



Universidade de Brasília

FACULDADE UNB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**RELAÇÕES ALOMÉTRICAS DE *OURATEA*
HEXASPERMA (A.ST.-HIL) BAILL (OCHNACEAE)**

LUCIANA FERREIRA MOTA

ORIENTADORA: DULCE MARIA SUCENA DA ROCHA

COORIENTADOR: ANTÔNIO LUIZ DE MELO

Planaltina – DF

Novembro 2018



Universidade de Brasília

FACULDADE UNB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**RELAÇÕES ALOMÉTRICAS DE *OURATEA*
HEXASPERMA (A.ST.-HIL) BAILL (OCHNACEAE)**

LUCIANA FERREIRA MOTA

ORIENTADORA: DULCE MARIA SUCENA DA ROCHA

COORIENTADOR: ANTÔNIO LUIZ DE MELO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciada do Curso de Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação de Dulce Maria Sucena da Rocha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha orientadora professora Dulce Maria Sucena da Rocha por toda paciência, dedicação, ensinamento e sua ajuda, que foi imprescindível para o desenvolvimento desta pesquisa;

Ao meu coorientador professor Antônio Luiz de Melo e ao professor Paulo Brito por terem nos ajudado tanto com todo o seu conhecimento matemático e físico;

À Professora Jeane Cristina Gomes Rotta pela orientação durante a disciplina de TCC2;

Ao meu pai Francisco Mota, à minha mãe Aldecina Ferreira e aos meus irmãos Thayane e Thauan por todo apoio durante toda a minha vida;

Ao Bruno Lima por todo apoio e companheirismo;

Ao Breno Barboza por ter me auxiliado nas coletas de dados durante todo o processo de pesquisa e por sua contribuição;

Em especial aos meus amigos Lucas Gonçalves, Renata Carolina, Janini Hott e Pedro Azevedo por terem estado comigo nos momentos tristes e felizes, por todo apoio e ajuda.

Aos meus demais colegas que fiz durante essa caminhada Alan Kozlowski, Joaquim Lopes, Ana Stephany, Poliana Lima, Bruno César, Joel Lopes, Cristiano Leite, Jéssica Borges, Isabela Aguiar e Eduardo Cavalcante;

À Faculdade UnB Planaltina e a todos que tem apreço por mim.

RELAÇÕES ALOMÉTRICAS DE *OURATEA HEXASPERMA* (A.ST.-HIL) BAILL (OCHNACEAE)

RESUMO:

A arquitetura de árvores nativas do Cerrado sentido restrito difere das de florestas por apresentarem troncos e ramos retorcidos e inclinados. Diante da arquitetura exposta, o objetivo deste trabalho foi verificar as relações entre área das seções transversais (do tronco e ramos), a área de superfície (do tronco e ramos) e o volume da espécie *Outatea hexasperma* (A.St.-Hil) Baill (Ochnaceae), árvore típica do Cerrado. Foram selecionados 30 indivíduos, dos quais foram tomadas medidas de perímetro e comprimento de tronco (a 30cm do solo) e ramos (logo acima de cada bifurcação) até o quarto nível de bifurcação, considerando o tronco como o nível 1. Os resultados mostraram a média das somas das áreas das seções transversais e a média das somas das áreas de superfície aumenta linearmente, entretanto a média da soma do volume permanece constante.

Palavras chave: Alometria; arquitetura de árvore.

ABSTRACT:

Cerrado trees are known for their crooked trunk and branches architecture. The objective of this study was to analyze the relation among the transversal section area of trunks and branches, transversal section area (of trunks and branches) and volume of *Outatea hexasperma* (A.St.-Hil) Baill (Ochnaceae), a native specie of Cerrado. We measured the trunk (at 30 cm above ground) and branches (just above the bifurcation point) perimeter and length, until the fourth bifurcation level (considering the trunk being the first) of 30 trees. The results showed that although the mean sum of the transversal section area and mean sum of transversal section area increase linearly the volume remains constant.

Key-words: Allometry; tree architecture.

1. INTRODUÇÃO

Alometria, em um sentido amplo, descreve mudanças relativas na dimensão de partes de um organismo que estão correlacionadas com as mudanças no tamanho total (Gayon, 2000), ou ainda, diferenças de proporções correlacionadas a mudanças de magnitude absoluta do organismo como um todo ou de partes específicas (Gould, 1966).

Na natureza o tamanho de corpo em organismos varia em mais de 21 ordens de magnitude; desde um micróbio (10^{-13} g) a uma baleia-azul (10^8 g). Plantas vasculares variam de 10^{-5} g em *Lemna* (lentilha d'água) a 10^7 g em sequoias, mas uma única sequoia abrange quase toda essa gama de tamanho durante seu desenvolvimento, desde plântula até árvore adulta (West et al. 1999, Brown et al. 2000, Enquist et al 2000, West et al 2000).

