

Variações alométricas e estabilidade mecânica de *Qualea grandiflora* Mart. em dois fragmentos de cerrado, Itirapina, SP.

R.C. COSTA¹

Resumo – Considerando os modelos de estabilidade mecânica propostos na literatura, realizamos comparações das relações alométricas entre altura e diâmetro do tronco de *Q. grandiflora* em áreas de cerrado com fisionomias aberta e fechada. Procurou-se responder as seguintes questões: 1) As relações alométricas de uma espécie lenhosa variam entre fisionomias de cerrado aberta e fechada? 2) Essas relações alométricas correspondem a algum dos três modelos de estabilidade mecânica? Para isso foram feitas análises de regressão linear do tipo I entre alturas e diâmetros transformados em logaritmos do tronco de *Q. grandiflora* em uma área de cerrado denso (Valério) e cerrado ralo (Estrela) no município de Itirapina, SP. Os resultados foram também comparados aos modelos de estabilidade mecânica (geométrico, similaridade elástica e estresse constante). Os padrões alométricos de *Q. grandiflora* não diferiram entre as áreas e se adequaram ao modelo geométrico. Indivíduos de tamanhos maiores apresentaram uma margem de segurança menor. Os resultados indicam um menor investimento em estabilidade mecânica em *Q. grandiflora*, que pode ser compensado por uma maior estabilidade conferida por raízes profundas, uma característica comum em plantas do cerrado.

Palavras-chave: *Qualea grandiflora*, alometria, cerrado.

Introdução

Plantas devem dedicar uma fração crescente da sua massa total para suporte à medida que atingem maiores tamanhos (Crawley 1997). As árvores resistem à sua própria massa e às forças do vento, adotando um desenho mecânico adequado. Modelos foram desenvolvidos para quantificar o desenho mecânico de árvores, baseados no tamanho, alometria e propriedades da madeira (Sterck & Bongers 1998). Esses modelos descrevem as relações alométricas entre altura (h) e diâmetro de caules (D), considerando vários aspectos relacionados à capacidade de os caules manterem-se de pé. Três modelos são propostos para árvores de gimnospermas e dicotiledôneas: similaridade elástica, similaridade de estresse constante e similaridade geométrica (Niklas 1994).

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, nível Mestrado, UNICAMP. carvalhorafael@yahoo.com

O modelo de similaridade elástica (MacMahon 1973) assume que os troncos são colunas auto-sustentantes que diminuem de diâmetro com a altura. Se as árvores são grossas apenas o suficiente para prevenir o tombamento, então o diâmetro basal do tronco deve ser proporcional a $3/2$ da potência da altura, ou altura proporcional à $2/3$ do diâmetro basal. O modelo de similaridade de estresse assume que um nível de estresse máximo e constante é mantido através de um comprimento L de um ramo ou tronco de uma árvore. Esta suposição requer que o diâmetro (D) seja proporcional ao quadrado da altura (h) para que a árvore se mantenha de pé (Niklas 1994). No modelo de similaridade geométrica, a relação entre altura e diâmetro é considerada constante ao longo da ontogenia; o crescimento é dito isométrico e a inclinação da linha de regressão correspondente é igual a um (Niklas 1994).

Além de testar a adequação de dados empíricos aos modelos teóricos de estabilidade mecânica, relações alométricas podem ser comparadas entre espécies diferentes em um mesmo ambiente (O'Brien et al. 1995, Sterck & Bongers 1998) ou utilizando uma mesma espécie ocorrendo em diferentes habitats (Archibald & Bond 2003). Tais abordagens podem ser úteis na compreensão de respostas de plantas a mudanças de recursos limitantes e a condições de estresse (Sterck & Bongers 1998, Holbrook & Putz 1989) ou da convergência de espécies em guildas (Kohyama & Hotta 1990, Claussen & Maycock 1995, O'Brien et al. 1995).

