

Ajuste independente e simultâneo para estimar biomassa acima do solo no Cerrado, fitofisionomia Parque Cerrado

Independent and simultaneous adjustment to stimulate biomass above the Savanna Soil, Parque Cerrado phytophysiology

Gabriel Mendes Santana¹, Emmanoella Costa Guaraná Araujo¹, Carlos Roberto Sanquetta², Sylvio Péllico Netto², Fábio Venturoli³

RESUMO: A consistência biológica, necessária ao ajustar modelos para estimar a biomassa total e dos componentes acima do solo, muitas vezes é negligenciada por diversos pesquisadores. Modelos matemáticos para estimar biomassa que não consideram a relação de dependência existente entre os componentes da árvore e o total ainda são poucos estudados em florestas nativas, sobretudo no bioma Cerrado. Dessa forma, este trabalho objetivou comparar os estimadores de biomassa acima do solo por dois métodos diferentes, ajuste independente e simultâneo de equações. Dados de biomassa acima do solo para os componentes e total foram coletados, e então, modelos matemáticos para estimar a biomassa total e dos componentes foram ajustados independentemente pelo método dos mínimos quadrados ordinários e simultaneamente pelo método de regressão não linear aparentemente não relacionadas. Foi verificada a consistência biológica das equações nos dois métodos, além da presença de heteroscedasticidade, que quando observada, tiveram seus reajustes realizados após terem os pesos de seus coeficientes calculados pela estrutura de variância. O sistema de equações ajustadas simultaneamente apresentou consistência biológica e intervalos de predições menores quando comparados ao ajuste independente de equações, apesar de demonstrarem parâmetros estatísticos semelhantes. A fim de assegurar a aditividade e precisão, modelos de biomassa dos componentes e total, para a fitofisionomia Parque Cerrado, devem ser estimados por meio de sistemas de equações.

Palavras-chave: Aditividade. Consistência biológica. Precisão. Sistema de equações.

ABSTRACT: Most researchers often overlook the biological consistency required when adjusting models to estimate total biomass and above-ground components. Mathematical models to estimate biomass that fail to take into account dependence relationship between tree components and the whole are scantily studied in native forests, especially for the Cerrado biome. Current investigation compares the above-ground biomass estimators by two different methods, independent and simultaneous adjustment of equations. Above-ground biomass data for the components and whole were collected. Mathematical models to estimate total biomass and components were then independently adjusted by the ordinary least squares method and simultaneously by the apparently unrelated nonlinear regression method. The equations' biological consistency was verified by the two methods, coupled to heteroscedasticity, which were adjusted after having the weights of their coefficients calculated by variance structure. Simultaneously adjusted equation system presented biological consistency and lower prediction intervals when compared to the independent adjustment of equations, despite demonstrating similar statistical parameters. Biomass models of the components and total, for the phytophysiology Cerrado Park, should be estimated by equation systems to ensure additivity and precision.

Keywords: Additivity. Biological consistency. Equation system. Precision.

Autor correspondente:

Emmanoella Costa Guaraná Araujo: manugarana@gmail.com

Recebido em: 25/01/2020

Aceito em: 22/07/2020

INTRODUÇÃO

A compatibilidade das estimativas para biomassa total e dos componentes das árvores deve ser uma premissa básica a ser considerada na modelagem dos dados. Tal argumento é chamado de aditividade, ou seja, a soma das massas dos componentes (folhas, galhos, casca, fuste e raiz) deve ser igual à massa total. Portanto, em modelos utilizados para prever a biomassa, é necessário empregar estimadores que assegurem a aditividade das estimativas. Para Chiyaenda

¹ Doutorandos em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

² Professores da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

³ Professor da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia (GO), Brasil.

e Kozak (1984) é utópico considerar a independência dos componentes da mesma árvore. Estimativas de biomassa realizada por sistemas de equações; podem ser empregadas para resolver o problema da falta de aditividade.

