

## Padrões alométricos de espécies arbóreo-arbustivas em diferentes fragmentos de cerrado de Itirapina, SP<sup>1</sup>

CAMILA VIDOTTO<sup>2</sup>, CARLOS DE ARAÚJO<sup>3</sup>, CAROLINE DO AMARAL POLIDO<sup>4</sup> e VINICIUS M. COTARELLI<sup>5</sup>

**RESUMO** - (Padrões alométricos de espécies arbóreo-arbustivas em diferentes fragmentos de cerrado de Itirapina, SP). O bioma Cerrado abrange um amplo espectro contínuo de formações vegetais formando cinco fitofisionomias: cerradão, cerrado *sensu stricto*, campo cerrado, campo sujo e campo limpo. Para lidar com variações ambientais, as espécies do cerrado apresentam adaptações morfológicas e fisiológicas, que podem gerar variações em aspectos populacionais conforme as características do ambiente e das espécies. Assim, estudos de variações alométricas são importantes para a compreensão de aspectos adaptativos das espécies. Nosso objetivo foi investigar as relações alométricas entre altura total e diâmetro à altura do solo (DAS) de árvores e arbustos nas diferentes fitofisionomias do Cerrado de Itirapina. Foi utilizado o método de ponto quadrante para a amostragem. Para análise dos dados utilizou-se a regressão linear do tipo I e II do logaritmo das variáveis. Foram amostrados 1729 árvores e arbustos. Todas as regressões lineares realizadas para o log. da altura e do diâmetro da planta à altura do solo apresentaram proporcionalidade. O coeficiente angular da Estação Ecológica de Itirapina mostrou-se diferente de todos os outros, onde os indivíduos pareceram investir mais em altura do que em diâmetro. Nas áreas mais fechadas, apesar das relações de investimento em altura/diâmetro serem iguais, a área do Pedregulho e Valério possuem uma maior altura que as áreas de *sensu strictu* (Graúna e Estrela), possivelmente pela maior competição por luz.

Palavras-chave: alometria, altura, diâmetro, cerrado, Itirapina

---

<sup>1</sup> Relatório para disciplina Ecologia de Campo II - UNICAMP

<sup>2</sup> PPG Ecologia e Conservação – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

<sup>3</sup> PPG-Ecologia – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

<sup>4</sup> PPG-Biologia Vegetal – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

<sup>5</sup> PPG-Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Londrina (UEL)

### Introdução

O Cerrado ocupa cerca de 2.000.000 km<sup>2</sup> do Brasil, o que corresponde a 23% do território nacional, concentrando-se principalmente no Planalto Central (Ratter *et al.* 1997). Nesse bioma há uma grande diferenciação fisionômica, caracterizada pela ocorrência de um amplo espectro contínuo de formações vegetais (Ribeiro & Walter 1998) e de uma série de fatores incluindo clima, ocorrência de distúrbios (principalmente fogo), níveis de umidade, nutrientes e elementos tóxicos no solo (Oliveira-Filho & Ratter 2002). De acordo com Ribeiro & Walter 1998, o Cerrado pode ser dividido em cinco fitofisionomias: cerrado, cerrado *sensu stricto*, campo cerrado, campo sujo e campo limpo.

Para lidar com as diferenças ambientais das fitofisionomias, as espécies de plantas do cerrado apresentam uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas (Rizzini 1979). Conforme o ambiente onde estejam presentes, essas espécies possuidoras de conjuntos distintos de adaptações podem responder diferencialmente às variações nos fatores citados acima (Hoffman 1996, Gignoux *et al.* 1997).

Neste contexto, o estudo de variações nas relações alométricas são ferramentas importantes. Variações em relações alométricas entre medidas de tamanho podem indicar tanto plasticidade de espécies diante de variações ambientais (Holbrook & Putz 1989) quanto diferenças entre espécies na forma de lidar com tais variações (Niklas 1992 *apud* Costa 2006). Além disso, auxiliam a compreensão de aspectos ecológicos e evolutivos das espécies e a estrutura e dinâmica do ambiente (Sposito & Santos 2001, a,b).

