

Alometria e biomassa em uma Savana Parque do Brasil

Biomass and allometric relations in a Brazilian Savanna-Park

Fábio Venturoli¹ e Carlos Roberto Sanquetta²**RESUMO**

Nesta pesquisa buscou-se quantificar a biomassa para uma Savana Parque, *sensu* IBGE. Esta tipologia vegetal representa 7% da vegetação do bioma Cerrado. Foram estudadas dez unidades amostrais de 100 m², mensurando-se variáveis dendrométricas e pesando-se a vegetação arbórea. Foram ajustados modelos de regressão linear para a biomassa em função das variáveis mensuradas. Pela distribuição diamétrica, a comunidade foi considerada autorregenerante, com riqueza florística de 26 espécies (18 famílias botânicas) e 980 árvores.ha⁻¹. A altura média do dossel atingiu 6,1 m e a área basal, 6,33 m².ha⁻¹. Ajustou-se uma equação para biomassa e outra para volume, com os melhores estimadores lineares não tendenciosos (MELNT), pelos mínimos quadrados generalizados. A biomassa arbustiva-arbórea foi estimada em 24,43 Mg.ha⁻¹, estando concentrada em galhos (37%), fustes (34%), folhas (18%) e cascas (11%). Os resultados corroboram o Cerrado como um grande reservatório de biomassa do planeta e ampliam o nível de confiança das estimativas brasileiras de biomassa no bioma, contribuindo com os projetos relacionados à compensação de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas Globais; Floresta; Análise de Vegetação

ABSTRACT

In the present research we sought to quantify the above-ground biomass stock for a Savanna Park. This vegetation type represents 7% of the vegetation biome. Ten 10 m x 10 m sample units were studied, where the bio-physical variables were measured and the vegetation was weighed in arboreal strata. Linear regression models were adjusted, quantifying the relationship of dependence between the biomass and biophysical variables. The community was considered self-regenerating by the diametric distribution, with floristic richness of 26 species in 18 botanical families and 980 trees.ha⁻¹. The mean height of the trees was 6.1 m and the basal area was 6.33 m².ha⁻¹. The allometric models allowed adjusting one equation for the biomass and one equation for the volume, with the best non-biased linear estimators (MELNT). The total biomass was estimated at 24.43 Mg.ha⁻¹: 68% in the trees (branch: 37%, stem 34%, leaves 18% and bark 11%). These results corroborate the Cerrado as a large carbon reservoir of the planet and increase the confidence level of Brazilian biomass estimates in the biome, contributing to projects related to the offsetting of greenhouse gas emissions in Brazil.

Keywords: Linear regression; Global Climate Change; Forest; Vegetation.

INTRODUÇÃO

O Cerrado estende-se por uma área superior a 2 milhões de km², na porção central do Brasil (IBGE, 2012) e possui um estoque significativo de carbono estocado na biomassa e na matéria orgânica do solo (FAO, 2015). A grande extensão territorial, a alta biodiversidade e a heterogeneidade edáfico-mineral garantem ao bioma um papel importante na economia, na conservação de recursos naturais e na segurança alimentar.

Na perspectiva da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, os países membros comprometem-se a elaborar seus inventários de emissões de CO₂ de acordo com os métodos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima/IPCC (IPCC, 2006). Neste sentido, são importantes as ações científicas que busquem aumentar o conhecimento sobre a fixação de carbono

1. Escola de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás - UFG. Goiânia, GO, Brasil.

2. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, PR, Brasil.

*Autor correspondente: fabioventuroli@gmail.com

na biomassa, visando contribuir com o relatório brasileiro de emissões de CO₂ devido às mudanças no uso da terra e florestas, exigindo o desenvolvimento de equações alométricas fidedignas.