Pesquisas realizadas com o objetivo de conhecer a distribuição da biomassa da árvore, principalmente fuste e copa, são alvo de estudos recentes de pesquisadores (SANQUETTA *et al.*, 2015). A modelagem da biomassa é realizada com o objetivo de encontrar a equação de melhor desempenho para estimativa da biomassa dos componentes e total. Se tratando de um processo laborioso e de alto custo em relação a outras variáveis biométricas na floresta, é comum o emprego de modelos matemáticos que proporcionam estimar a biomassa com uso de variáveis dendrométricas, viabilizando o uso delas por serem determinadas com simplicidade.

Na maioria dos casos, ao modelar a biomassa dos componentes e a biomassa total, o ajuste é realizado de forma independente, sendo executado um ajuste para cada compartimento da árvore. Tal ação culmina na não aditividade das equações, ou seja, a soma da biomassa dos componentes, encontrados nos modelos ajustados, não produz o mesmo resultado que o valor obtido na equação da biomassa total. Apesar de gerar resultados inconsistentes, essa abordagem foi encontrada em 80% dos 50 estudos relacionados ao tema publicado em revistas científicas nos últimos anos (SANQUETTA *et al.*, 2015).

Para Genet *et al.* (2011), são três as características necessárias para que se possa obter um bom conjunto de equações capazes de assegurar acurácia na predição de biomassa florestal. A primeira característica é a consistência, que por sua vez, remete ao fracionamento da biomassa total da árvore em componentes, porém, garantindo aditividade. A segunda característica é a robustez, que se trata da composição de um sistema de equações funcional para as altas variações da população amostrada e com baixa sensibilidade ao processo de amostragem utilizado. E a terceira e última característica é a acurácia, definida como a proximidade do valor de biomassa estimado e o valor observado pela amostragem.

708

Parresol (1999), pesquisando três procedimentos para garantir a aditividade das equações lineares de biomassa, chegou à conclusão de que o procedimento de Regressões Aparentemente Não Relacionados - *Seemingly Unrelated Regressions (SUR)* - é o que garante melhores resultados. Para equações não lineares, Regressões não Lineares Aparentemente Não Relacionados - *Nonlinear Seemingly Unrelated Regression (NSUR)* - resultou estimadores mais eficientes para a biomassa dos componentes da árvore e biomassa total (PARRESOL, 2001). No Brasil poucos trabalhos aplicaram tais metodologias, dando maior ênfase aos realizados por Sanquetta *et al.* (2014), Sanquetta *et al.* (2015) e Behling *et al.* (2018), este último justificando a importância da aplicação dos métodos SUR e NSUR para estimativas de biomassa florestal.

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro em extensão, é fortemente pressionado pelas mudanças de uso da terra (SANO *et al.*, 2010), e atualmente apenas 52% de sua cobertura natural ainda não foi desmatada ou sofreu algum tipo de degradação (INPE, 2018). O Parque Cerrado é uma fitofisionomia do bioma cerrado, é uma formação savânica com árvores agrupadas em partes mais altas do terreno (RIBEIRO; WALTER, 2008). Do remanescente de Cerrado, a biomassa e o volume de madeira ainda são poucos conhecidos (MIGUEL *et al.*, 2015). Apesar de haver estudos, não é frequente usar equações com ajustes simultâneos para estimar a biomassa no Cerrado.