Neste estudo propõe-se descrever e comparar relações alométricas de uma espécie lenhosa em áreas de cerrado aberto e fechado. Baseando-se nas características dos modelos de estabilidade mecânica propostos na literatura, espera-se que: a) Em área de cerrado com fisionomia aberta, a resistência ao vento seria um fator importante determinando a forma de árvores e seria esperada uma aproximação ao modelo de estabilidade de estresse constante; b) em área com fisionomia fechada, a luz seria limitante, implicando em maior investimento em altura, com árvores se aproximando dos modelos de estabilidade elástica ou até mesmo geométrico. Levando em conta essas expectativas, o presente estudo busca responder às seguintes questões:

- 1) As relações alométricas de uma espécie lenhosa variam entre fisionomias de cerrado aberta e fechada?
- 2) Essas relações alométricas correspondem a algum dos três modelos de estabilidade mecânica?

Material e métodos

Áreas de estudo - O estudo foi realizado no município de Itirapina, SP ($22^{\circ}15' S$ e $47^{\circ}48' W$). A altitude no município varia em torno de 760m. O clima é do tipo Cwa de Köppen, tropical de altitude com inverno seco e verão quente e chuvoso, com precipitação média anual de 1425mm e temperatura média de $19,7^{\circ} C$ (Giannotti 1988). Segundo EMBRAPA (1999), os solos podem ser classificados

como Neossolos Quartzarênicos e Latossolos. A cobertura vegetal varia de fisionomias de cerrado mais abertas (campo limpo), cerrado sentido restrito a florestas estacionais semidecíduas (cerradão) (Giannotti 1988, Miranda-Melo 2004). De acordo com a classificação de Ribeiro & Walter (1998), as fisionomias de cerrado sentido restrito existentes no município variam de cerrado denso a ralo. Para os objetivos deste trabalho, foram amostrados dois fragmentos de cerrado denominados Estrela e Valério. Estrela possui fisionomia de cerrado ralo e Valério de cerrado denso, segundo a classificação de Ribeiro & Walter (1998).

Espécie estudada – *Qualea grandiflora* Mart. foi escolhida para este estudo, considerando a facilidade de identificação no campo de indivíduos de tamanhos menores e em estado vegetativo e a sua abundância nos fragmentos escolhidos. A espécie tem ampla distribuição no Brasil, desde o Amazonas até São Paulo (Lorenzi 1992), em que ocorre em fisionomias de cerrado e cerradão (Durigan et al. 2004).

Coleta de dados – Nos dois fragmentos foram tomadas medidas de indivíduos de *Q. grandiflora* buscando abranger a amplitude de tamanhos, de modo a ter uma distribuição equilibrada do número de indivíduos nos diferentes tamanhos. Os indivíduos considerados como rebrotas ou infestados por lianas não foram utilizados para a tomada de medidas. Para cada indivíduo foram tomadas medidas de diâmetro ou perímetro do tronco no nível do solo e altura. As medidas de altura foram tomadas utilizando trena (indivíduos pequenos) ou clinômetro (indivíduos maiores), medidas de diâmetro no nível do solo foram tomadas através de paquímetro (indivíduos menores) e as medidas de perímetro foram tomadas com trena e posteriormente transformadas em diâmetros.

Análise de dados – As relações alométricas entre altura e diâmetro foram descritas através de regressões lineares de quadrados mínimos ou tipo I das variáveis transformadas em logaritmos na base dez. Essas regressões produzem equações do tipo $Y = a + bX$ e coeficientes de determinação (R^2), os últimos indicando a significância das linhas obtidas. Altura foi considerada como a variável X e diâmetro como variável Y, o parâmetro “a” corresponde ao intercepto em Y e “b” indica a inclinação da linha de regressão. O modelo de regressão linear de quadrados mínimos não é considerado o mais adequado para regressões em que não há independência entre as variáveis e ocorrem variações ao acaso, como é o caso de altura e diâmetro (Niklas 1994). No entanto, o seu uso tem sido justificado pelos altos valores do coeficiente de determinação (R^2), o que torna os resultados semelhantes àqueles obtidos por regressões do tipo II, mais adequadas aos tipos de variáveis utilizadas. As linhas de regressão obtidas para as diferentes fisionomias de cerrado foram comparadas considerando os valores estimados e os intervalos de confiança ($p < 0,05$) dos parâmetros de inclinação e intercepto. Se o valor estimado para um parâmetro em uma área coincide com o intervalo de confiança de outra área e vice-

