MODELO DE ESTIMATIVA DE VOLUME E CARBONO POR HECTARE PARA FRAGMENTOS DE CERRADO *SENSU STRICTO* EM MINAS GERAIS

Ximena Mendes de Oliveira¹, Rafaella Carvalho Mayrinck¹, Gabriela Cristina Costa Silva¹, Antonio Carlos Ferraz Filho², José Marcio de Mello²

1 Mestranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras
(ximena_mendes@hotmail.com) Lavras-Brasil

2 Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras

Recebido em: 08/04/2016 – Aprovado em: 30/05/2016 – Publicado em: 20/06/2016
DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_069

RESUMO

O cerrado se destaca pela sua biodiversidade, com elevado número de espécies endêmicas, tanto de fauna como de flora, o que dificulta a realização de estimativas que visam obter informações para o manejo sustentado das espécies. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre a variável altura dominante pelo conceito de Hart e Assmann (média da altura das 100 árvores mais altas e das 100 árvores mais grossas por hectare, respectivamente) com outras variáveis dendrométricas. Objetivou-se também ajustar um modelo de volume e um de carbono para o cerrado *sensu stricto*, considerando a altura dominante e a área basal como variáveis independentes. Os dados utilizados foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais. Foi verificada a correlação entre as alturas dominantes pelos conceitos de Hart e Assmann com as variáveis altura total, diâmetro a 1,30 m do solo, volume, área basal, carbono, diâmetro médio quadrático e o número de árvores por hectare. Os modelos foram ajustados e avaliados pelo erro médio e pelo erro médio absoluto (EMA). Além disso, foram gerados intervalos de confiança a fim de comparar resultados obtidos por métodos tradicionais de inventários florestais e os modelos propostos neste estudo. As alturas dominantes pelos conceitos de Hart e Assmann apresentaram boa correlação com as variáveis estudadas, destacando o volume e carbono, que são as variáveis dependentes. Os modelos foram eficientes para estimar o volume e o carbono do cerrado *sensu stricto*.

PALAVRAS-CHAVE: altura dominante, floresta nativa, Inventário Florestal de Minas Gerais.

VOLUME AND CARBON MODELING FOR CERRADO *SENSU STRICTO* OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

Cerrado is extraordinary because of its biodiversity, with high number of endemic species, for both fauna and flora, which makes it difficult for modeling and developing management strategies. Thus, this study aims to verify correlation between dominant height by Hart's and Assmann's definitions (mean height of 100 tallest and thickest trees per hectare, respectively) and stand attributes, and then fit a model to estimate

volume and carbon for cerrado *sensu stricto* vegetation, considering dominant height and basal area as independent variables. Data was obtained from Minas Gerais Inventory. There was correlation between dominant height by Hart and Assmann definitions and the following stand attributes: total height, diameter at breast height, volume, basal area, carbon, mean quadratic diameter and number of trees per hectare. Models were fitted and then evaluated by mean error and mean absolute error. Confidence intervals were built in order to compare estimates from tradicional forest inventory methods and the models proposed in this study. Dominant height by Hart's and Assmann's definitions presented high correlation with stand attributes, with good correlation with the stand attributes volume and carbon. The models were adequate to estimate volume and carbon for cerrado *sensu stricto*.

KEYWORDS: dominant height, native forest, Forest Inventory of Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

Considerada a savana tropical mais biodiversificada do mundo, o cerrado se destaca pela heterogeneidade de habitats com elevado número de espécies endêmicas, tanto de fauna como de flora, sendo um dos *hotspots* mais ameaçados do planeta (OLIVEIRA et al., 2015; GUARNIZO et al., 2016). A exploração do cerrado ganhou forças por volta de 1960, devido ao incentivo fiscal que a expansão agrícola e pecuária receberam (GOMIDE et al., 2012). Entretanto, com a conscientização da população sobre as questões ambientais, o manejo sustentado de áreas nativas é preferido, em detrimento de práticas exploratórias abusivas.