Apesar das diferenças de tamanho e forma parecem existir regras gerais restritivas, de tal forma que independentemente do tamanho de um organismo, essas relações permanecem as mesmas para todos os seres vivos (Brown et al 2000).

O tamanho é tão fundamental à diversidade porque influencia quase todas as características estruturais, funcionais e ecológicas dos organismos, desde as taxas de processos dentro das células até a abundância de espécies em comunidades ecológicas (West et al 2000).

À medida que o tamanho de um sistema físico ou biológico muda, as relações de suas partes componentes e processos são ajustados de forma a permitir que as atividades vitais do organismo não sejam comprometidas. Muitos atributos anatômicos e fisiológicos de organismos mudam em relação ao tamanho, de tal forma que eles permanecem auto-similares. Tal fenômeno de auto-similaridade pode ser descrito por funções matemáticas de dimensões fractais ou equações de escala (ou potência). Leis de escala em biologia são conhecidas como equações alométricas (Brown et al 2000).

Essas leis de escala aplicam-se a quantidades tão fundamentais quanto a taxa metabólica (a taxa em que a energia deve ser fornecida para sustentar um organismo), escalas de tempo (como tempo de vida e frequência cardíaca) e os tamanhos e formas das partes componentes (como comprimento da aorta ou altura de uma árvore). Essas relações alométricas parecem ser válidas para quase todas as formas de vida, incluindo mamíferos, aves, répteis, peixes, vários grupos de invertebrados terrestres, de água doce e marinhos, plantas vasculares, algas unicelulares e protistas. Claramente, o caráter universal dessas "leis"

está nos dizendo algo importante sobre a forma como a vida é organizada e sobre as restrições em que evoluiu (West et al 2000).

A hipótese por trás desse modelo é que as taxas biológicas e temporais sejam, em última análise, limitadas pelas taxas com que energia e materiais são distribuídos e utilizados dentro de um organismo. O modelo admite que a rede de distribuição: 1) ramifica de forma a atingir todas as partes de um organismo tridimensional; 2) tem unidades terminais (capilares ou vasos terminais do xilema) que não variam com o tamanho do organismo; 3) minimiza a resistência total e, portanto, a energia requerida na distribuição de recursos. Esse modelo prediz que essa rede terá uma arquitetura fractal (Brown et al. 2000).

Plantas são organismos sésseis, que em sua maioria, apresentam convergência quanto a uma construção organográfica modular envolvendo eixos cilíndricos, cuja função é principalmente suporte mecânico e superfícies planas que interceptam a luz solar (Niklas, 1992). Isto é, a morfologia geral de uma planta é o resultado da repetição de poucos tipos distintos de partes aos quais chamamos de órgãos. No caso de plantas vasculares essas partes são chamadas de raiz, caule (ramos) e folhas (Niklas, 1992). Esse crescimento modular, resulta em uma redundância de órgãos o que confere às plantas um fator de segurança surpreendente contra a perda de partes devido a eventos climáticos, doença ou herbivoria (Niklas, 1992).

Uma das primeiras citações referentes à arquitetura de plantas é atribuída a Leonardo da Vinci que afirmou que: a área da seção transversal de um ramo, em qualquer altura, é igual à soma da área dos ramos do nível superior, ou seja, a soma de todos os ramos de uma árvore em cada estágio da altura é igual em espessura ao ramo abaixo deles, do qual os mesmos derivam (Da Vinci 1888; Niklas, 1992). Essa afirmação está relacionada à relação que Da Vinci tentou fazer com relação ao fluxo de água através de canos e árvores (Niklas, 1992).

O objetivo deste trabalho foi verificar as relações entre área das seções transversais de troncos e ramos, área de superfície (casca de troncos e ramos) e volume em *Ouratea hexasperma* (A.ST.-Hill) Baill, espécie de árvore típica do Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de Cerrado sentido restrito localizado entre a BR 020 e a Faculdade UnB Planaltina (figura 1). O clima dominante desta região, segundo a

classificação de Köppen, é tropical úmido de savana com inverno seco (Aw) sazonal, com chuvas concentradas entre os meses de outubro e abril e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm. Nos meses de junho a agosto atingem média mensal de 50 mm, enquanto o mês de janeiro pode alcançar uma precipitação de 320 mm. Essa região é marcada por temperaturas médias, máximas e mínimas anuais, respectivamente, de 21,5°C, 27°C e 16,5°C (Nimer, 1989).