versa, a diferença do parâmetro em questão não é considerada significativa entre as áreas. Para verificar a adequação das linhas de regressão das áreas com os modelos de estabilidade mecânica, compararam-se os intervalos de confiança obtidos para as inclinações com aquelas previstas pelos modelos: similaridade geométrica ($b = 1$), similaridade elástica ($b = 1,5$) e similaridade de estresse constante ($b = 2,0$). Calculou-se também o diâmetro crítico de tombamento para cada área, dado pela equação $D_{crit} = 0,1 h^{3/2}$ (MacMahon, 1973). As análises de regressão foram feitas utilizando o programa Bioestat versão 2.0.

Resultados

Na área do Valério foram medidos 38 indivíduos e no Estrela, 83. A regressão linear descreveu bem as relações alométricas entre altura e diâmetro do tronco de *Q. grandiflora* nas duas áreas consideradas neste estudo. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) variaram em torno de 85%, valores considerados altos (tabela 1). Não se observaram diferenças significativas entre os interceptos e inclinações das linhas de regressão das duas áreas estudadas (tabela 1, figura 1). Nas duas áreas houve concordância com o modelo de similaridade geométrica (figura 1). Comparando as linhas de regressão entre altura e diâmetro de *Q. grandiflora* nas duas áreas com aquela prevista pelo diâmetro crítico de tombamento, observa-se uma tendência de diminuição da margem de segurança entre as duas linhas quando se consideram alturas maiores (figura 2).

Discussão

Em regiões tropicais, a maioria dos estudos tem demonstrado a importância da limitação do recurso luz na determinação das relações alométricas exibidas por espécies arbóreas em ambientes florestais (Kohyama & Hotta 1990, Claussen & Maycock 1995, O'Brien et al. 1995, Sterck & Bongers 1998, Yamada et al. 2000, Sposito & Santos 2001). Prevenção a condições de estresse causado pelo vento também podem condicionar estratégias em termos de relações alométricas, conferindo uma maior estabilidade à planta (Holbrook & Putz 1989).

A hipótese de que espécies de árvores do cerrado apresentariam diferentes padrões alométricos condicionados pelo estresse causado pelo vento em fitofisionomia aberta e pela limitação de luz em fitofisionomia fechada não foi confirmada para *Q. grandiflora*. A concordância com o modelo de similaridade geométrica e a aproximação ao limite de tombamento em maiores tamanhos indicam um baixo investimento em estabilidade mecânica do tronco em árvores dessa espécie. Comparado aos outros modelos de estabilidade mecânica (similaridade elástica e estresse constante), o modelo geométrico prevê os menores aumentos em diâmetro relativos à altura. Apesar disso, o tombamento

devido à instabilidade mecânica pode não ser um fator de mortalidade intenso atuando sobre espécies arbóreas do cerrado. Hay & Barreto (1988) avaliaram as taxas e causas de mortalidade de *Vochysia thyrsoidea* num cerrado protegido do fogo durante quatro anos e encontraram que 67 % dos indivíduos amostrados morreram de pé e apenas 15 % tombaram devido ao vento.