Alometria é uma propriedade física ou fisiológica nas quais partes dos organismos variam com o tamanho, sendo particularmente importante no estudo das histórias de vida (Begon *et al.* 2007). Em plantas, a relação alométrica entre altura e diâmetro é uma das mais estudadas (Niklas 1992 *apud* Costa 2006). Três modelos são utilizados para estabelecer proporcionalidade entre tais relações: similaridade elástica ( $h \propto D^{2/3}$ ), de estresse ( $h \propto D^{1/2}$ ) e geométrica ( $h \propto D$ ) (MacMahon 1973, 1975 *apud* Costa 2006, MacMahon & Kronauer 1976).

Essas relações, além de não seguirem um único modelo, podem variar tanto em nível inter quanto intra-específico, sendo o estudo dessas variações importante no entendimento de questões relacionadas à biomecânica, ecologia e evolução (Niklas *et al.* 2006).

A forma da copa e a disposição das folhas afetam diretamente a captura da luz, transporte de água, suporte mecânico, reprodução, resistência contra o vento, e por fim, a capacidade competitiva das árvores (Alves & Santos 2002). A interceptação de luz é um dos fatores que controlam a assimilação de carbono total e o crescimento das plantas. As diferenças na disponibilidade desse recurso ao longo do gradiente bosque-sub-bosque de uma floresta tropical vão interferir na taxa fotossintética das espécies arbóreas e, conseqüentemente, no seu tamanho (Sterck & Bongers 1998, Thomas 1996, Alves & Santos 2002). Entretanto, a interceptação de luz não é limitante em áreas de savana e a competição por esse recurso não é a pressão seletiva mais importante. Nesses ambientes, existem outras pressões seletivas que afetam o crescimento vertical e lateral. Archibald & Bond (2003) sugeriram que o fogo e a herbivoria influenciam fortemente a forma de crescimento dessas árvores.

Nosso objetivo foi investigar as relações alométricas entre altura e diâmetro à altura do solo (DAS) de árvores e arbustos em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Partimos da hipótese que espécies nas diferentes fisionomias possuem alometria diferenciada devido a fatores impostos pelo ambiente. As espécies pertencentes à fitofisionomias mais abertas, têm coeficientes alométricos maiores, apresentando formas atarracadas. Em áreas de dossel denso, são esperados menores coeficientes alométricos, já que um maior tamanho é essencial na competição por luz.

### Material e métodos

O estudo foi realizado no município de Itirapina (22°15' S e 47°48' W), São Paulo, em cinco fragmentos de Cerrado de fitofisionomias diferentes: cerrado *sensu stricto* (Graúna e Estrela), que apresentavam árvores e arbustos densos e altos e um estrato herbáceo; cerrado denso (Valério), que apresentava árvores e

arbustos, determinando um dossel relativamente fechado; cerradão (Pedregulho), que apresenta dossel mais fechado pela presença de árvores e arbustos e; campo sujo (Estação Ecológica de Itirapina) onde havia árvores e arbustos espaçados, caracterizando uma área mais aberta.

O método de amostragem utilizado foi o de ponto quadrante (Cotam & Curtis 1956). Em cada fragmento foram estabelecidos 10 transectos, distantes aproximadamente 10 metros entre si, e em cada um foram amostrados 10 pontos distantes 10 metros entre si.

Foram incluídos indivíduos com perímetro igual ou maior a 10 cm no nível do solo. Foram medidas a distância de cada indivíduo ao ponto quadrante, o perímetro e estimada a sua altura. No total, foram amostradas 1729 árvores e arbustos, sendo 339 plantas da Graúna, 337 do Valério, 366 do Estrela, 391 do Pedregulho e 296 da Estação Ecológica. Não foram considerados palmeiras (*Atalleia gearensis* e *Syagrus petraea*) por não apresentarem caule.

As relações alométricas entre diâmetro e altura foram analisadas através de regressões lineares. Para linearizar a relação, utilizamos o logaritmo na base 10. Para realizar as regressões foi utilizado o *Software BioEstat* (Ayrez *et al.* 2007). O mesmo programa foi utilizado para verificar a existência de diferenças nas relações para os indivíduos das cinco áreas, através da realização de um teste de comparação de retas. Como foram realizadas comparações múltiplas, duas a duas, o valor de  $p$  para que as diferenças entre os coeficientes fossem considerados significativas ( $\alpha$ ) sofreram a correção Bonferroni (Gotteli & Ellison 2004) e o  $\alpha$  a ser considerado, foi obtido através da divisão de 0,05 ( $\alpha$  padrão) pelo número de testes individuais realizados (quatro). Realizando-se a correção, o  $\alpha$  considerado como significativo passou a ser de 0,0125.