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o desempenho de estimadores de biomassa acima do solo, por meio de estimativa simultânea, para modelagem da biomassa total e dos componentes em árvores da fitofisionomia Parque Cerrado do bioma Cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E COLETA DE DADOS

Os dados para a realização do presente trabalho são originários do bioma Cerrado, coletados no Noroeste do Estado de Goiás. Com inverno seco e verão úmido, as duas estações climáticas na região são bem definidas, classificado como Aw (tropical savana) segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013). A região, segundo Santos *et al.* (2018), possui solos do tipo Plintossolos e temperatura com média de 26,5 °C (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Foram coletados dados de DAP e altura de 97 indivíduos presentes em dez parcelas de 10 metros x 10 metros, sorteadas aleatoriamente pelo processo simples de amostragem como sugerido por Péllico Netto e Brena (1997). O critério de inclusão para a amostragem destrutiva dos indivíduos foi o de DAP ≥ 5 cm, tendo a compartimentalização da biomassa, em fuste com casca, galhos e folhas sendo realizada no próprio campo como preconizado por Picard, Saint-André e Henry (2012).

2.2 PREPARO DAS AMOSTRAS

Com o auxílio de uma balança analítica de precisão, amostras de aproximadamente 500g foram retiradas dos compartimentos de cada indivíduo amostrado e pesadas no local. Para o fuste a amostra consistia na retirada de três discos em três diferentes alturas; base, DAP e topo. Após as amostras passarem pelo processo de secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 5 °C, tiveram suas umidades determinadas e posteriormente calculados a biomassa seca de cada uma através da equação [1], para que então o valor fosse extrapolado para a biomassa total da árvore.

$$BS = BV \cdot (1 - Um) \quad (1)$$

Em que:

BS = Biomassa seca (kg);

BV = Biomassa verde (kg);

Um = Umidade.

2.3 AJUSTE INDEPENDENTE

Com base em estudos realizados previamente, um total de cinco modelos não lineares foram selecionados para a realização do ajuste independente da biomassa dos componentes e total (Tabela 1). Os modelos que obtiveram melhores estatísticas de ajuste, para os componentes e total, foram utilizados na comparação das metodologias realizadas na pesquisa.

Para comparar a metodologia de ajuste independente e simultâneo de biomassa, o primeiro procedimento consistiu em ajustar de forma independente modelos não lineares de biomassa para os componentes e total conforme as equações [2], [3] e [4], utilizando o método dos mínimos quadrados não lineares (MQNL). Para testar a hipótese de homogeneidade dos resíduos em cada equação, foi utilizado o Teste de White (1980), com 95% de probabilidade. Nos casos em que a hipótese foi rejeitada, pesos foram obtidos por meio da estrutura de variância (PARRESOL, 2001), e realizado o novo ajuste da equação seguido pelo teste de White novamente.

2.4 AJUSTE SIMULTÂNEO

Em seguida foi realizado o ajuste dos modelos para estimar a biomassa total e dos componentes, por meio de sistemas de equações, como demonstrado nas equações [5], [6] e [7]. O modelo de regressões não lineares aparentemente não relacionados (*Nonlinear Seemingly Unrelated Regressions - NSUR*) foi utilizado para ajustar o sistema de equações para os componentes e a biomassa total. O teste de White foi aplicado para a hipótese de homogeneidade dos resíduos, com 95% de probabilidade. Em casos em que os resíduos foram heteroscedásticos, pesos foram aplicados por meio da estrutura de variância, método de regressão não linear aparentemente não relacionada ponderada (*Weighted-Nonlinear Seemingly Unrelated Regressions - WNSUR*).

O desempenho das equações nos diferentes procedimentos foi comparado por meio dos valores dos coeficientes de determinação e raiz do erro quadrático médio. Além disso, foram geradas estimativas de biomassa para os componentes e para o total, utilizando os dados das parcelas, para unidade de área hectare. Para comparar tais resultados foi utilizado o teste do Qui-quadrado, cuja hipótese nula assumiu que os valores estimados por meio do procedimento de ajuste independente é igual aos valores estimados pelo procedimento do sistema de equações, com 95% de probabilidade.