Figura 1. Imagem de satélite da área total do Distrito Federal e entorno. O recorte em amarelo apresenta a área de estudo.

Para as estimativas alométricas, foram selecionadas 30 plantas lenhosas da espécie *O. hexasperma* (figura 2).



Figura 2. Um dos indivíduos amostrados de *O. hexasperma*.

De cada planta foram tomadas medidas do perímetro do tronco a 30cm do solo – N₁ - e na base de cada ramo observando-se os níveis de bifurcação até o terceiro - N₂, N₃, N₄ - (figura 3). Também foram medidos o comprimento do troco e dos ramos. Para todas as medidas foi utilizada fita métrica.

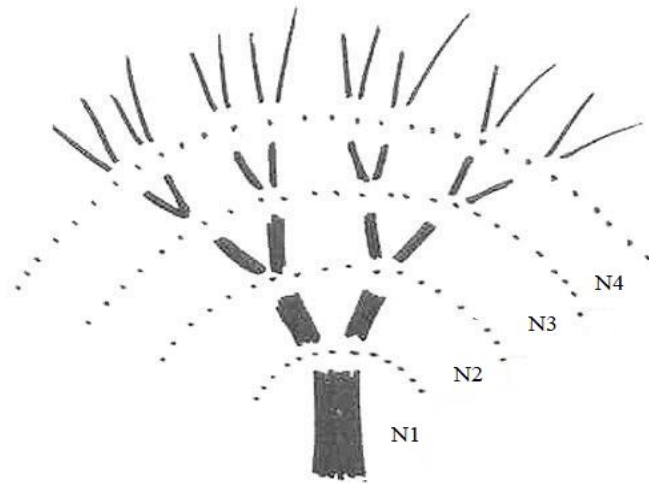


Figura 3. Esquema de uma árvore indicando os níveis de bifurcação apresentados neste estudo (de N₁ até N₄).

As medidas de perímetro e comprimento foram utilizadas para calcular:

- A área da seção transversal do tronco e de cada um dos ramos até o nível 4

empregando a fórmula $A = \frac{P^2}{4\pi}$, onde A é a área e o P é o perímetro.

- A área da superfície do tronco e ramos em cada um dos níveis empregando a fórmula $A_c = 2\pi r.h$, onde A_c é a área da superfície do cilindro, r é o raio da circunferência referente a cada tronco e ramo e h é o comprimento do tronco e/ou ramo.

- O volume do tronco e dos ramos foi calculado pela seguinte fórmula $V = \pi r^2 h$, onde V é o volume, r é o raio e h é o comprimento do tronco/ ramo.

Calculou-se, para cada árvore, para cada nível de ramificação, a média da soma: a) da seção transversal (figura 4), b) da superfície dos troncos/ramos e c) do volume de tronco/ramos. Com os valores obtidos foram realizadas regressões, utilizando o *software* Microsoft Excel para verificar e comparar o comportamento das medidas calculadas.

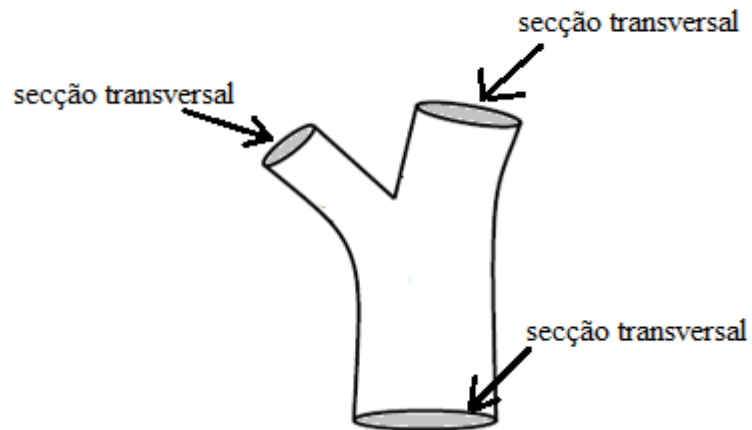


Figura 4. Esquema indicando área da seção transversal.

Para estabelecer uma terminologia de comum, estabelecemos os diversos níveis e módulos de uma árvore segundo o esquema abaixo (figura 5).