Uma vez que as medidas referem-se a duas variáveis dependentes, e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a regressão do tipo I encontrado mostrou-se muito baixo, tornou-se necessária a correção das retas para uma regressão do tipo II. Para a obtenção do novo coeficiente angular ( $b'$ ), coeficiente angular ( $b$ ) foi dividido pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) (Legendre & Legendre 1998). Com o valor

de  $b'$  e as médias de  $h$  e  $D$  o coeficiente de interseção ( $a'$ ) foi determinado.

### Resultados

Todas as regressões lineares realizadas para o logaritmo da altura e do diâmetro da planta à altura do solo ajustaram-se bem ( $p < 0.0001$ ). Houve diferenças de tamanho em todas as áreas, exceto em Graúna e Estrela que não apresentaram diferenças na altura da vegetação (Figura 1). A altura dos indivíduos do Pedregulho foi a maior encontrada, enquanto na Estação Ecológica (EEI) os valores foram os menores ( $H = 759$ ;  $p < 0.001$ ).

O coeficiente angular ( $b$ ) da regressão realizada para os indivíduos da Estação Ecológica de Itirapina mostrou-se diferente de todas as outras áreas ( $p < 0.0001$ ) e nenhuma outra diferença foi encontrada dentre as áreas restantes (Figura 2), indicando que as espécies da Estação Ecológica têm um crescimento proporcionalmente maior em altura que diâmetro quando comparada as outras áreas.

O coeficiente de interseção ( $a$ ) da Estação Ecológica de Itirapina mostrou-se diferente de todos os outros e, dentre as quatro áreas restantes (Graúna, Estrela, Valério, Pedregulho), foram encontradas diferenças entre todas as áreas exceto na Graúna e Estrela. Isto indica que, para todos os valores de diâmetro, o Pedregulho possui as maiores alturas, seguido pelo Valério, e por fim as áreas do Graúna e Estrela.

### Discussão

O coeficiente angular ( $b$ ) encontrado para as espécies da Estação Ecológica de Itirapina (EEI) indica uma ontogenia diferenciada nessa área. De acordo com os nossos dados as plantas iniciam menores e ao longo do tempo tornam-se mais delgadas. A Estação Ecológica de Itirapina (EEI) pode sofrer, ou ter sofrido, maior pressão pelo fogo uma vez que 94% do combustível dos incêndios em cerrado provém do estrato herbáceo (Miranda *et al.* 2002). Isso pode explicar os resultados encontrados uma vez que, se considerarmos que a duração máxima de temperaturas acima de 60°C é três vezes maior a 60 cm do solo (90 a 200 segundos) que a 1,60m (20 e 70 segundos; Miranda *et al.* 2002), plantas com mais de 1,60 serão menos afetadas do que plantas

mais baixas. Isso pode selecionar formas delgadas uma vez que a altura é um dos fatores que concedem tolerância ao fogo (Miranda *et al.* 2002).

Além disso, é conhecido que a herbivoria pode exercer pressões seletivas na arquitetura das plantas em vegetações savânicas. Archibald & Bond (2003) sugeriram que essa interação selecione indivíduos com maior altura de fuste, o que dificulta a atuação desses animais, geralmente mamíferos. Cerca de 70% dos mamíferos e 50% das espécies folívoras de cerrado ocorrem em formações abertas (Marinho-Filho *et al.* 2002) e árvores altas podem impedir o consumo por estes animais (Archibald & Bond 2003).

Indivíduos que apresentem um mesmo coeficiente angular (b) e diferentes coeficientes de interseção (a), tal como observado entre quatro das cinco áreas analisadas, possuem alturas diferentes para o mesmo diâmetro, e isso pode refletir diferenças na interação com o habitat. Os coeficientes de interseção no Pedregulho são os menores encontrados nas análises, assim, a um mesmo diâmetro, os indivíduos no Pedregulho possuem uma altura maior. Altura é uma característica fundamental em matas, onde o dossel é denso e a luz diminui consideravelmente nos estratos inferiores. Dessa forma, espera-se que um indivíduo de maior altura possua uma maior aptidão, já que, uma maior taxa de fotossíntese deve se refletir em uma maior quantidade de descendentes férteis, fazendo com que nas matas a altura seja selecionada. A mesma argumentação pode ser utilizada para explicar os valores encontrados para o Valério. Mas, como a cobertura vegetal de cerrados densos é menor (Ribeiro & Walter 1998), a incidência de luz é maior. Isso pode diminuir as pressões seletivas e assim explicar o coeficiente ligeiramente maior para o Valério, o que corrobora nossa hipótese de que em áreas abertas as plantas sofrem uma grande competição por luz que leva a um maior tamanho.