A consistência biológica foi avaliada em relação à aditividade da biomassa dos componentes com relação ao total, obtida para o procedimento de sistemas de equações e ajuste independente. Quando a condição descrita no sistema de equações foi obedecida, as estimativas de biomassa foram consideradas consistentes biologicamente, caso contrário, inconsistente. O procedimento foi avaliado em nível de árvores, parcela e hectare.

$$BF = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (2)$$

$$BF = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (3)$$

$$AGB = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (4)$$

$$BF = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (5)$$

$$BCop = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (6)$$

$$AGB = BF + BC + \varepsilon \quad (7)$$

Onde:

BF = Biomassa do fuste (kg);

BCop = Biomassa da copa (kg);

AGB = Biomassa total acima do solo (kg);

DAP = diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo;

Ht = altura total;

β_0 , β_1 e β_2 = Coeficientes da equação;

ε = erro.

3 RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentadas as estatísticas dos modelos não lineares ajustados para biomassa dos compartimentos e total pelo método dos mínimos quadrados não lineares estimados.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos dos modelos previamente ajustados

Modelo	R^2_{adj}	RMSE	White (valor p)
BF			
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.81	5.4376	0.001
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} + \varepsilon$	0.88	4.3509	0.001
$y = \beta_0 * (DAP^2 * Ht)^{\beta_1} + \varepsilon$	0.88	4.3350	0.001
$y = DAP^2 / \beta_0 + \frac{\beta_1}{Ht} + \varepsilon$	0.88	4.3119	0.001
$y = DAP^2 * Ht / \beta_0 + \beta_1 * DAP + \varepsilon$	0.88	4.3457	0.001
Bcop			
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.35	12.2039	0.1801
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} + \varepsilon$	0.36	12.1362	0.1983
$y = \beta_0 * (DAP^2 * Ht)^{\beta_1} + \varepsilon$	0.30	12.7031	0.2285
$y = DAP^2 / \beta_0 + \frac{\beta_1}{Ht} + \varepsilon$	0.36	12.1569	0.2837
$y = DAP^2 * Ht / \beta_0 + \beta_1 * DAP + \varepsilon$	0.31	12.5525	0.1417
AGB			
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.69	13.5714	0.0231
$y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} + \varepsilon$	0.69	13.5954	0.0059
$y = \beta_0 * (DAP^2 * Ht)^{\beta_1} + \varepsilon$	0.67	14.1054	0.0767
$y = DAP^2 / \beta_0 + \frac{\beta_1}{Ht} + \varepsilon$	0.69	13.5253	0.0151
$y = DAP^2 * Ht / \beta_0 + \beta_1 * DAP + \varepsilon$	0.67	13.9500	0.0030

Onde: R^2_{adj} = Coeficiente de determinação ajustado; RMSE = Raiz quadrada do erro médio; y = variável BF, Bcop ou AGB; BF = biomassa do fuste (kg); Bcop = biomassa da copa; e AGB (kg) = biomassa total acima do solo (kg); DAP = diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo; Ht = altura total; β_0 , β_1 e β_2 = Coeficientes da equação; ε = erro.

O modelo $y = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} + \varepsilon$ (SCHUMACHER; HALL, 1933) possui melhores estatísticas para a biomassa dos componentes e total, sendo o modelo selecionado para demais avaliações. A Tabela 2 apresenta as equações ajustadas independentemente do modelo selecionado, pelo método dos mínimos quadrados não lineares estimados.

Tabela 2. Equações resultantes do ajuste independente (MQNLE) dos modelos para biomassa dos componentes e total, com seus respectivos parâmetros estáticos

Equação	R^2_{adj}	RMSE	White (valor p)
$BF = 0.01544 * DAP^{2.01859} * Ht^{1.11354}$	0.88	4.3509	0.0001 _{ns}
$BC = 0.42306 * DAP^{2.03796} * Ht^{-0.53118}$	0.36	12.1362	0.1983 _{sg}
$AGB = 0.21220 * DAP^{2.01655} * Ht^{0.18081}$	0.69	13.5954	0.0059 _{ns}

Onde: R^2_{adj} = Coeficiente de determinação ajustado; RMSE = Raiz quadrada do erro médio; BF = biomassa do fuste (kg); Bcop = biomassa da copa; e AGB (kg) = biomassa total acima do solo (kg); DAP = diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo; Ht = altura total; ns = não significativo a 5%; sg = significativo a 5%.

