Log(d)   | 1,017 | 35,80 | 0,65                         | 18,68            | 0,935           | -40,5 | -37,5 | 52 | 4 |
| M1                   | Y = -4,886+2,957*d   | -     | 33,90 | 0,63                         | 17,43            | 0,873           | 55,2  | 58,2  | 63 | 5 |
| Biomassa Total       |  |       |       |                              |                  |                 |       |       |    |   |
| M6                   | Log(Y) = -0,512+1,801*Log(d)+0,825*Log (Ht)                            | 1,012 | 23,09 | 0,70                         | 16,25            | 1,003           | -45,9 | -41,9 | 18 | 1 |
| M2                   | Y = -21,762+14,104*D <sub>m</sub> -1,682 * D <sub>m</sub> <sup>2</sup> | -     | 21,66 | 0,69                         | 15,18            | 0,937           | 58,9  | 62,9  | 23 | 2 |
| M5                   | Y = 2,606+0,113*(D <sub>m</sub> <sup>2</sup> Ht)                       | -     | 31,71 | 0,62                         | 16,72            | 1,032           | 61,9  | 64,9  | 47 | 3 |

D<sub>b</sub>: diâmetro da base; D<sub>m</sub>: diâmetro a 50% da altura, d: diâmetro médio; Ht: altura total; Log: logaritmo de base 10; Y: biomassa seca; FM: fator de correção de Meyer; F: valor do teste F da análise de variância da regressão; R<sup>2</sup><sub>aj</sub>: coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx%</sub>: erro padrão da estimativa percentual; S<sub>yx</sub>: erro padrão da estimativa absoluto; AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação bayesiano; VP: valor ponderado; R: ranking.

biomassa dos cafeeiros foi inferior quando comparado aos valores encontrados por Coltri *et al.* (2015).

Os protocolos para mensurar e monitorar a biomassa acima do solo estão bem estabelecidos, no entanto as estratégias para avaliação da biomassa abaixo do solo são menos desenvolvidas e pouco utilizadas em razão, principalmente, da dificuldade de obtenção de dados. A amostragem de raízes é uma atividade onerosa e que demanda bastante tempo por causa da necessidade de

escavação e retirada do sistema radicular (RATUCHNE *et al.*, 2016).

A representatividade da biomassa do sistema radicular do cafeeiro, em ambos os SAFs, ratifica a importância desse compartimento como reservatório de biomassa. Os resultados do presente estudo corroboram com os de Silva *et al.* (2013), que observaram a biomassa de raízes de cafeeiros arábica representando 22% da biomassa total.

**Tabela 5 – Modelos alométricos ajustados para estimativa da biomassa da parte aérea e total de cafeeiros arábica cultivados em associação com grevileas (*Grevillea robusta* A. Cunn.) sob manejo convencional.**