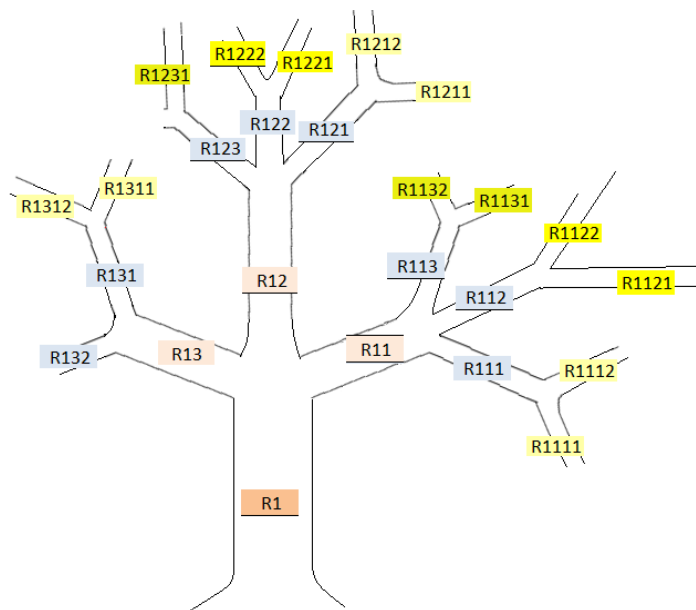


Figura 5. Nomenclatura usada para identificar os níveis das árvores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estudo das árvores

Das 30 plantas estudadas observou-se que 29 dessas (96,7% do total) bifurcam do primeiro para o segundo nível, isto é, têm a forma da figura 6 abaixo:

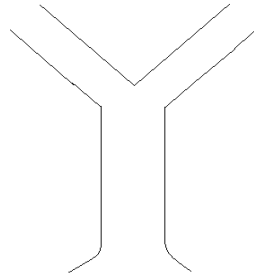


Figura 6. Modelo de bifurcação da árvore do tronco para os dois primeiros galhos.

Do segundo para o terceiro nível observou-se que 25 plantas (83,3% do total) bifurcam, isto é, têm a forma da figura 7 abaixo:

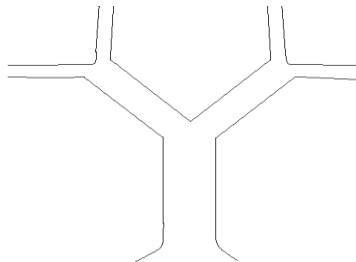


Figura 7. Modelo de bifurcação do tronco para o primeiro e segundo seguimento dos galhos.

Esse padrão de duplicação tende a se repetir em outros níveis de modo que poderíamos afirmar que uma planta padrão seria aquela em que a quantidade de ramos existentes nos próximos níveis segue uma sequência obtida pela duplicação da quantidade de ramos no nível anterior, isto é,

Nível 1 = 1 Ramo = Tronco

Nível 2 = 2 x 1 = 2 Ramos

Nível 3 = 2 x 2 = 4 Ramos

Nível 4 = 2 x 4 = 8 Ramos

Para simplificação de nosso estudo identificaremos cada um dos segmentos de cada nível como sendo um cilindro de raio R e comprimento L . As observações mostram as seguintes características.

(A) os raios das seções transversais de cada ramo diminuem à medida que se aumenta o nível do ramo.

Em termos numéricos isso significa que:

$$\begin{aligned}
 R_1 &> R_i, i = 1, 2, 3 \\
 R_i &> R_{ij}, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3 \\
 &e \\
 R_{ij} &> R_{ijk}, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

Para as 30 amostras, temos a seguinte média dos raios dos ramos por níveis (tabela 1):

Tabela 1 – Médias dos raios dos troncos/ramos por nível.

Nível	Média do raio da seção área (cm)
1	6,19
2	4,90
3	3,70
4	3,14

Por outro lado, em função da quantidade de ramos que aumenta de um nível para outro, a média da soma das seções transversais em cada nível aumenta (tabela 2; figura 8).

Tabela 2 – Médias das somas das áreas das seções transversais por nível.