O modelo ajustado para biomassa de copa apresentou heteroscedasticidade. Após o cálculo dos pesos por meio da estrutura de variância, o modelo foi novamente ajustado (Tabela 3).

Tabela 3. Equações resultantes do ajuste independente, após obter peso pela estrutura de variância para equação BC., em conjunto com seus respectivos parâmetros estáticos

Equação	R^2_{adj}	RMSE	White (valor p)
$BF = 0.01544 * DAP^{2.01859} * Ht^{1.11354}$	0.88	4.3509	0.0001 _{ns}
$BC = 0.27860 * DAP^{1.89780} * Ht^{-0.13833}$	0.35	12.2155	0.0498 _{ns}
$AGB = 0.21220 * DAP^{2.01655} * Ht^{0.18081}$	0.69	13.5954	0.0059 _{ns}

Onde: R^2_{adj} = Coeficiente de determinação ajustado; RMSE = Raiz quadrada do erro médio; BF = biomassa do fuste (kg); Bcop = biomassa da copa; e AGB (kg) = biomassa total acima do solo (kg); DAP = diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo; Ht = altura total; ns = não significativo a 5%; sg = significativo a 5%.

Como o ajuste para a biomassa de copa apresentou heteroscedasticidade, todos os demais modelos tiveram seus pesos obtidos pela estrutura de variâncias e foram ajustados no sistema de equações utilizando o método WNSUR (Tabela 4).

Tabela 4. Equações resultantes do ajuste simultâneo de equações ponderadas (WNSUR) para biomassa dos componentes e total, em conjunto com seus respectivos parâmetros estáticos

Equação	R^2_{adj}	RMSE	White (valor p)
$BF = 0.01987 * DAP^{2.00824} * Ht^{1.00618}$	0.88	4.3334	0.0001 _{ns}
$BC = 0.25989 * DAP^{1.91240} * Ht^{-0.12066}$	0.36	12.1312	0.0481 _{ns}
$AGB = BF + BC$	0.68	13.6964	0.0028 _{ns}

Onde: R^2_{adj} = Coeficiente de determinação ajustado; RMSE = Raiz quadrada do erro médio; BF = biomassa do fuste (kg); Bcop = biomassa da copa; e AGB (kg) = biomassa total acima do solo (kg); DAP = diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo; Ht = altura total; ns = não significativo a 5%; sg = significativo a 5%.

A Figura 1 demonstra a curva dos valores ajustados para o método dos MQNLE independentemente (A) e ajuste simultâneo WNSUR (B). C e D; demonstram os resíduos resultantes de $AGB - BF - BC \neq 0$