Considerando esses fatos, surge uma questão: se a tendência de pouco investimento em estabilidade mecânica do tronco for comum a outras espécies do cerrado, deve existir algum fator que confira estabilidade a essas plantas que não a forma do tronco. Um aspecto pouco abordado e desconsiderado nos modelos de estabilidade mecânica propostos na literatura é o papel do sistema radicular na estabilidade da planta como um todo. A maioria das plantas permanentes do cerrado possuem sistemas radiculares profundos, sendo comuns sistemas que alcançam de 5 a 10 metros de profundidade, e esse grande investimento de biomassa em raízes é relacionado à obtenção de água em camadas profundas do solo (Ferri 1976). É possível que, além da vantagem na obtenção de água, raízes profundas também contribuam para um aumento de estabilidade mecânica em espécies arbóreas do cerrado. Por conta disso, pode-se supor que a ausência de diferenças nos padrões alométricos entre altura e diâmetro do tronco encontrada em *Q. grandiflora* entre fisionomia aberta e fechada refletiria uma menor importância da forma do tronco em conferir estabilidade diante de variações ambientais, tendo o sistema radicular grande importância na estabilização do corpo da planta.

Referências bibliográficas

- Archibald, S. & Bond, W.J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karoo* in forest, savanna and arid environments. *Oikos* 102: 3-14.
- Claussem, J.W. & Maycock, C.R. 1995. Stem allometry in a north Queensland tropical rain forest. *Biotropica* 27: 421-426.
- Crawley, M. J. 1997. Life history and environment. In Crawley, M.J. (ed.) *Plant ecology*. Blackwell Science, Oxford.
- Durigan, G., Baitelo, J.B., Franco, G.A.D.C. 2004. *Plantas do cerrado paulista*. Páginas e letras editora e gráfica, São Paulo.
- EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA, Brasília, DF.
- Ferri, M.G. 1976. Ecologia do cerrado. In Ferri, M.G. (org.) *IV simposio sobre o cerrado – bases para utilização agropecuária*. Editora Itatiaia, São Paulo.
- Giannotti, E. 1988. Composição florística e fitossociológica de mata ciliar da Estação Experimental de Itirapina (SP). Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Hay, J.D. & Barreto, E.J.M. 1988. Natural mortality of *Vochysia thyrsoidea* in a unburnt cerrado ecosystem near Brasilia. *Biotropica* 20(4): 274-279.
- Holbrook, N.M. & Putz, F.E. 1989. Influence of neighbours on tree form: effects of lateral shade and prevention of sway on the allometry of *Liquidambar styraciflua* (Sweet Gum). *American Journal of Botany* 76(12):1740-1749.
- Kohyama, T. & Hotta, M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Functional Ecology* 4: 515-521.
- Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Editora Plantarum, São Paulo.
- MacMahon, T.A. 1973. Size and shape in biology. *Science* 179: 1201-1204.
- Miranda-Melo, A.A. 2004. Estrutura espacial de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. e *Roupala montana* Aubl. em quatro fragmentos de cerrado. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Niklas, K.J. 1994. Plant allometry: the scaling of form and process. The University of Chicago Press. Chicago.
- O'Brien, S.T., Hubbell, S.P., Spiro, P., Condit, P. & Foster, R.B. 1995. Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In S.M. Sano, S.P. Almeida. Eds. Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina.
- Sposito, T.C. & Santos, F.A.M. 2001. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *American Journal of Botany* 88: 939-949.
- Sterck, F.J. & Bongers, F. 1998. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 85: 266-272.
- Yamada, T., Yamakura, T. & Lee, H.S. 2000. Architectural and allometric differences among *Scaphium* species are related to microhabitat preference. *Functional Ecology* 14: 731-737

Tabela 1. Parâmetros obtidos nas análises de regressão linear do tipo I entre altura (X) e diâmetro (Y) de *Q. grandiflora* nas áreas do Estrela e Valério, Itirapina, SP.