Nível	Média da soma da área da seção (cm ²)
1	127,31
2	155,96
3	181,75
4	199,35

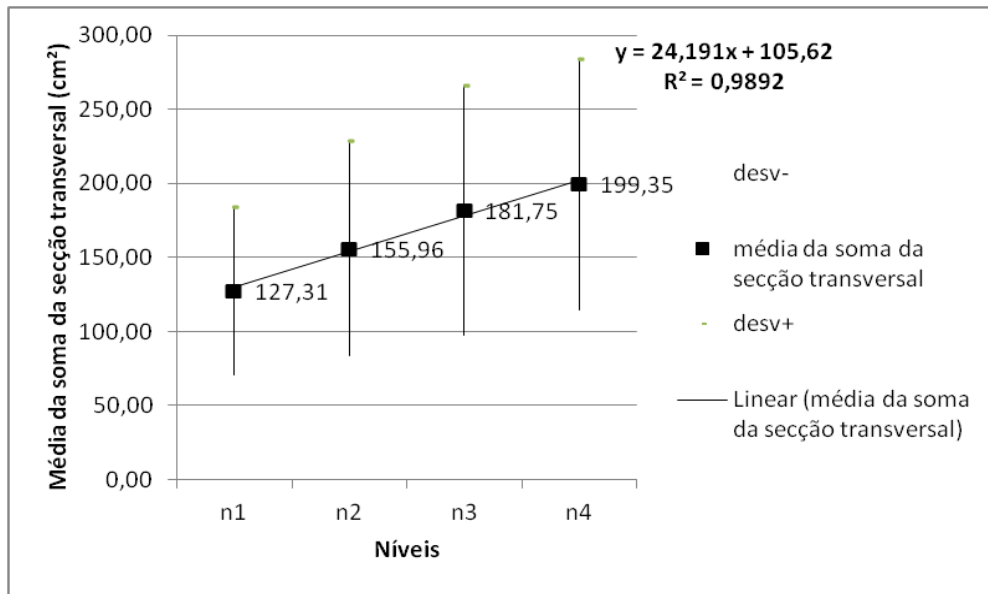


Figura 8. Gráfico apresentando a média da soma da seção transversal em cada um de seus níveis e desvio padrão.

O aumento linear da área das seções transversais, partindo do tronco em direção aos galhos superiores, indica que, em três dimensões, a arquitetura das árvores pode ser representada, de forma simplificada, como um cone invertido e contradiz o que foi sugerido por Leonardo da Vinci (Da Vinci, 1888; Niklas, 1992).

Observando esses dados junto ao aumento da quantidade de ramos de nível para nível, pode-se observar uma tendência que ocorre entre os níveis que enunciaremos da seguinte forma:

(B) A soma das áreas das seções transversais aumenta a cada nível.

Isso significa que

$$A_1 < \sum_{i=1}^3 A_i < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 A_{ij} < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 A_{ijk}$$

Substituindo a expressão da área obtemos então que

$$\pi R_1^2 < \sum_{i=1}^3 \pi (R_i)^2 < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \pi (R_{ij})^2 < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 \pi (R_{ijk})^2$$

Dividindo-se todos os membros por π obtemos que

$$(R_1)^2 < \sum_{i=1}^3 (R_i)^2 < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (R_{ij})^2 < \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 (R_{ijk})^2 \quad (1.2)$$

A média da soma da superfície dos troncos e ramos, por nível, também apresentou uma tendência de crescimento linear (tabela 3 e figura 9).

Tabela 3 – Média das somas das áreas de superfície por nível.

Nível	Média da soma da área de superfície (cm ²)
1	1986,04
2	2081,30
3	3447,50
4	3661,37

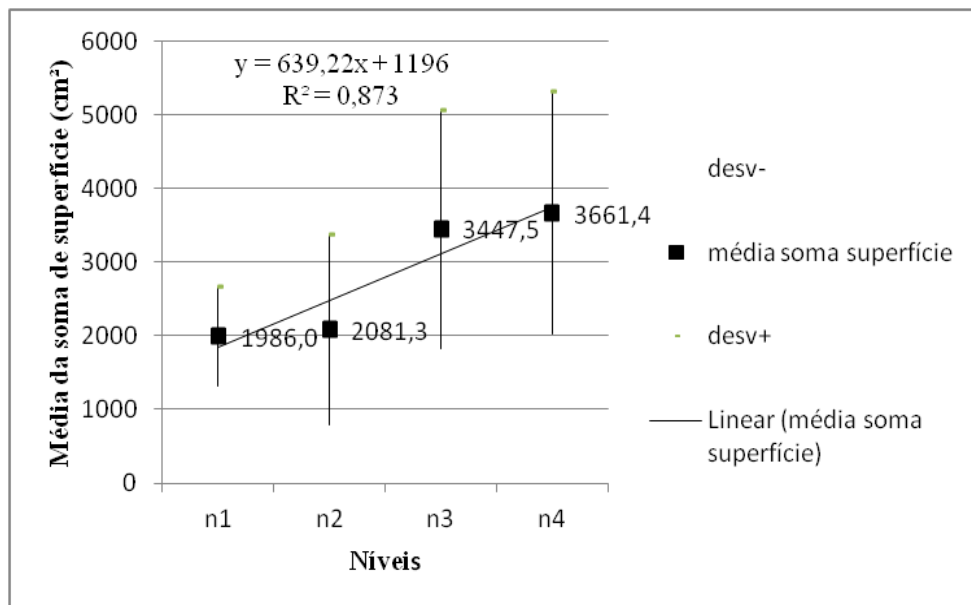


Figura 9. Gráfico apresentando a média da soma de superfície dos ramos em cada um de seus níveis. Barras verticais representam o desvio padrão ao redor da média.