Para formações vegetais nativas como o cerrado, é difícil fazer estimativas de crescimento e produção, informação importante no manejo sustentado da espécie, pois trata-se de uma miscelânea de várias espécies, com diferentes padrões de crescimento e alocação de matéria (REZENDE et al., 2016).

Com isso, é fundamental que se promovam o desenvolvimento de ferramentas capazes de auxiliar as tomadas de decisão no manejo sustentável das fisionomias nativas, principalmente do cerrado. A modelagem é uma das ferramentas fundamentais para a otimização de planos de manejo. Assim, é importante que esses modelos apresentem compatibilidade entre a variável dependente e as variáveis independentes, pois a não existência de relação entre estas geram estimativas falsas (MORAIS et al., 2014).

Entre as variáveis independentes utilizadas nas equações volumétricas, pode-se citar a altura dominante. Diferentes abordagens são apresentadas para obter esta variável. Entre estas estão os conceitos de Hart e Assmann, considerando a média das alturas das cem árvores mais altas e das cem árvores mais grossas por hectare, respectivamente. Segundo CAMPOS & LEITE (2013), esta variável pode ser eficiente na estimativa do volume quando associada a outras variáveis correlacionadas a esta, promovendo estimativas mais precisas para o volume da floresta.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre a variável altura dominante pelo conceito de Hart e Assmann com outras variáveis dendrométricas e ajustar um modelo de volume e um modelo de carbono para o cerrado *sensu stricto*, considerando a altura dominante e a área basal como variáveis independentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados usados nesse estudo são provenientes de 47 fragmentos, avaliados no Inventário Florestal de Minas Gerais em áreas de cerrado *sensu stricto*. Os fragmentos amostrados estão predominantemente concentrados do centro para o norte do estado, onde há maior incidência desta fitofisionomia, conforme Figura 1. O procedimento de amostragem utilizado foi a Amostragem em Dois Estágios, em que o 1º estágio refere-se aos fragmentos e o 2º estágio ao grupo de parcelas lançadas em cada um desses locais (SCOLFORO et al., 2008a).

Para o ajuste de equações de volume e de carbono, a cubagem rigorosa foi realizada por conjunto de Sub-Bacias Hidrográficas. As árvores cubadas em cada conjunto de Sub-Bacias Hidrográficas foram distribuídas por classes de diâmetro e altura. Assim, os fragmentos amostrados foram submetidos às equações correspondentes à sub-bacia onde estão alocados.

FIGURA 1 – Distribuição dos fragmentos amostrados para cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais. Fonte: SCOLFORO et al. (2008b).

Processamento dos dados

A primeira etapa do processamento foi efetuada no Excel ®. Os dados de diâmetro a 1,30 metros do solo (dap) foram obtidos após fundir as informações de dap das árvores que apresentavam mais de um fuste. A altura total em metros (ht) dessas árvores foi correspondente à altura do fuste mais alto.

As informações médias por parcela de área basal em m²/ha (G) e diâmetro médio quadrático em cm (dg) foram calculadas a partir dos dados de dap. Para obter o volume em m³/ha (V) e o carbono em t/ha (C) os dados foram discriminados de acordo com a Sub-Bacia pertencente e em seguida, as equações contidas no estudo de RUFINI et al. (2010) foram utilizadas para estimar o volume e carbono para cada árvore da parcela em função do dap e altura total. A informação de volume e carbono foi somada para cada parcela e extrapolada para hectare (método tradicional).

As alturas dominantes das parcelas foram obtidas a partir dos conceitos de Hart e de Assmann. A fim de verificar a correlação entre variáveis da amostra com as alturas dominantes obtidas com base nos dois conceitos supracitados, foi gerada uma matriz de correlação e gráficos de dispersão.