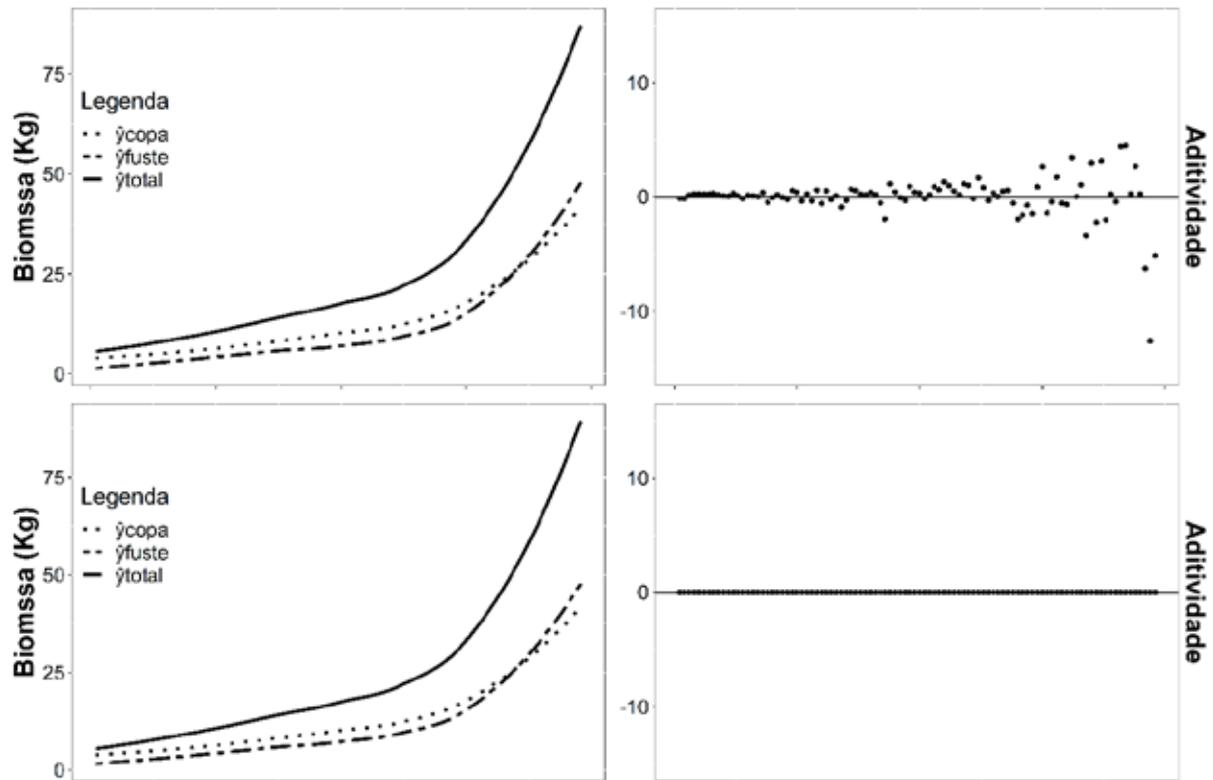


Figura 1. A) Curva crescente da biomassa dos componentes e total estimada pelo método de ajuste independente. B) Diferença em kg entre a biomassa total e soma da biomassa dos componentes para o ajuste independente. C) Curva crescente da biomassa dos componentes e total estimada pelo método de ajuste simultâneo. D) Diferença em kg entre a biomassa total e soma da biomassa dos componentes para o ajuste simultâneo.

As estimativas obtidas pelos procedimentos de ajuste independente e ajuste simultâneo foram comparadas por meio de teste de Qui-quadrado (Tabela 5) e os valores obtidos em nível de hectare foram significativos, ou seja, os valores estimados por equações ajustadas por meio do procedimento de ajuste independente não foram semelhantes aos estimados por meio do procedimento de ajuste simultâneo.

Tabela 5. Tabela dos valores de X^2 (Qui-quadrado) para a biomassa total e dos componentes

	Real	Estimado MQO	Estimado NSUR
Real	-	0.02665	0.28963
Estimado MQNLE	0.02665	-	0.27163
Estimado WNSUR	0.28963	0.27163	-

O teste Qui-quadrado mostrou ser significativo entre o ajuste independente e o valor observado para biomassa dos componentes e total. Entre WNSUR e o valor real o teste rejeitou a hipótese nula.

4 DISCUSSÃO

Os modelos ajustados para biomassa da copa (Tabela 1) apresentaram maiores variações quando comparados aos modelos ajustados para biomassa do fuste e biomassa total acima do solo. O desempenho estatístico, também justificado pelo baixo coeficiente de determinação, é naturalmente explicado pelo fato do componente copa sofrer

maior influência de fatores internos e externos à floresta, como destacado por Satoo e Madgwick (1982) e António *et al.* (2007).