Esse padrão de crescimento linear ao longo dos níveis indica que tal qual a soma das áreas das seções transversais, a soma das áreas de superfície também pode ser interpretada como a superfície do cone definido pelas seções transversais.

Esse mesmo comportamento seria esperado com relação à soma do volume. Entretanto, os dados sugerem que a média da soma de volume por nível oscila permanecendo

constante, praticamente não variando ao longo da planta (tabela 4 e figura 10). Esse comportamento sugere que o volume seria mais bem explicado, tridimensionalmente, pela figura de um cilindro.

Tabela 4 – Média da soma do volume por nível.

Nível	Média da soma do volume (cm³)
1	6225,34
2	5326,51
3	6684,38
4	5934,74

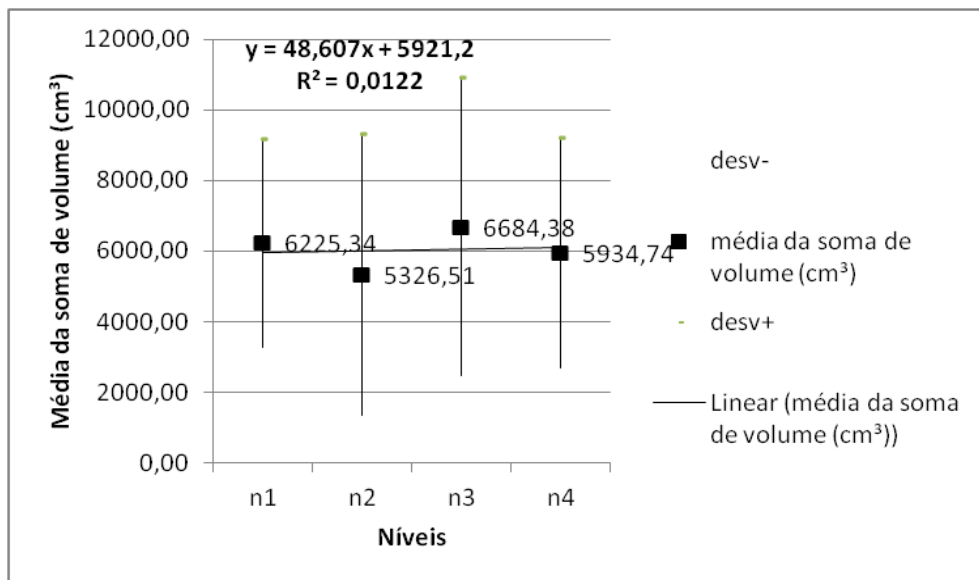


Figura 10. Gráfico apresentando a média da soma de volume em cada um de seus níveis. Barra vertical indica o desvio padrão.

Para que a soma média das áreas das seções transversais e de superfície estejam aumentando ao longo dos níveis da planta e o volume permaneça constante, o comprimento dos ramos deve ser o responsável por “controlar” o volume de cada ramo do nível fazendo com que o volume total se mantenha.

Partindo-se dos dados obtidos para o volume, adotaremos então o seguinte pressuposto $V_1 = V_2 = V_3 = V_4$. Cujas expressões em termos dos raios e comprimento é dada por

$$\pi(R_1)^2 L_1 = \sum_{i=1}^3 \pi(R_i)^2 L_i = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \pi(R_{ij})^2 L_{ij} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 \pi(R_{ijk})^2 L_{ijk}$$

E simplificando o valor de π obtém-se

$$(R_1)^2 L_1 = \sum_{i=1}^3 (R_{1i})^2 L_{1i} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (R_{1ij})^2 L_{1ij} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 (R_{1ijk})^2 L_{1ijk} \quad (1.3)$$

Apesar da aparência caótica, os indivíduos de *O. hexasperma*, podem mostrar, a partir da análise desses dados, um determinado padrão. Observando que de (1.2) e (1.3) pode-se concluir que

$$(R_1)^2 L_1 = (R_{11})^2 L_{11} + (R_{12})^2 L_{12} \quad (*)$$

onde estamos considerando que a planta segue o tipo padrão em que a cada nível ocorre a duplicação de ramos.