Aplicação dos modelos de volume e carbono

Devido à existência de correlação entre a altura dominante com o volume e o carbono no cerrado *sensu stricto*, os modelos descritos abaixo foram usados para estimar volume e carbono por unidade de área (método proposto), respectivamente. O ajuste foi realizado no *software* R (R CORE TEAM, 2015).

$$\text{Ln}(V) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(G) + \beta_2 * \left(\frac{1}{hd}\right) + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\text{Ln}(C) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(G) + \beta_2 * \left(\frac{1}{hd}\right) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Avaliação do ajuste

Os modelos foram avaliados pelo erro médio e pelo erro médio absoluto (EMA), conforme as equações abaixo, onde N é o número de parcelas estudadas, A_i é o volume ou o carbono observado da parcela i e $\hat{A}_i$ é o volume ou carbono estimado para a parcela i pelas equações (1) e (2).

$$\text{Erro absoluto} = \sum_{i=1}^N \frac{(A_i - \hat{A}_i)}{N} \quad (3)$$

$$\text{EMA} = \sum_{i=1}^N \frac{|A_i - \hat{A}_i|}{N} \quad (4)$$

Foram gerados intervalos de confiança considerando a amplitude do erro padrão da média em relação à média do volume e do carbono estimados pelos dois métodos em cada fragmento. Os métodos foram considerados semelhantes quando tiveram os intervalos sobrepostos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de correlação da altura dominante

A correlação linear de Pearson entre os dados de altura dominante baseados no conceito de Hart (hd-ht) e no conceito de Assmann (hd-dap) com as variáveis altura total (ht), diâmetro a 1,30 m do solo (dap), área basal (G), diâmetro médio quadrático (dg), número de árvores (N), volume (V) e carbono (C) estão representados na Tabela 1.

TABELA 1 - Correlação linear de Pearson entre altura dominante e variáveis dendrométricas do cerrado *sensu stricto*.

	Média de ht (m)	Média de dap (cm)	G (m ² /ha)	Dg (cm)	N (árv/ha)	V (m ³ /ha)	C (t/ha)
hd-ht	0.91	0.25	0.51	0.28	0.31	0.75	0.77
hd-dap	0.90	0.29	0.48	0.33	0.26	0.70	0.72

Os dados de altura dominante obtida pelos dois conceitos apresentaram correlações próximas em relação às variáveis dendrométricas dos fragmentos. De forma similar aos resultados obtidos neste estudo, FISHWICK (1975), comparando conceitos de altura dominante em florestas Nacionais de Três Barras-SC, Capão Bonito-SP e Irati-PR concluiu não haver diferença significativa entre os métodos e orienta que o conceito de ASSMANN deve ser preferido aos demais, devido à praticidade. Diversos são os trabalhos que usaram o conceito de altura dominante de Assmann (FINGER et al. 2000; MIRANDA et al. 2014; GUEDES et al., 2015), diante disso, o prosseguimento desse trabalho foi desenvolvido segundo este conceito.

A Figura 2 representa as correlações destacadas em negrito na Tabela 1, referentes à altura dominante pelo conceito de Assmann. Observa-se que a altura total média tem forte correlação com a altura dominante. O dap, dg e G apresentaram correlação positiva com a altura dominante, no entanto, essa correlação não é tão forte devido à variação das espécies do cerrado *sensu stricto* que apresentam diferentes padrões de estrutura na alocação de matéria e na composição do fuste. Com relação ao volume e carbono, a correlação é também positiva, devido ao fato de que quanto maior a altura, maior será o volume bem como o conteúdo de carbono.

FIGURA 2 – Relação entre altura dominante e algumas variáveis dendrométricas do cerrado *sensu stricto*.

Ajuste dos modelos para estimar volume e carbono por hectare

Os coeficientes dos ajustes foram significativos e estão representados na Tabela 3. Os modelos apresentaram padrão normal e homocedasticidade dos resíduos (Figura 3). De acordo com PICARDI et al. (2012), em muitos casos os modelos que estimam biomassa podem apresentar heterogeneidade de variância ao longo da distribuição da variável dependente, havendo diferentes técnicas para correção.

TABELA 3 – Resumo do ajuste dos modelos para estimar volume e carbono para fragmentos de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais.