O ajuste independente, para a biomassa dos compartimentos e total, provou ser inadequado, pois a soma das estimativas obtidas para a biomassa dos componentes não é igual à estimativa obtida para a biomassa total, ou seja, não são aditivas. Tais resultados também foram observados por outros autores recentemente, como Sanquetta *et al.* (2015) e Behling *et al.* (2018). No presente trabalho a incompatibilidade da não aditividade entre biomassa dos componentes e total apresentou uma relação direta com a biomassa do indivíduo, pois quanto maior a biomassa do indivíduo acima do solo, maior foi sua não aditividade (Figura 1).

As duas metodologias analisadas apresentaram estatísticas semelhantes de R^2_{adj} e RMSE, o que Reed e Green (1985) já haviam observado em seu trabalho, alegando ser um efeito direto da flexibilidade dos estimadores para atender à exigência da aditividade dos componentes. Apesar disso, a pequena diferença gerada entre os dois sistemas foi suficiente para afetar as previsões, uma vez que as estimativas da biomassa total e dos componentes obtidos de forma independente ou pelo sistema de equações diferiram entre si, conforme apresenta a Tabela 5, contrariando o resultado encontrado por Behling *et al.* (2018) trabalhando com a espécie *Acacia mearnsii*, onde não houve diferença entre as duas metodologias, evidenciando que a heterogeneidade das florestas naturais afeta o comportamento dos estimadores.

A heteroscedasticidade dos resíduos foi presente nos modelos ajustados para o compartimento copa. A fim de modelar a estrutura da variação dos resíduos e eliminar a heteroscedasticidade, o uso da função ponderada para cada componente se mostrou eficaz (Tabela 3 e Tabela 4). Behling *et al.* (2018) afirmam que essa função estabiliza os distúrbios de variância, permitindo ao estimador ponderado gerar equações com variação mínima e intervalos de confiança mais estreitos. Para os autores, os resultados encontrados com o uso da função ponderada destacam a importância de realizar a modelagem da estrutura de erros com o objetivo de garantir estimativas confiáveis tanto dos componentes quanto para a biomassa total.

As estatísticas de ajuste relacionadas ao sistema de equações não apresentaram mudanças consideráveis quando comparadas ao ajuste independente (Tabela 2 e Tabela 4). Isso denota que o método NSUR não possui característica de melhorar as estatísticas dos ajustes quando comparado ao método dos MQO, com a exceção dos intervalos de confiança do ajuste, onde o NSUR aparenta ser mais eficiente, além da aditividade, proporcionando ao método consistência biológica (SANQUETTA *et al.*, 2015; BEHLING *et al.*, 2018).

O método de ajuste simultâneo mostrou proporcionar estimativas mais consistentes de biomassa para os componentes e total, além de menores limites de confiança e previsão, resultados encontrados por Cunia e Briggs (1984), Parresol (1999) e Carvalho e Parresol (2003); e mais recentemente por Sanquetta *et al.* (2015) e Behling *et al.* (2018). O resultado encontrado implica que o estimador é mais eficiente, o que apresenta importante implicação na área florestal, especialmente nos inventários de biomassa e de planos de manejo, por ser menores os intervalos de confiança e melhores os intervalos preditos pelos modelos.

O procedimento de ajuste simultâneo se mostrou eficiente na obtenção de um sistema de equações aditivo (Figura 1) por considerar a interdependência dos componentes e admitir as relações alométricas existentes entre eles, além de impor restrições aos coeficientes, garantindo a aditividade das equações. Desse modo, segundo Cunia e Briggs (1984) e Parresol (1999), o cálculo do total de biomassa acima do solo é determinado por três fatores: uso das mesmas variáveis independentes para a estimativa de cada componente, uso das melhores funções de regressão de cada componente e, por último, submeter que a soma das regressões para os componentes separadamente sejam igual à biomassa total.