|                      | Equação  | FM    | F      | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> | S <sub>yx%</sub> | S <sub>yx</sub> | AIC   | BIC   | VP | R  |
|----------------------|--|-------|--------|------------------------------|------------------|-----------------|-------|-------|----|----|
| Biomassa parte aérea |  |       |        |                              |                  |                 |       |       |    |    |
| M9                   | $Y = 0,507 * d^{1,923}$  | -     | 161,53 | 0,85                         | 22,62            | 0,723           | 69,6  | 73,8  | 28 | 1  |
| M1                   | $Y = -1,533 + 1,114 * D_b$   | -     | 161,30 | 0,85                         | 22,64            | 0,723           | 69,6  | 73,8  | 33 | 2  |
| M9                   | $Y = 0,402 * D_b^{1,413}$  | -     | 157,27 | 0,84                         | 22,88            | 0,731           | 70,3  | 74,5  | 44 | 3  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,606 + 2,622 * \text{Log}(d)$                                   | 1,063 | 134,70 | 0,82                         | 44,76            | 1,430           | -24,1 | -19,9 | 51 | 4  |
| M5                   | $Y = 0,906 + 0,105 * (d^2 \text{Ht})$  | -     | 153,20 | 0,84                         | 23,14            | 0,739           | 70,9  | 75,1  | 55 | 5  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,8364 + 2,067 * \text{Log}(D_b)$                                | 1,074 | 111,50 | 0,79                         | 56,43            | 1,802           | -19,4 | -15,2 | 66 | 6  |
| M1                   | $Y = -3,009 + 2,456 * d$   | -     | 143,90 | 0,83                         | 23,76            | 0,759           | 72,5  | 76,7  | 67 | 7  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,720 + 2,868 * \text{Log}(D_m)$                                 | 1,092 | 85,44  | 0,74                         | 45,23            | 1,445           | -13,2 | -9,0  | 71 | 8  |
| M6                   | $\text{Log}(Y) = -1,151 + 1,999 * \text{Log}(D_m) + 1,654 * \text{Log}(\text{Ht})$ | 1,077 | 53,41  | 0,78                         | 42,08            | 1,344           | -17,3 | -11,7 | 72 | 9  |
| M4                   | $Y = 1,013 + 0,108 * D_b^2$  | -     | 136,30 | 0,82                         | 24,30            | 0,776           | 73,9  | 78,1  | 75 | 10 |
| M5                   | $Y = 1,514 + 0,025 * (D_b^2 \text{Ht})$  | -     | 123,00 | 0,81                         | 25,35            | 0,810           | 76,4  | 80,6  | 83 | 11 |
| Biomassa total       |  |       |        |                              |                  |                 |       |       |    |    |
| M9                   | $Y = 0,744 * d^{1,820}$  | -     | 165,61 | 0,85                         | 21,16            | 0,893           | 82,3  | 86,5  | 29 | 1  |
| M1                   | $Y = -1,688 + 1,392 * D_b$   | -     | 163,30 | 0,85                         | 21,29            | 0,898           | 82,6  | 86,8  | 35 | 2  |
| M9                   | $Y = 0,595 * D_b^{1,339}$  | -     | 157,12 | 0,84                         | 21,64            | 0,913           | 83,6  | 87,8  | 50 | 3  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,441 + 2,530 * \text{Log}(d)$                                   | 1,057 | 137,00 | 0,82                         | 44,18            | 1,864           | -26,7 | -22,5 | 51 | 4  |
| M1                   | $Y = -3,571 + 3,084d$  | -     | 154,80 | 0,84                         | 21,77            | 0,919           | 84,0  | 88,2  | 59 | 5  |
| M5                   | $Y = 1,362 + 0,131 * (d^2 \text{Ht})$  | -     | 153,20 | 0,84                         | 21,87            | 0,923           | 84,2  | 88,4  | 65 | 6  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,658 + 1,984 * \text{Log}(D_b)$                                 | 1,070 | 107,80 | 0,79                         | 55,54            | 2,343           | -20,9 | -16,7 | 68 | 7  |
| M3                   | $\text{Log}(Y) = -0,560 + 2,790 * \text{Log}(D_m)$                                 | 1,079 | 92,89  | 0,76                         | 44,65            | 1,884           | -17,4 | -13,2 | 70 | 8  |
| M4                   | $Y = 1,505 + 0,134 * D_b^2$  | -     | 130,90 | 0,82                         | 23,36            | 0,985           | 88,2  | 92,4  | 78 | 9  |
| M6                   | $\text{Log}(Y) = -0,888 + 1,567 * \text{Log}(D_b) + 1,029 * \text{Log}(\text{Ht})$ | 1,068 | 56,23  | 0,79                         | 59,36            | 2,504           | -20,8 | -15,2 | 81 | 10 |
| M5                   | $Y = 2,128 + 0,031 * (D_b^2 \text{Ht})$  | -     | 119,00 | 0,80                         | 24,29            | 1,025           | 90,5  | 94,7  | 84 | 11 |

D<sub>b</sub>: diâmetro da base; D<sub>m</sub>: diâmetro a 50% da altura, d: diâmetro médio; Ht: altura total; Log: logaritmo de base 10; Y: biomassa seca; FM: fator de correção de Meyer; F: variância da regressão; R<sup>2</sup><sub>aj</sub>: coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx%</sub>: erro padrão da estimativa percentual; S<sub>yx</sub>: erro padrão da estimativa absoluto; AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação bayesiano; VP: valor ponderado; R: ranking.