Modelo de volume			
Coeficientes	Valor estimado	Erro padrão	Valor p
β_1	2,20907	0,06281	0***
β_2	0,77809	0,01705	0***
β_3	-10,23400	0,22531	0***
Modelo de carbono			
Coeficientes	Valor estimado	Erro padrão	Valor p
β_1	1,21765	0,07295	0***
β_2	0,73401	0,01980	0***
β_3	-10,89042	0,26168	0***

FIGURA 3 - Gráfico de probabilidade normal dos resíduos de volumes (A); diagrama de dispersão entre o Ln dos resíduos e o Ln dos valores de volume estimados (B); gráfico de probabilidade normal dos resíduos de carbono (C); diagrama de dispersão entre o Ln dos resíduos e o Ln dos valores de carbono estimados (D).

Avaliação e aplicação dos modelos

Os modelos foram avaliados pelas estatísticas de erro médio e de erro médio absoluto resultando respectivamente em 0,7686 m³/ha e 3,0253 m³/ha para o modelo de volume e 0,2675 t/ha e 1,0468 t/ha para o modelo de carbono. GORGOSO-VARELA & ROJO-ALBORECA (2014) recomendam cautela no uso do erro médio, devido a que erros positivos e negativos se cancelam, sendo a estatística do erro médio absoluto mais confiável.

A Figura 4 mostra intervalos de confiança gerados pelo método tradicional de inventário florestal, em função do dap e ht e pelo modelo proposto nesse trabalho, em função de G e hd para as variáveis volume e carbono dos 47 fragmentos de cerrado *sensu stricto* estudados. Foram observadas diferenças em sete fragmentos, tanto em relação ao volume como em relação ao carbono, ou seja, 85,1% dos fragmentos não apresentaram diferença entre os valores estimados pelo método tradicional em relação aos dois modelos por unidade de área.

FIGURA 4 – Intervalo de confiança do volume (A) e carbono (B) estimados pelo modelo tradicional com modelo de RUFINI et al. (2010) e pelo método proposto nesse trabalho para vegetação de cerrado *sensu stricto* de 47 fragmentos em Minas Gerais.

Dessa forma, é possível perceber que os modelos utilizados para estimativa de volume e de carbono por unidade de área, podem ser eficientes, por englobarem variáveis de fácil obtenção, uma vez que, a área basal pode ser mensurada pelo método de Bitterlich, fazendo com que os custos e o tempo de realização do

inventário florestal sejam reduzidos (DE SOUZA et al. 2014), além de ser de fácil operacionalização e gerar poucos erros de demarcação (DE FREITAS et al. 2012).

Assim como a altura dominante, que pode ser obtida por meio de imagens de satélite, diminuindo também os custos, uma vez que as imagens são obtidas gratuitamente. O uso de imagem apresenta grande potencial para estimar variáveis da vegetação, conforme observado em diferentes estudos (ALMEIDA et al., 2014; LIMA JÚNIOR et al., 2014; GÜNLÜ et al., 2014), possibilitando resultados eficientes e de baixo custo.

CONCLUSÃO

O uso do método proposto, que englobam as variáveis área basal e altura dominante para estimar volume e carbono por unidade de área, foi semelhante ao método tradicional que estima volume e carbono por árvore e posteriormente por parcela. No entanto, o método proposto é mais econômico do que o método tradicional, tornando-se mais atrativo para o empreendedor realizar de forma correta o inventário florestal na área a ser manejada ou desmatada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. Q.; MELLO A. A.; DÓRIA NETO, A. L.; FERRAZ R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.4, p.306-315, abr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400009>>. doi: 10.1590/S0100-204X2014000400009.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 605 p.

DE FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M. S. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. **Floresta e Ambiente**. vol.19 no.4 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.054>>. doi: 10.4322/floram.2012.054.

DE SOUZA, R. F.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem da biomassa total e da lenha por unidade de área para bracatingais nativos. **Árvore**, v.38, n.1, p.53-62, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000100005>>. doi: 10.1590/S0100-67622014000100005.

FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P.; SCHNEIDER, P. R.; COELHO, L. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra (*Acacia mearnsi* Wild). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 387-391, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782000000300002>>. doi: 10.1590/0103-84782000000300002.

FISHWICK, R. W. Uso do percentual de espaçamento relativo de Hart Backing para o controle dos desbastes. **Prodepef - IBDF**, 1975. 7 p.