A Savana Parque em estudo é classificada pelo IBGE como Sps(b), um subgrupo de vegetação constituído essencialmente por um estrato graminoide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural ou antropizada, entre-meado por nanofanerófitos isolados. Ocorre em áreas encharcadas de depressões periodicamente inundadas (IBGE, 2012). Denomina-se também Parque Cerrado, caracterizado pela cobertura arbórea entre 5% e 20%, que, nos murundus pode variar entre 50% a 70%, chegando a 0% nas depressões. As árvores atingem em média 6 m de altura (RIBEIRO; WALTER, 2008).

O Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) estima que esta classe de vegetação (Sps) ocupa 7,58% da superfície do bioma Cerrado, correspondendo a 9.377.994 hectares (SANO et al., 2010). Esta ampla ocupação espacial no Cerrado dá notoriedade aos estudos de estimativas de volume e biomassa estocada nesta tipologia florestal. Complementarmente, o objetivo desta pesquisa foi também estudar o volume e a biomassa por compartimento e componente da vegetação e entender as relações alométricas existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido em 68 hectares de Savana Parque (IBGE, 2012), no município de Nova Crixás, Goiás, Brasil (UTM 22L: 527865 E; 8384780 S). O sítio está a 259 m de altitude em relação ao nível médio do mar. O clima local, de acordo com a classificação de Köppen & Geiger, é Aw, tropical com estação seca de inverno. A precipitação pluviométrica é de aproximadamente 1.600 mm anuais, com uma estação seca que vai de maio a setembro. A temperatura média anual varia entre 22,20°C e 26,70°C (Normais Climatológicas do INMET: 1961-1990). O solo local foi classificado como Gleissolo Háplico Tb distrófico (IBGE, 2001)

A riqueza florística na amostra foi de 26 espécies (18 famílias botânicas). A diversidade de Shannon foi de 2,83 nats.ind.⁻¹, com equabilidade J de Pielou igual a 0,87. Cinco espécies representaram 71,72% do IVI: *Byrsonima umbellata* Mart. (26,21%); *Cordia glabrata* (Mart.) A. DC. (22,49%); *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth. (9,11%); *Buchenavia tomentosa* Eichl. (8,28%); e *Annona coriacea* Mart. (5,61%).

A densidade arbórea (DAP ≥ 5 cm) foi de 980 árvores.ha⁻¹ [± 158,32 árvores.ha⁻¹ (EP)]. A área basal foi estimada em 6,33 m².ha⁻¹ [± 1,25 m².ha⁻¹ (EP)] e o volume 30,63 m³.ha⁻¹ [± 8,49 m³.ha⁻¹ (EP)]. A altura média das árvores foi de 6,11 m [± 0,34 m (EP)] e a cobertura de copas foi estimada em 1.789 m².ha⁻¹ [± 613,52 m².ha⁻¹ (EP)], representando 17% de cobertura de dossel. A distribuição diamétrica apontou muitos indivíduos nas menores classes de DAP e as alturas foram normalmente distribuídas.

Amostragem e variáveis dendrométricas

A vegetação foi caracterizada pela mensuração das suas variáveis dendrométricas, seguindo a metodologia do Inventário Florestal Nacional do Brasil/IFN-BR (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2014), quantificando-se a biomassa em dez unidades amostrais de 100 m², aleatoriamente alocadas na área. A biomassa foi quantificada no estrato arbóreo-arbustivo (indivíduos lenhosos com DAP ≥ 5 cm). A biomassa do componente arbóreo-arbustivo foi calculada pela derrubada, cubagem e pesagem completa dos indivíduos abatidos.

As medições do estrato arbóreo-arbustivo compreenderam a altura total, o diâmetro da base (Db); D_{0,30'}; DAP; e o diâmetro da copa. Os diâmetros foram medidos com suta e as alturas com clinômetro eletrônico. A cubagem rigorosa foi feita por *Smalian* com seções de 1,0 metro de comprimento, separando-se a biomassa verde dos seguintes compartimentos: fuste, casca, galhos e folhas. A amostra de madeira enviada ao laboratório foi composta por discos com espessura de dois centímetros tirados na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura total de cada árvore.