No SAF orgânico, os diâmetros ( $D_b$ ,  $D_m$  e  $d$ ) apresentaram maior correlação com a biomassa da parte aérea e total em comparação com Ht (Tabela 3). No SAF convencional, os diâmetros  $D_b$  e  $d$  exibiram tendência semelhante. Andrade *et al.* (2018) e Segura, Kanninen e Suárez (2006), em estudos anteriores, verificaram forte correlação entre a biomassa dos compartimentos e o diâmetro do cafeeiro. De maneira geral, as combinações entre os diâmetros e a altura total ( $D_b$ Ht,  $D_m$ Ht,  $d$ Ht,  $D_b^2$ Ht,  $D_m^2$ Ht,  $d^2$ Ht) elevaram a correlação dessas variáveis com a biomassa da parte aérea e total (Tabela 3).

Quando se analisaram a relação entre a biomassa observada e estimada e a dispersão dos resíduos, foi verificada homogeneidade entre os modelos selecionados para biomassa da parte aérea e total dos cafeeiros no SAF orgânico (Figura 1). Para esses compartimentos, a seleção do melhor ajuste seguiu a classificação do VP, sendo definido o modelo M6 para ambos (Tabela 4).

A superioridade do modelo com transformação logarítmica (Log10-Log10), para as variáveis dependentes e independentes, definido para biomassa da parte aérea

e total dos cafeeiros no SAF orgânico, foi corroborada por estudos anteriores (SEGURA; KANNINEN; SUÁREZ, 2006). Esse tipo de transformação normalmente é utilizado como um mecanismo de linearização de modelos não lineares.

De modo geral, a simplicidade de um modelo com a definição de apenas uma variável independente é uma forma de minimizar erros. No entanto, na equação para estimar a biomassa desses compartimentos, o uso do diâmetro médio (média de  $D_b$ ,  $D_m$  e  $D_t$ ) e a inclusão de Ht elevaram a precisão das estimativas da biomassa individual dos cafeeiros quando comparados aos demais modelos ajustados.

Pela análise do VP, o melhor ajuste para a relação entre a biomassa da parte aérea e total e as variáveis independentes dos cafeeiros no SAF convencional foi definido para os modelos M1 e M9 (Tabela 5). Entretanto, avaliando a relação entre biomassa estimada e observada dos modelos selecionados, foi verificado que, para o modelo M1, a dispersão da biomassa da parte aérea e total se manteve próxima à reta de intercepto igual 0 e com inclinação de 45°, demonstrando maior precisão desse modelo (Figura 2).

## CONCLUSÕES

O sistema de manejo orgânico e o convencional são fatores de menor impacto em relação a fatores como a densidade de cafeeiros e o arranjo das grevêas.

A densidade de cafeeiros e o arranjo das grevêas são elementos que determinam modelos alométricos diferenciados para a estimativa de estoques de biomassa dos cafeeiros.

O menor adensamento de cafeeiros é fator que aponta a superioridade dos estoques de biomassa individual.

A manutenção da dominância apical dos cafeeiros no SAF convencional, induzida pelo autossombreamento, eleva a precisão dos modelos de estimativa da biomassa pelo fato de as variáveis independentes estarem ligadas à morfologia do caule.