GOMIDE, L. R.; ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, S. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T.; CALEGÁRIO, N.; FERRAZ FILHO, A. C. Sustainable forest management of native vegetation remnants in Brazil. In: MARTIN-

GARCIA, J.; DIEZ, J. J. (Ed.). **Sustainable forest management: case studies**. Rijeka: Intech, p. 77-96, 2012.

GORGOSO-VARELA, J. J.; ROJO-ALBORECA, A. Short Communication . A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson ' s S B functions to pedunculate oak (*Quercus robur*) and birch (*Betula pubescens*) stands in northwest Spain. **Forest systems**, v. 23, n. 3, p. 500–505, 2014. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014233-04939>>. doi: 10.5424/fs/2014233-04939.

GUARNIZO, C. E.; WERNECK, F. P.; GIUGLIANO, L. G.; SANTOS, M. G.; ENKER, J.; SOUSA, L.; D'ANGIOLELLA, A. B.; DOS SANTOS, A. R.; STRÜSSMANN, R.; RODRIGUES, M.; DORADO-RODRIGUES, . F.; GAMBLE, C. L. Cryptic lineages and diversification of an endemic anole lizard (Squamata, Dactyloidae) of the Cerrado hotspot. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 94, p. 279-289, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2015.09.005>>. doi:10.1016/j.ympev.2015.09.005.

GUEDES, I. C. DE L.; MELLO, J. DE M.; SILVEIRA, E. M. DE O.; MELLO, C. R. DE R.; REIS A. A. DOS; GOMIDE, L. R. Continuidade espacial de características dendrométricas em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. Avaliada ao longo do tempo. **Cerne**, v. 21, p. 527-534, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041824>>. doi:10.1590/01047760201521041824.

GÜNLÜ, A.; ERCANLI, I.; SÖNMEZ, T.; BASKENT, E. Z. Prediction of Some Stand Parameters using Pan-Sharpened IKONOS Satellite Image. **European Journal of Remote Sensing**. V. 47: 329-342, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5721/EuJRS20144720>>. doi: 10.5721/EuJRS20144720.

LIMA JÚNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V., LIMA, R. L. F. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 289-298, jun. 2014. Disponível em: <<http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap13.pdf>>.

MIRANDA, R. O. V.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOARES, I. D. ; CRUZ, J. P. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus* sp.. **Floresta**, v. 45, p. 117-128, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i1.33664>>. doi:10.5380/rf.v45i1.33664.

MORAIS, V. A.; MELLO, J. M; GOMIDE, L.R.; SCOLFORO, J. R.; ARAÚJO, E. J. G; RUFINI, A. L. Influence of diameter measuring height on the adjustment of volume and biomass equations of cerrado in Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. v.38, n. 3, p.230-239, maio./jun., 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000300002>> doi: 10.1590/S1413-70542014000300002.

OLIVEIRA, C. P.; FRANCELINO, M. R.; CYSNEIROS, V. C.; ANDRADE, F. C.; BOOTH, M. C. Composição florística de um cerrado *sensu stricto* no oeste da Bahia. **Cerne**, v. 21, n.4, p. 545-553, 2015. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041722>>.
10.1590/01047760201521041722

doi:

PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. **Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from Field measurement to prediction.** Montpellier, 215 p. 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>

REZENDE, A. V.; DO VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A., FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 65-76, 2016. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap07.pdf>>.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M. Equações volumétricas para o cerrado *sensu stricto*, em Minas Gerais. **Cerne**. v.16, p. 1-11, 2010. Disponível em: <<http://www.cerne.ufla.br/ojs/index.php/CERNE/article/view/161/134>>

SCOLFORO, J. R. et al. Equações para estimar o volume de madeira das fisionomias, em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.(Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais - Equações de Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono para Diferentes Fisionomias da Flora Nativa.** Lavras: UFLA, 2008a. cap. 2, p.67-101.

SCOLFORO, J. R. et al. Amostragem e caracterização dos fragmentos inventariados. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.(Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado - Florística, Estrutura, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal.** Lavras: UFLA, 2008b. cap. 1, p.1-76.