Por definição, as áreas de cerrado *sensu stricto* (Graúna e Estrela), possuem cobertura vegetal menor que o Pedregulho e Valério (Ribeiro e Walter 1998), e por isso não apresentam restrições em relação a incidência luminosa, não sendo a luz não um fator limitante para os indivíduos dessas

áreas. Entretanto, outros fatores podem estar relacionados aos resultados. Os coeficientes de interseção encontrados para essas áreas foram os maiores dentre as quatro. Isso pode estar relacionado ao regime de fogo que é uma característica marcante no cerrado savânico. Sabe-se que caules que contenham maiores camadas de súber protegem as plantas da ação das queimadas (Miranda *et al.* 2002), o que em áreas com incidência de fogo freqüente pode ser uma grande vantagem. Uma planta com proteção ao fogo em um ambiente onde esse seja comum tem uma maior aptidão, e essa característica sofre pressão seletiva positiva.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Tamashiro pela identificação das espécies; ao Prof. Flávio pelas sugestões para as análises; ao Prof. Rafael pelas idéias sobre o projeto; aos colegas que ficaram até madrugada analisando os dados; e especialmente ao 'Seu Zé' por ter nos acompanhado com muita alegria às áreas de estudo.

### Referências Bibliográficas

- ALVES, L.F. & SANTOS, F.A M. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18: 245–260.
- ARCHIBALD, S. & BOND, W.J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102: 3–14.
- AYREZ, M., AYRES-JÚNIOR, M., AYRES, D.L. & SANTOS, A. A. S. 2007. BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. 4<sup>th</sup> ed., Sociedade Civil Mamiraua, Belém, PA.
- BEGON, M., TOWSEND, C. & HARPER, J.L. 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. 4<sup>th</sup> ed., Artimed, Porto Alegre, RS.
- COSTA, R.C. 2006. Distribuição espacial e relações alométricas de espécies de Vochysiaceae em fragmentos de cerrado no município de Itirapina, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- COTTAM, G. & CURTIS, J.T. 1956. The use of distant measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37:451-460.

- GOTELLI, N.J. & ELLISON, A.M. 2004. A Primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates Inc: Sunderland, MA, EUA.
- GIGNOUX, J., CLOBERT, J. & MENAUT, J.C. 1997. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia* 110: 576-583.
- HOFFMANN, W.A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of Ecology* 84: 383-393.
- HOLBROOK, N.M. & PUTZ, F.E. 1989. Influence of neighbors on tree form: effects of lateral shade and prevention of sway on the allometry of *Liquidambar styraciflua* (sweet gum). *American Journal of Botany* 76: 1740-1749.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. Numerical Ecology. 2ª English edição.
- MARINHO-FILHO, J., RODRIGUES F.H.G. & JUAREZ, C.M. 2002. The Cerrado mammals: diversity, ecology e natural history. In: OLIVEIRA P.S. & MARQUIS, R. J. Eds. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history off a neotropical savanna. Columbia University Press, New York, USA.
- MCCMAHON, T.A. & KRONAUER, R.E. 1976. Tree structures: deducing the principle of mechanical design. *Journal of Theoretical Biology* 59: 443-466.
- MIRANDA, H.S., MUSTAMANTE, M.M.C. & MIRANDA, A.C. 2002. The fire factor. In: OLIVEIRA P.S. & MARQUIS, R.J. Eds. The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a neotropical savanna. Columbia University Press, New York, USA.
- NIKLAS, K.J., COBB, E.D. & MARLER, T. 2006. A comparison between the record height-to-stem diameter allometries of pachycaulis and leptocaulis species. *Annals of Botany* 97: 79-83.
- OLIVEIRA FILHO, A.T. & RATTER, J.A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis, (eds.). The cerrados of Brazil. Ecology and natural history of a Neotropical savanna. Columbia University Press, New York.
- RATTER, J.A., RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. 1997. The Brazilian Cerrado: vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80: 223-230.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. (Eds). Cerrado: ambiente e flora, EMBRAPA-CPAC, Planaltina.
- RIZZINI, C.T., 1979. Tratado de fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos. II. HUCITEC/EDUSP, São Paulo.
- SPOSITO, T.C. & SANTOS, F.A.M. 2001 a. Architectural patterns of eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *Flora* 196: 215-226.
- SPOSITO, T.C. & SANTOS, F.A.M. 2001 b. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) espécies 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 rainforest trees. *American Journal of Botany* 85: 266-272.
- THOMAS, S. C. 1996. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *American Journal of Botany* 83: 556-566.