No SAF orgânico, o desenvolvimento mais vigoroso da ramificação lateral, no tocante à maior disponibilidade de luz pelo plantio menos adensado, define limitações da reciprocidade entre o crescimento do caule e o acúmulo de biomassa, resultando em redução da precisão dos modelos alométricos de estimativas de estoques de biomassa para os cafeeiros.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e à Embrapa Café, o apoio financeiro. Aos ca-

feicultores, Sr. Néelson Cordeiro e Giano Brito, que permitiram o desenvolvimento deste estudo.

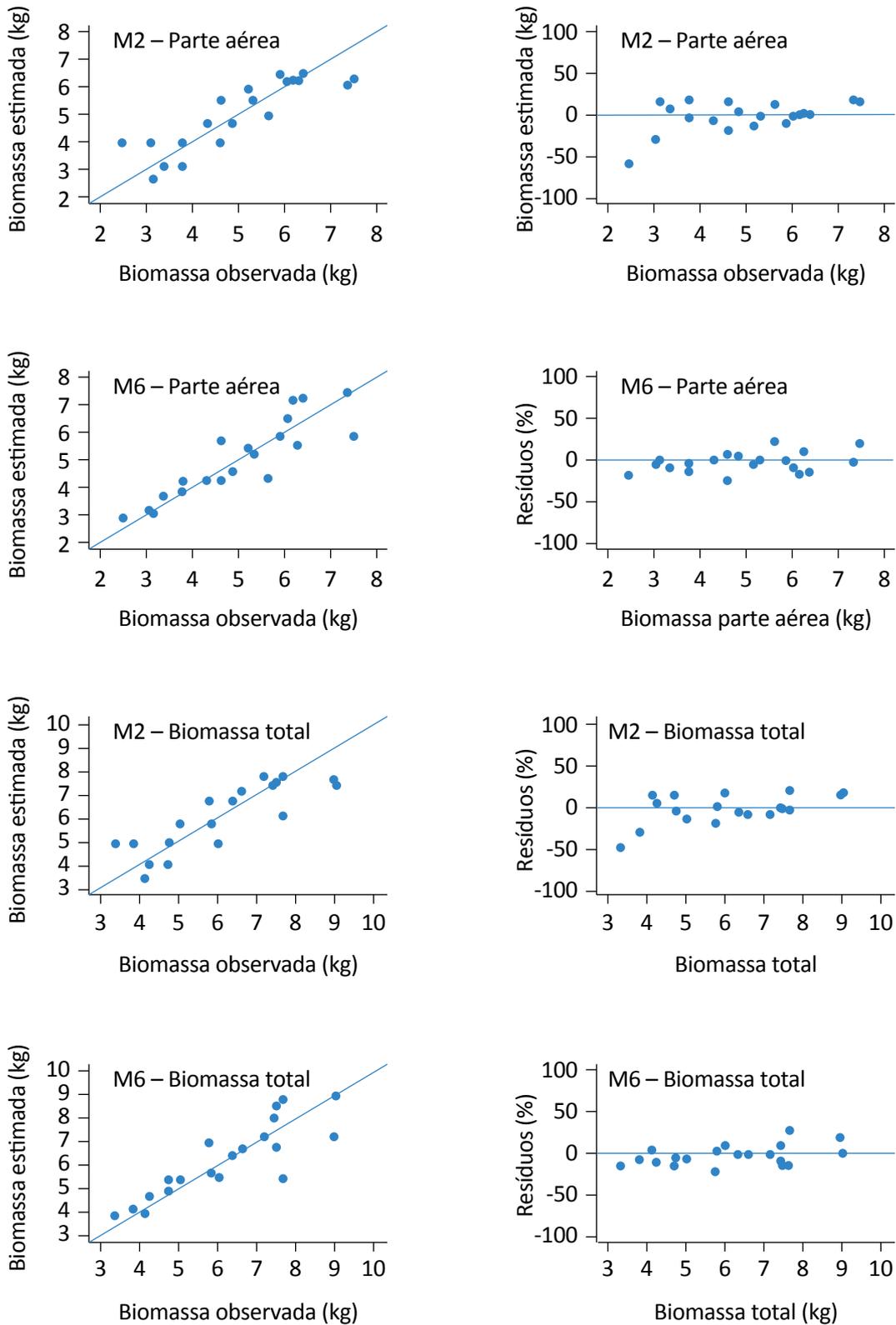


Figura 1 – Relação entre a biomassa estimada e observada e os resíduos dos modelos selecionados para biomassa da parte aérea e total de cafeeiros arábica cultivados em associação com grevileas (*Grevillea robusta* A. Cunn.) sob manejo orgânico.