Observe que os comprimentos do tronco e do primeiro nível podem satisfazer as seguintes condições:

$$L_1 \leq L_{11} \text{ e } L_1 \leq L_{12} \quad (A1)$$

$$L_1 \geq L_{11} \text{ e } L_1 > L_{12} \quad (A2)$$

$$\text{ou}$$

$$L_1 > L_{11} \text{ e } L_1 \geq L_{12}$$

$$L_1 < L_{11} \text{ e } L_1 \geq L_{12} \quad (A3)$$

$$\text{ou}$$

$$L_1 \geq L_{11} \text{ e } L_1 < L_{12}$$

Afirmamos que o caso (A1) não pode ocorrer, isto é, não é comum encontrar. Porque em virtude de (*) temos que

$$(*) \quad (R_1)^2 L_1 = (R_{11})^2 L_{11} + (R_{12})^2 L_{12}$$

Entretanto, se $L_1 < L_{11}$ e $L_1 < L_{12}$ teríamos que:

$$(R_1)^2 L_1 > (R_{11})^2 L_{11} + (R_{12})^2 L_{12}$$

simplificando L_1 nos dois membros obtemos que

$$(R_1)^2 > (R_{11})^2 + (R_{12})^2$$

mas isso contraria (1.2), e portanto a condição (A1) não pode ocorrer (não é comum encontrar).

O caso (A2) é uma possibilidade razoável, visto que de (*) temos:

$$(R_I)^2 L_1 < (R_{11})^2 L_1 + (R_{12})^2 L_1$$

simplicando L_1 teremos:

$$(R_I)^2 < (R_{11})^2 + (R_{12})^2$$

Que já havíamos obtido na equação (1.2):

$$(R_I)^2 < \sum (R_{i_i})^2$$

Para o caso (A3) temos de (*) que

$$L_1 = \frac{(R_{11})^2}{(R_I)^2} L_{11} + \frac{(R_{12})^2}{(R_I)^2} L_{12}$$

e assim os valores de L_{11} e L_{12} são tais que para que essa igualdade seja satisfeita, se o valor do L_{11} for maior do que L_1 então valor do L_{12} será pequeno suficiente para que o par ordenado (L_{11}, L_{12}) permaneça sobre a reta, e vice-versa, como podemos observar nos gráficos abaixo (figura 11).

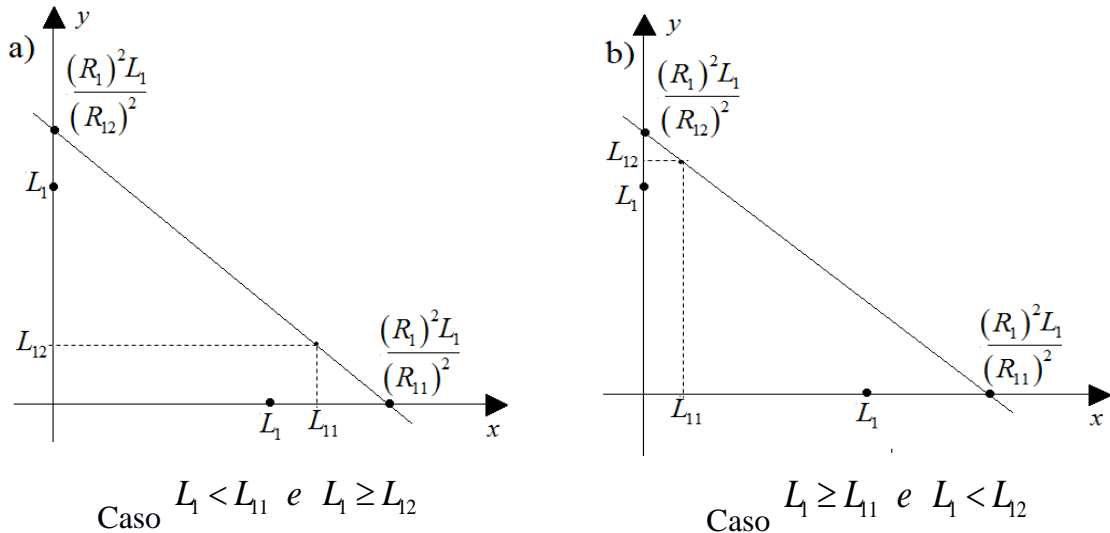


Figura 11. Representação da variação de comprimento dos ramos em relação ao ramo do qual se originaram a fim de satisfazer a premissa de que o volume permanece o mesmo ao longo da planta a) quando L_{11} for maior que L_1 ; b) quando L_{11} for menor que L_1 .

A manutenção do volume ao longo dos níveis de uma planta, apesar do aumento das áreas, talvez possa ser explicada pensando em termos de condução de água, das raízes até as folhas e produtos da fotossíntese no sentido inverso.

Ao contrário do que ocorre nos vertebrados com relação ao sistema circulatório que é um sistema fechado, o transporte de água nas plantas é um sistema aberto (Rand, 1983). Plantas perdem água por transpiração na superfície das folhas e é esse evento que permite que mais água seja absorvida pelas raízes (Rand, 1983). Desta forma, todos os vasos de condução de água de uma planta estão sempre repletos de água e o fluxo de água é contínuo e determinado pela taxa de transpiração. A ascensão de água em plantas, através do xilema ocorre por capilaridade (Reichardt, 1985).