A inconsistência biológica em termos absolutos, ao nível de árvore, foi maior nas árvores com maior biomassa (Figura 1). Tal fato pode ser explicado pela correlação existente entre os componentes da árvore em espécies mais

velhas e de maior biomassa serem menores, evidenciando que a alocação da biomassa depende de fatores externos à planta (BEHLING *et al.*, 2018). Os autores ainda afirmam que a inconsistência biológica em árvores mais velhas se dá pela consequência do crescimento biológico das plantas, uma vez que a alocação da biomassa dos componentes em função da idade é alterada, em especial no que se refere ao componente copa, justificando o comportamento observado no presente estudo.

5 CONCLUSÃO

As estimativas por ajuste simultâneo, método WNSUR, apresentam melhores propriedades estatísticas para equações de biomassa dos componentes e total acima do solo, para o bioma Cerrado, quando comparado com o ajuste independente, método mínimos quadrados não lineares.

A incompatibilidade da não aditividade entre biomassa dos componentes e total apresentou uma relação direta com a biomassa do indivíduo, pois quanto maior a biomassa do indivíduo acima do solo, maior sua não aditividade para modelos ajustados independentes.

Os parâmetros estatísticos analisados não diferiram significativamente entre as duas metodologias. Os modelos ajustados de forma independente apresentaram inconsistência biológica, o que sugere que a modelagem para a biomassa total e dos componentes deve ser estimada por meio de sistemas de equações.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANTÓNIO, N. *et al.* Effect of tree, stand, and site variables on the allometry of Eucalyptus globulus tree biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 37, n. 5, p. 895-906, 2007.
- BEHLING, A. *et al.* Critical analyses when modeling tree biomass to ensure additivity of its components. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, p. 1759-1774, 2018.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Climatic Classification of Köppen-Geiger For the State of Goiás and Federal District. *Acta Geográfica*, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
- CARVALHO, J. P.; PARRESOL, B. R. Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management*, v. 179, n. 1-3, p. 269-276, 2003.
- CHIYENDA, S. S.; KOZAK, A. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 14, p. 441-446, 1984.
- CUNIA, T.; BRIGGS, R. D. Forcing additivity of biomass tables - some empirical results. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 14, p. 376-384, 1984.
- GENET, A. *et al.* Ontogeny partly explains the apparent heterogeneity of published biomass equations for *Fagus sylvatica* in central Europe. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 7, p. 1188-1202, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Coordenação Geral de Observação da Terra. **DETER - Alertas de desmatamento no Cerrado Brasileiro**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cerrado>. Acesso em: 05 nov. 2019.

KOZAK, A. Methods of ensuring additivity of biomass components by regression analyses. **Forest Chronicle**, v. 46, n. 5, p. 402-406, 1970.

MIGUEL, E. P. *et al.* Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829-839, 2015.

PARRESOL, B. R. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. **Forest Science**, v. 45, n. 4, p. 573-593, 1999.

PARRESOL, B. R. Additivity of nonlinear biomass equations. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 5, p. 865-878, 2001.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Edição Autores, 1997. 316p.

PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. **Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction**. [s. l.] Rome and Montpellier: Food and Agricultural Organization of the United Nations and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 2012.

REED, D. D.; GREEN, E. J. A method of forcing additivity of biomass tables when using nonlinear models. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 15, n. 6, p. 1184-1187, 1985.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora v. 2**. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876p.

SANO, E. E. *et al.* Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 40, n. 103, p. 361-370, 2014.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Simultaneous estimation as alternative to independent modeling of tree biomass. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 8, p. 1099-1112, 2015.

SATOO, T.; MADGWICK, H. A. **Forest Biomass**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1982. 151p.

SANTOS, H. G.; *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de Solo**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

WHITE, H. A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. **Econometrica**, v. 48, n. 4, p. 817-838, 1980.