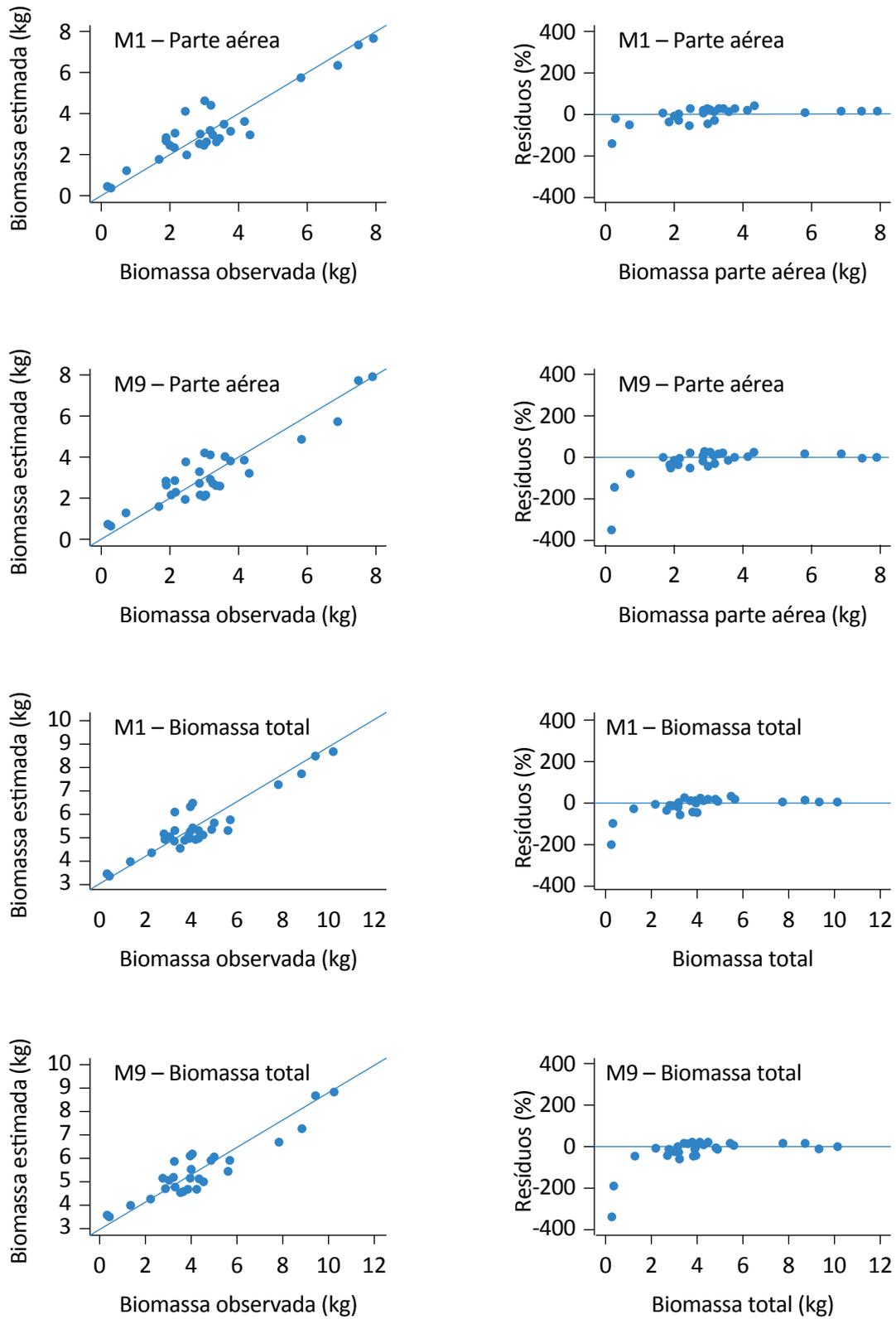


Figura 2 – Relação entre a biomassa estimada e observada e os resíduos dos modelos selecionados para biomassa da parte aérea e total de cafeeiros arábica cultivados em associação com grevileas (*Grevillea robusta* A. Cunn.) sob manejo convencional.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDRADE, H.J.C.; SEGURA, M.A.; FERIA, M.; SUÁREZ, W. Above-ground biomass models for coffee bushes (*Coffea arabica* L.) in Líbano, Tolima, Colombia. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 92, p. 775-784, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0047-4>
- BELIZÁRIO, M.H.; FERRÃO, G.D.E.; CERRI, C.C.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil carbon stocks cultivated with coffee in the brazilian savanna: effect of cultivation time and use of organic compost. *Coffee Science*, Lavras, v. 13, n. 1, p. 53-62, 2018. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v13i1.1366>
- CERDA, R.; ALLINNE, C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C.A.; KROL CZYK, L.; MATHIOT, C.; CLÉMENT, E.; ALBERTOT, J-N.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, Amsterdã, v. 82, parte B, p. 308-319, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>
- COLODETTI, T.V.; TOMAZ, M.A.; RODRIGUES, W.N.; VERDIN FILHO, A.C.; CAVATTE, P.C.; REIS, E.F. dos. Arquitetura da copa do cafeeiro arábica conduzido com diferentes números de ramos ortotrópicos. *Ceres*, Viçosa, v. 65, n. 5, p. 415-423, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865050006>
- COLTRI, P.P.; ZULLO JUNIOR, J.; DUBREUIL, V.; RAMIREZ, G.M.; PINTO, H.S.; CORAL, G.; LAZARIM, C.G. Empirical models to predict LAI and aboveground biomass of *Coffea arabica* under full sun and shaded plantation: a case study of South of Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 89, p. 621-636, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9799-5>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento safra brasileira de café: Quarto levantamento*. Brasília: CONAB, dez. 2018. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24571\\_eec1a3f8fdc30883717a497a09f7d159](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24571_eec1a3f8fdc30883717a497a09f7d159)>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL (CECAFÉ). *Exportações brasileiras de café*. São Paulo: CECAFÉ, 8 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.cecafe.com.br>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- DEFRENET, E.; ROUPSARD, O.; VAN DEN MEERSCHKE, K.; CHARBONNIER, F.; PÉREZ-MOLINA, J.P.; KHAC, E.; PRIETO, I.; STOKES, A.; ROUMTE, C.; RAPIDEL, B.; VIRGINIO FILHO, E.M.; VARGAS, V.J.; ROBELO, D.; BARQUERO, A.; JOURDAN, C. Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. *Annals of Botany*, Oxford, v. 118, n. 4, p. 833-851, 2016. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw153>
- EHRENBERGEROVÁ, L.; CIENCIALA, E.; KUČERA, A.; GUY, L.; HABROVÁ, H. Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 90, p. 433-445, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>
- FELICIANO, D.; LEDO, A.; HILIER, J.; NAYAK, D.R. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v. 254, p. 117-129, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- GUILLEMOT, J.; LE MAIRE, G.; MUNISHAMAPPA, M.; CHARBONNIER, F.; VAAST, P. Native coffee agroforestry in the Western Ghats of India maintains higher carbon storage and tree diversity compared to exotic agroforestry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v. 265, p. 461-469, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.002>
- HENNERON, L.; CHAUVAT, M.; ARCHAUX, F.; AKPA-VINCESLAS, M.; BUREAU, F.; DUMAS, Y.; NINGRE, F.; RICHTER, C.; BALANDIER, P.; AUBERT, M. Plasticity in leaf litter traits partly mitigates the impact of thinning on forest floor carbon cycling. *Functional Ecology*, Londres, v. 32, n. 12, p. 2777-2789, 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13208>