Relações alométricas

Foram testados 19 modelos indicados na literatura para o ajuste de equações de volume e biomassa arbóreas (SANQUETTA et al., 2014). As equações geradas foram analisadas em relação às distribuições gráficas dos resíduos, aos coeficientes de determinação ajustados, aos erros-padrão

(%), e à significância dos coeficientes de regressão parcial (DRAPPER; SMITH, 1981; GUJARATI; PORTER, 2011; ZAR, 2010).

Buscou-se por uma equação que permitisse estimar a função de regressão populacional (FPR) para uma Savana Parque de uma forma mais confiável, com os melhores estimadores lineares não viesados (MELNT) (GUJARATI; PORTER, 2011). Quando pertinente foi utilizado o fator de correção de Meyer (FM), para a discrepância de modelos logarítmicos na base *e*. $FM = (e^{0,5 \cdot S_{xy}^2})$ (SANQUETTA et al., 2014).

Os seguintes modelos foram testados:

$$1. V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H \text{ [Spurr]}$$

$$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln H \text{ [Schumacher – Hall]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 \cdot H + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 H \text{ [Stoate]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 \text{ [Kopecky – Gehrhardt]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 \text{ [Hohenadl – Krenn]}$$

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP \text{ [Husch]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAP \cdot H^2 + \beta_4 H^2 \text{ [Näslund]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP \cdot H^2 + \beta_3 H^2 \text{ [Näslund 2]}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP \cdot H + \beta_4 DAP^2 \cdot H + \beta_5 H \text{ [Meyer]}$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 H$$

$$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP \cdot DbM$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 \cdot DbM$$

$$PS = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H \cdot DbM$$

$$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP \cdot DbM)$$

$$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(H)$$

$$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(H) + \beta_3 \ln(DbM)$$

Variáveis cujos coeficientes angulares não se diferiam estatisticamente de zero: $\beta = 0$ (*t-Student*; $p < 0,05$) foram eliminadas por método *Backward*.

Sabendo-se que um bom ajuste de um modelo não garante o sucesso preditivo de uma equação, utilizou-se a técnica *bootstrap* para validar as equações selecionadas, como recomendado por Good e Hardin (2012). Com este procedimento foram realizadas 9.999 reamostragens dos dados originais, com repetição e para amostras de mesmo tamanho, sendo calculados os limites dos intervalos de confiança, a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoque de biomassa

A biomassa no estrato arbóreo-arbustivo desta Savana Parque foi estimada em 24,43 Mg.ha⁻¹ (EP = 4,14 Mg.ha⁻¹). Entre as unidades amostrais o erro padrão (EP) da estimativa da biomassa foi de 13,47%. A biomassa do estrato arbóreo esteve compartimentalizada principalmente em galhos (37,28%) [9,11 Mg.ha⁻¹ (EP = 1,57 Mg.ha⁻¹)] e fustes (34,28%) [8,37 Mg.ha⁻¹ (EP = 1,66 Mg.ha⁻¹)], seguido pelas folhas (17,62%) [4,30 Mg.ha⁻¹ (EP = 1,02 Mg.ha⁻¹)] e cascas (10,81%) [2,64 Mg.ha⁻¹ (EP = 0,43 Mg.ha⁻¹)].

Equações alométricas

A análise dos parâmetros das equações indicou as melhores como sendo as equações provenientes do ajuste dos modelos 7.2 (Naslünd 2) para as estimativas de volume e 19 para as estimativas de biomassa (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes relacionados ao ajuste dos modelos para as estimativas de volume e biomassa na Savana Parque.

Table 1. Parameters and coefficients related to model adjustment for volume and biomass estimates in Savanna Park.