	Estrela	Valério
Coef. de Determinação (R ²) =	85.83%	85.96%
R ² (ajustado) =	85.66%	85.57%
Intercepto (a) =	0.3652	0.2877
Coef. de Regressão (b) =	1.0949	1.1495
Equação =	Y' = a + bX	Y' = a + bX
IC 95% (a)	0.308 a 0.423	0.173 a 0.403
IC 95% (b)	0.996 a 1.193	0.992 a 1.307

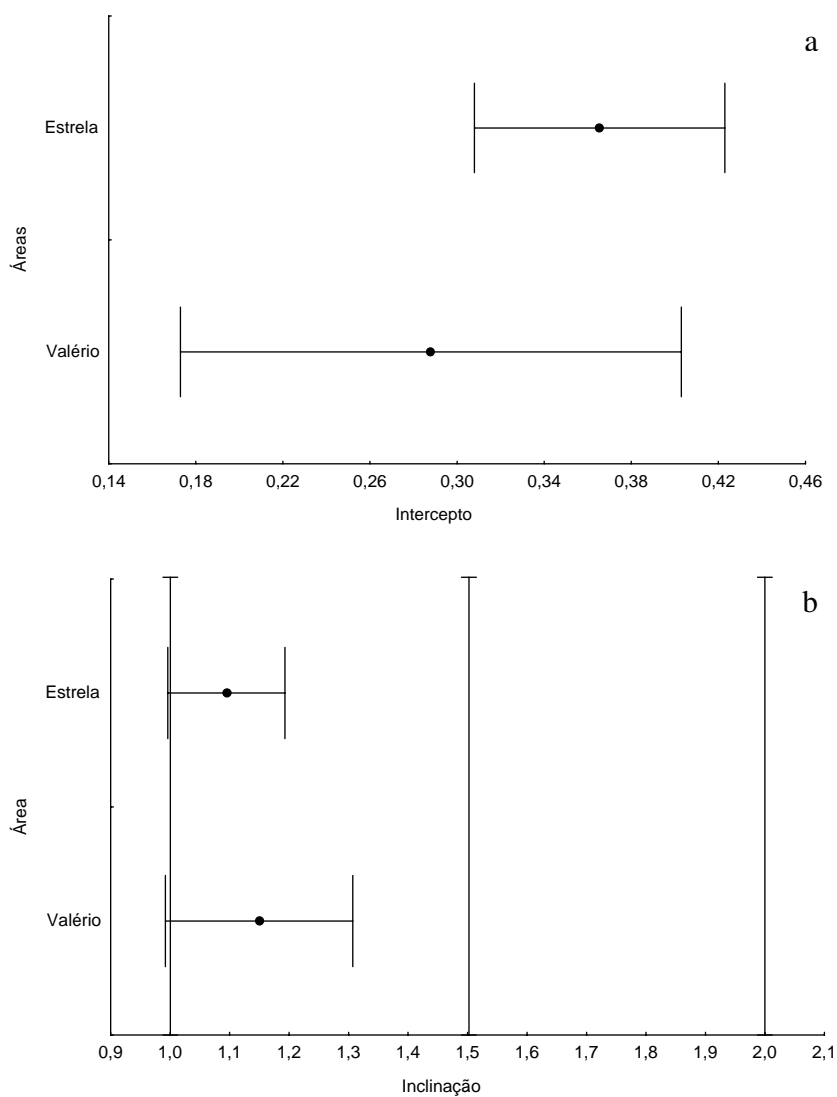


Figura 1. Comparações entre os intervalos de confiança ($p < 0,05$) dos parâmetros das análises de regressão de altura e diâmetro de *Q. grandiflora* entre as áreas do Valério e Estrela, Itirapina, SP. a – Interceptos. b – inclinações. Linhas tracejadas em b indicam inclinações previstas pelos modelos geométrico (1,0), similaridade elástica (1,5) e estresse constante (2,0).