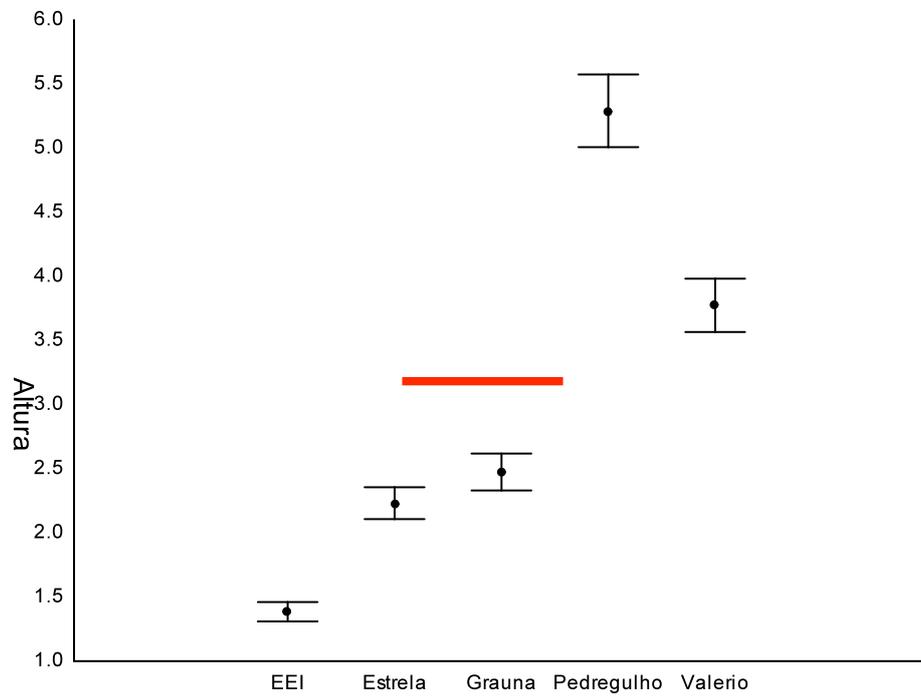


Figura 1. Altura das árvores de cada uma das áreas. Os pontos são as médias e as barras são o intervalo de confiança de 95%. A barra vermelha significa igualdade obtida pelo teste Kruskal-Wallis.

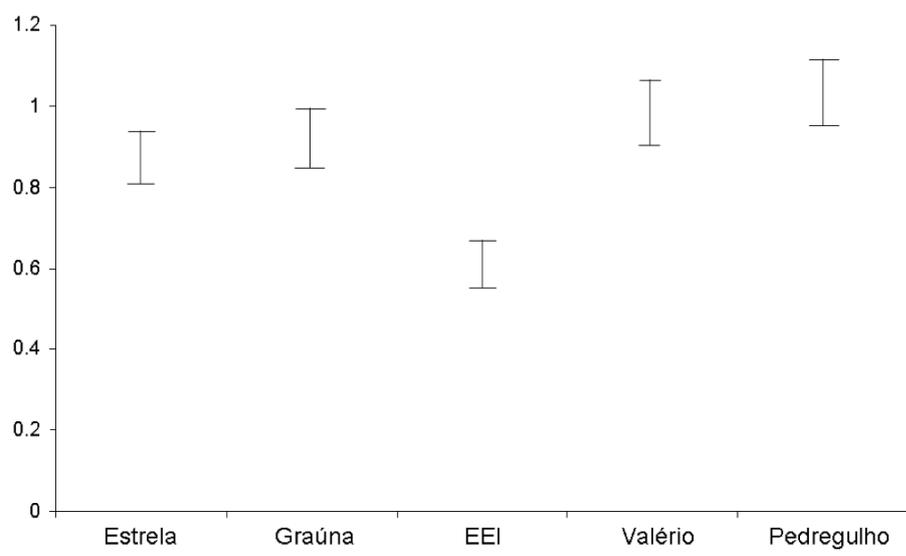


Figura 2. Coeficientes angulares ( $b'$ ) e o intervalo de confiança de 95% para as regressões do tipo II para cada uma das áreas.