Modelo	β_0	β_1	B_2	B_3	R ² aj.	Syx (%)
Volume (Naslünd 2)	-0,00372	8,54E-05	6,29E-05	---	0,78	46,75
Biomassa (19)	-3,7814	1,4155	0,9104	2,9039	0,65	51,12

A densidade básica da madeira (DbM) não promoveu melhorias significativas nas equações ajustadas. Entretanto, os valores de densidade básica da madeira variaram muito pouco entre as árvores amostradas: de 0,433 g.cm³ a 0,600 g.cm³, com média de 0,497 g.cm³.

Considerando as duas melhores equações ajustadas (7.2 para o volume e 19 para a biomassa), optou-se pelo método dos mínimos quadrados generalizados (GLM), uma vez que dá mais peso às observações agrupadas em torno da sua média do que àquelas que estão dispersas, melhorando consideravelmente a dispersão residual (Figura 1).



Figura 1. Dispersão gráfica de resíduos (%) para os modelos ajustados pelo método dos mínimos quadrados generalizados (GLM): volume: 7.2 - Naslünd 2; e biomassa: 19

Figure 1. Errors dispersion (%) for adjusted models by the generalized least squares (GLM): volume: 7.2 - Naslünd 2; biomass: 19

O ajuste dos modelos pelo método dos mínimos quadrados generalizados (GLM) permitiu estimar as funções de regressão populacional (FPR) com os melhores estimadores lineares não viesados (MELNT), conforme as Equações 1 e 2, com os seus respectivos parâmetros de ajuste. Equação 1: [R²aj = 0,88; Syx = 44,55%; $\sigma_i = 0,029898$] e Equação 2: [R²aj = 0,96; Syx = 51,23%; $\sigma_i = 0,792698$].

$$\text{Vol} / \sigma_i = -0,00372 * (1 / \sigma_i) + 8,54E - 05 * (\text{DAP}^2 / \sigma_i) + 6,29E - 05 * [(\text{DAP} \cdot \text{H}^2) / \sigma_i]$$

Equação 1

$$\text{Ln}(\text{P.S.}) / \sigma_i = -20,4654 * \text{Ln}(1 / \sigma_i) + 1,36418 * \text{Ln}(\text{DAP}) / \sigma_i + 0,9345 * \text{Ln}(\text{H}) / \sigma_i - 2,941 * \text{Ln}(\text{DbM}) / \sigma_i$$

Equação 2

Considerando que são poucas as estimativas de biomassa para esta fitofisionomia do Cerrado, assim como inexistem equações alométricas para esta tipologia vegetal, os resultados apresentados são considerados importantes no contexto dos inventários de emissões de gases de efeito estufa, suportando

com confiança políticas públicas de conservação e manejo florestal no Cerrado, especialmente as políticas relacionadas à redução de emissões por desmatamento e degradação florestal.

O erro padrão da estimativa da biomassa (13,4%) foi suficiente para considerar a amostragem representativa da população. De uma maneira geral, devido à diversidade florística associada à heterogeneidade ambiental, em florestas nativas tropicais aceita-se um erro padrão de até 15% na amostragem (KENT, 2012).

A maior concentração de biomassa arbórea foi encontrada nos galhos e refletiu a estrutura da vegetação. Na Savana Parque as árvores são de pequeno porte e com muitas ramificações. Isso está relacionado à ocupação do solo pelas árvores e à competição por luz entre elas. Este tipo de ambiente, A Sava Parque, com a ocupação por espécies arbóreas ocorrendo agrupadas proporciona arquitetura de copas variadas, o que resulta em volume e biomassa de fuste, galhos e folhas diferentes para árvores com os mesmos diâmetros e alturas.