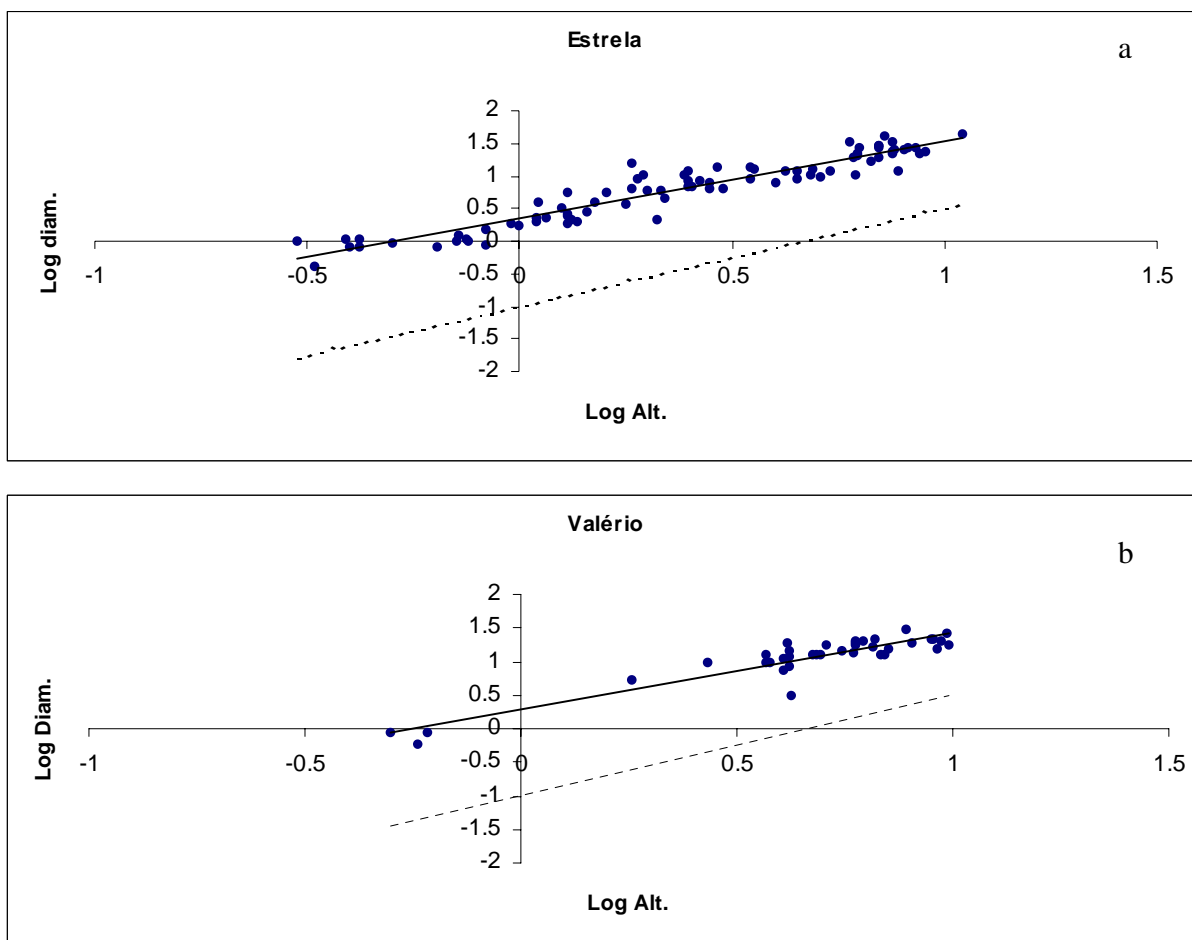


Figura 2. Linhas obtidas pela análise de regressão do tipo I entre altura e diâmetro de *Q. grandiflora* nas áreas do Estrela (a) e Valério (b), Itirapina, SP. As linhas pontilhadas indicam os diâmetros críticos para o tombamento (MacMAhon 1973).