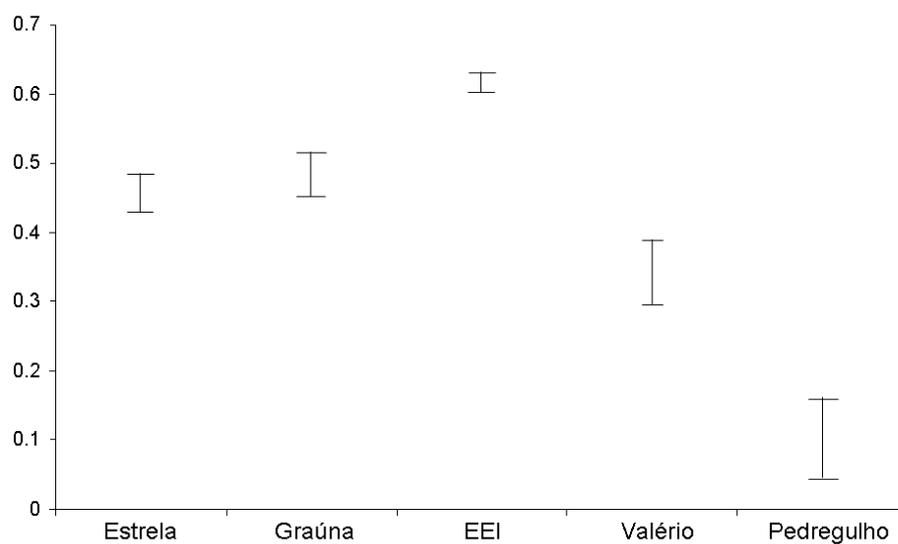


Figura 3. Coeficientes de interseção ( $a'$ ) e o intervalo de confiança de 95% para as regressões do tipo II para cada uma das áreas.

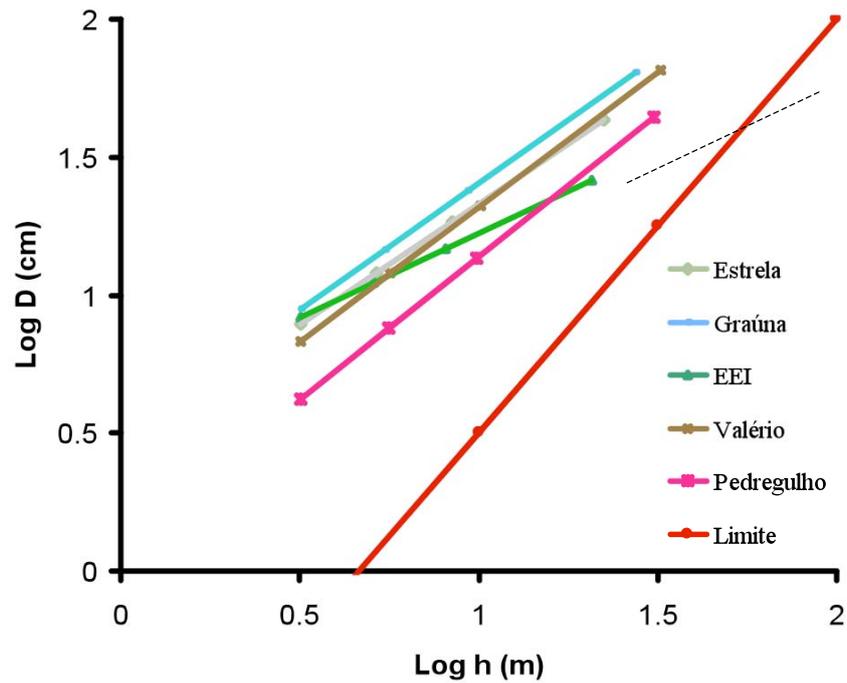


Figura 4. As regressões do tipo II entre os logaritmos do diâmetro e a altura dos indivíduos. Em vermelho o limite estrutural máximo dessa relação dado pela equação  $\log Y = \log (-1 + 3/2X)$ ; (Costa 2006).