Suponhamos que toda área do tronco principal seja preenchida por vasos condutores de água (vasos do xilema) fluindo em direção ao topo da árvore. O diâmetro diminuto de cada vaso permite que a água se desloque contra a gravidade por capilaridade. À medida que uma planta se desenvolve, tanto o número de vasos como o comprimento dos mesmos aumentam igual à de um cano repleto de água, fluindo em direção ao topo das árvores.

O volume de água total que está entrando é um dado volume x que se distribui de forma uniforme por todos os vasos. À medida que a árvore ramifica, um número equivalente de vasos (todos de mesmo diâmetro) se divide e esse mesmo “cano” principal se divide nos níveis superiores, em direção a cada nova ramificação (figura 12). Desta forma o volume inicial se mantém, dividindo-se igualmente nas bifurcações dos canos superiores. Como o número de ramos aumenta a cada bifurcação em proporção geométrica, as áreas aumentam. Mas o volume que os percorre é o mesmo.

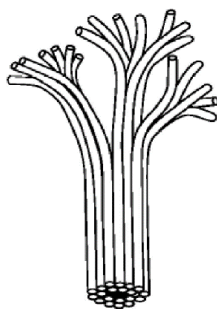


Figura 12. Representação dos vasos de distribuição de volume na planta. (Imagem retirada e modificada de Enquist, BJ. 2002)

Embora a soma das áreas das seções transversais aumente, o raio médio nos níveis superiores é menor. Isso significa que nos ramos apicais, o número de vasos condutores de água é menor por ramo, mas a soma dos mesmos permite que permaneçam constantes, tanto o volume total como, a velocidade do fluxo de água. Considerando o diâmetro de cada vaso igual, a pressão dentro dos vasos também se mantém.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificamos até o quarto nível de bifurcação, que embora as somas das áreas, tanto das seções transversais como da superfície aumentem com relação aos níveis de bifurcação, o volume se mantém constante. Seria interessante verificar se esse padrão se mantém nos níveis superiores de bifurcação.

Sugerimos que se todo volume do tronco fosse preenchido por vasos, que o número de vasos total se mantivesse o mesmo ao longo de toda planta e que os vasos mantivessem o mesmo diâmetro, a velocidade de fluxo de água e a pressão dentro de cada vaso permaneceria a mesma. Entretanto, a distribuição de vasos condutores em uma planta não apresenta esse padrão de distribuição. Seria importante, em um estudo futuro, verificar se a proporção de tecido condutor em cada ramo em cada nível é de fato proporcional ao observado no tronco principal de forma a manter constantes tanto o fluxo ao longo da planta com a pressão em cada vaso.

BIBLIOGRAFIA

- BROWN, JH, West, GB, Enquist, BJ. 2000. Scaling in biology: patterns and processes, causes and consequences. In: Brown, JH, West GB. *Scaling in Biology*. Oxford, Oxford University Press. p. 1-24.
- DA VINCI, L. 1888. The notebooks of Leonardo da Vinci. Traduzido por Jean Paul Richter. Vol 1. 8: p. 394-396.
- ENQUIST, BJ. 2002. Universal scaling in tree and vascular plant allometry: towards a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology* Vol 22. p. 1045-1064.
- ENQUIST, BJ, West, GB, Brown, JH. 2000. Quarter-power allometric scaling in vascular plants: functional basis and ecological consequences. In: Brown, JH, West GB. *Scaling in Biology*. Oxford, Oxford University Press. p. 167-198.
- GAYON, J. 2000. History of the concept of allometry. *American Zoologist* 40: 748-758.
- GOULD, SJ. 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews* 41: 587-640.
- NIKLAS, KJ. 1992. The plant body. In: Karl J. Niklas. *Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function*. Chicago, The University of Chicago Press. p. 382-423.
- NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. (2 ed.) Rio de Janeiro, IBGE.
- RAND, RH. 1983. Fluid mechanics of Green plants. *Annual Review of Fluid Mechanics* 15: 29-45.

- REICHARDT, K. 1985. A água: absorção e translocação. In: Ferri, MG. Fisiologia Vegetal 1. (2 ed.) São Paulo. Editora Pedagógica e Universitária LTDA. p. 3-24.
- WEST, GB, Brown, JH, Enquist, BJ. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. Nature 400: 664-667.
- WEST, GB, Brown, JH, Enquist, BJ. 2000. The origin of universal scaling laws in biology. In: Brown, JH, West GB. Scaling in Biology. Oxford, Oxford University Press. p. 87-112.