O padrão de alocação de biomassa da Savana Parque pode ser comparado aos estudos de Abdala (1998) e Ribeiro (2011) no Cerrado *stricto sensu* (s.s.). A maior parte da biomassa acima do solo está alocada nas árvores: 68% no Parque Cerrado contra 65% no Cerrado s.s. (Abdala) e 85% no Cerrado s.s. (Ribeiro). A serapilheira responde por 15% no Parque e por 13% no Cerrado s.s. (Abdala) e 8,5% no Cerrado s.s. (Ribeiro); e a vegetação rasteira acumula 13% no Parque enquanto no Cerrado variou de 21% (Abdala) a 6,3% (Ribeiro). Porém, em números absolutos, a biomassa acima do solo da Savana Parque foi maior do que a encontrada no Cerrado s.s. estudado por Abdala (1998) (26.020 kg.ha⁻¹) e menor que a contabilizada por Ribeiro (2011) (62.965 kg.ha⁻¹).

Há uma semelhança na repartição da biomassa entre os compartimentos da vegetação, mas com valores absolutos diferentes. Essa diferença ocorre devido à baixa ocupação do solo na Savana Parque em relação ao cerrado *stricto sensu*. Na Savana Parque a cobertura do dossel e taxa de ocupação do solo é contínua somente onde há murundus, enquanto que no Cerrado sentido restrito a ocupação do solo por vegetação é uniforme, o que leva a maiores valores de biomassa, especialmente na camada rasteira em relação à Savana Parque.

Mediante a indicação de uma equação confiável para as estimativas de biomassa na Savana Parque e conhecendo-se a compartimentalização desta biomassa dentro das árvores: nos fustes, nos galhos, nas cascas e nas folhas, ponderou-se razoável realizar uma estimativa abrangente para a área ocupada por esta fitofisionomia no bioma Cerrado. Pode-se estimar que a Savana Parque estoca 332.449.887,30 Mg de biomassa e estima-se em 149.602.449,28 Mg o carbono estocado. Utilizou-se 0,45 como fator de conversão de biomassa em carbono, encontrado em estudos florestais e referenciado por Fiorentin et al. (2015).

CONCLUSÕES

Esta importante fitofisionomia do Cerrado, A Savana Parque, apesar de apresentar baixa densidade arbórea e com árvores de pequeno porte, estoca uma quantidade significativa de biomassa e carbono, o que a dispõe como singular em programas de conservação da natureza no Brasil. Complementarmente, as relações alométricas descritas possibilitam o uso de variáveis dendrométricas de fácil mensuração no campo, como DAP e altura em estimativas de biomassa.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, G.; CALDAS, L.S.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above e belowground organic matter and root:shoot ratio in a Cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.
- DRAPPER, N. R.; SMITH, H. Applied Regression Analysis. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- FIorentin, L. D.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A. Quantificação e modelagem da biomassa e carbono da regeneração natural em área de floresta ombrófila mista. **Revista Brasileira de Biometria**, v.33, n. 2, p. 251-267, 2015.
- GOOD, P. I. HARDIN, J. W. Common errors in statistics (and how to avoid them) 4 ed. Wiley, 2012. 329 p.
- GUJARATI, D.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 eds. Rio de Janeiro: 2012, 271 p. (Manuais técnicos em geociências, 1)

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de solos do Brasil**. IBGE, 2001. Escala 1:5.000.000.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use. 2006. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> >. Acesso em: 30 jan. 2018.

KENT, M. **Vegetation description and data analysis**: a practical approach. London: John Wiley & Sons, 2012. 414 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Eds.). **Cerrado ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. v.1, p. 89-168

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P.B.; JACOVINE, L. A. G. KLEINN, C.; GASPAR, R. O. Above and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 491 – 499, 2011.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal – bioma cerrado**: ano base 2002. Brasília: MMA/SFB, 2010. 96 p.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários Florestais**: planejamento e execução. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2014. 406 p.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Manual de Campo**: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. Brasília: SFB, 2014.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5 Ed. Londres: Prentice-Hall, 2010. 944 p.

Recebido em: 14/03/2018

Aceito em: 25/03/2019