NEGASH, M.; KANNINEN, M. Modeling biomass and soil carbon sequestration of indigenous agroforestry systems using CO<sub>2</sub>FIX approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v. 203, p. 147-155, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.004>

PEREIRA, S.P.; BARTHOLO, G.F.; BALIZA, D.P.; SOBREIRA, F.M.; GUIMARÃES, R.J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011000200006>

PINOARGOTE, M.; CERDA, R.; MERCADO, L.; AGUILAR, A.; BARRIOS, M.; SOMARRIBA, E. Carbon stocks, net cash flow and family benefits from four small coffee plantation types in Nicaragua. *Forests, Trees and Livelihoods*, Londres, v. 26, n. 3, p. 183-198, 2017. <https://doi.org/10.1080/14728028.2016.1268544>

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

RATUCHNE, L.C.; KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; SCHAMNE, P.A. Estado da arte na quantificação de biomassa em raízes de formações florestais. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 450-462, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.131515>

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N.F.; MARTINS, S.C.V.; CAVATTE, P.C.; SILVA, P.E.M.; MORAIS, L.E.; PEREIRA, L.F.; REIS, J.V.; ÁVILA, R.T.; GODOY, A.G.; LAVINSKI, A.O.; DAMATTA, F.M. Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light supplies. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v. 102, p. 1-10, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.01.008>

SAKAI, E.; BARBOSA, E.A.A.; SILVEIRA, J.M.C.; PIRES, R.C.M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdã, v. 148, p. 16-23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R. (orgs.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C.R.; BEHLING, A.; CORTE, A.P.D.; SIMON, A.; PSCHIEDT, H.; RUZA, M.S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 361-370, 2014.

SEGURA, M.; ANDRADE, H.J. Como construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de espécies leñosas perennes? *Agroforesteria em las Américas*, Turrialba, n. 46, p. 89-96, 2008.

SEGURA, M.; KANNINEN, M.; SUÁREZ, D. Allometric equations for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 68, p. 143-150, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10457-006-9005-x>

SILVA, A.B. da; MANTOVANI, J.R.; MOREIRA, A.L.; REIS, R.L.N. Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Interciencia*, Santiago, v. 38, n. 4, p. 286, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). *Estatísticas dos Municípios Baianos*. Salvador: SEI, 2013. v. 4. n. 1. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/estatisticas\\_municipios/est\\_mun\\_v4\\_vitoria\\_da\\_conquista.zip](http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/estatisticas_municipios/est_mun_v4_vitoria_da_conquista.zip)>. Acesso em: 15 mar. 2019.

\_\_\_\_\_. *Estatísticas dos Municípios Baianos*. Salvador: SEI, 2014. v. 4. n. 2. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/estatisticas\\_municipios/est\\_mun\\_v4\\_chapada\\_diamantina.zip](http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/estatisticas_municipios/est_mun_v4_chapada_diamantina.zip)>. Acesso em: 15 mar. 2019.

THIERSCH, A. *A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de Eucalyptus camaldulensis*. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

TUMWEBAZE, S.B.; BYAKAGABA, P. Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v. 216, p. 188-193, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.037>

VAN NOORDWIJK, M.; RAHAYU, S.; HAIRIAH, K.; WULAN, Y.C.; FARIDA, A.; VERBIST, B. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China Series C Life Sciences*, v. 45, p. 75-86, 2002.

