

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR E DO PESO DE FOLHAS SECAS DE PLANTAS JOVENS DE CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum* (WILLD. EX SPRENG.) SCHUM. - STERCULIACEAE) POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS.¹

Giorgini Augusto VENTURIERI²

RESUMO — De 40 folhas de plantas de cupuaçu com 2,5 meses de idade, foram medidos: área de cada folha, peso da folha fresca, peso do limbo fresco, comprimento da folha, comprimento do limbo, maior largura do limbo, distância da base do limbo até a sua maior largura e o peso da folha seca. Entre essas variáveis, com o uso da análise de regressão por passos (stepwise), foram obtidas equações de regressão para estimar a área da folha e o peso da folha seca. Com a equação obtida para a determinação da área da folha (\log da área da folha = $-0,133 + 1,095 \log$ Comprimento do limbo + $0,872 \log$ Largura do limbo $R^2 = 0,996$), conseguiu-se que 92,5% dos dados calculados apresentassem desvios menores do que 10% do valor observado. As equações testadas para a determinação do peso da folha seca mostraram-se ineficientes. Foram avaliadas equações alternativas para o cálculo do peso da matéria seca e da área da folha usando-se o logaritmo natural das medições mais fáceis de serem feitas.

Palavras-chave: Cupuaçu, *Theobroma grandiflorum*, área da folha, peso da folha seca.

Estimation of Leaf Area and its Dry Weight from Seedlings of Cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng.) Schum. - Sterculiaceae) Using Non-Destructive Methods.

ABSTRACT — From forty leaves of 2.5 month old cupuassu seedlings, area of the leaf, fresh weight, blade fresh weight, leaf length, blade length, greatest blade width, distance between the base and the greatest width and the dry weight of the leaf, were taken. Using "Stepwise" regression, equations were obtained to estimate the area of the leaf and the dry weight of the leaf. The equation which gave the best fit (\log area of the leaf = $-0.133 + 1.095 \log$ blade length + $0.872 \log$ blade width, $R^2 = 0.996$) accounted for 92.5% of the data calculated with a deviation of up to 10% of measured areas. The equations studied to estimate the dry weight of the leaf were inefficient. Alternative equations to estimate leaf weight and area of the leaf based on the natural logarithms of easily taken measurements were evaluated.

Key words: Cupuassu, *Theobroma grandiflorum*, leaf area, leaf dry weight

INTRODUÇÃO

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* - Schum.) é uma fruta típica da Amazônia, parente próxima do cacau (*T. cacao* L.), muito apreciada na região. Da polpa podem ser feitos sorvetes, sucos e uma variedade de doces. Das sementes pode-se fazer

chocolate. Atualmente essa fruta começa a despertar interesse pois o seu comércio está sendo expandido para outros estados do Brasil e até para o exterior (VENTURIERI, 1993).

Equações de regressão para estimar a área e o peso de folhas secas usando dimensões como o comprimento e/ou largura e/ou peso das folhas

¹ Trabalho realizado com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/CPCA, Cx. Postal 478, 69.011-970 - Manaus-AM, Brasil.

frescas são abundantes na literatura. Esses modelos são particularmente importantes para estudos que necessitam avaliar o crescimento de plantas sem destruí-las, como nos ensaios de adubação e de competição de genótipos.

Embora já existam aparelhos portáteis capazes de medir a área da folha ainda na planta, eles ainda não estão disponíveis na maioria dos estabelecimentos de pesquisa na Amazônia. Equações confiáveis para estimar a área e eventualmente o peso seco de folhas, poderiam ser usadas por esses estabelecimentos.

Exemplos já aplicados na estimativa da área da folha em árvores de cacau são:

Variedade catongo $Y = -0,93060 + 0,67309 X$ (onde $Y =$ área da folha e $X =$ comprimento \times largura da folha ($R^2=0,97$)) ou $\log Y = -0,37079 + 0,81866 X$ (onde $X =$ comprimento da folha ($R^2=0,83$)) (REIS & MÜLLER, 1979).

Variedade amelonado $Y = -0,495 + 1,904 \log X$ (onde $Y =$ área da folha e $X =$ comprimento da folha) ($R^2=0,994$) (ASOMANING & LOCKARD, 1963).

Variedade Lafi7 (derivada da polinização natural entre a var. Forasteiro e Crioulo) $Y = -0,632 + 1,987 \log X$ (onde $Y =$ área da folha e $X =$ o comprimento foliar ($R^2=0,996$)); $Y = 0,283 + 2,054 \log X$ (onde $Y =$ área da folha e $X =$ largura da folha ($R^2=0,992$)); $Y = 23,222 + 155,889 X$ (onde $Y =$ área da folha e $X =$ o peso seco da folha ($R^2=0,876$)) (REYNOLDS, 1971).

Nos trabalhos referidos, ficou evidente que para o cacau, o comprimento, a largura, a área e o peso da folha seca estão interrelacionados.

No presente estudo são determinadas e discutidas equações de regressão usando essas e outras variáveis extraídas da folha do cupuaçuzeiro jovem.

MATERIAL E MÉTODOS

As folhas estudadas no presente trabalho foram retiradas de plantas escolhidas aleatoriamente de um grupo de 432 indivíduos derivados de 16 frutos adquiridos em uma feira de Belém - PA. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação (temperaturas: média das mínimas = 17°; média das máximas = 29°; média geral = 25°) (VENTURIERI, 1990) na Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz (ESALQ) no município de Piracicaba-SP (lat. 22°,42"S long. 47°,38"W) em 30/04/88, quando as mudas estavam com 2,5 meses de idade, com a média de 4 folhas/planta (CV= 11%) e uma altura de 18,8 cm (CV= 10%). As folhas foram classificadas segundo o seu estágio de desenvolvimento em: A2 - folhas com o limbo no início da sua formação, completamente aberto, espesso e com pilosidade densa, B1 - limbo em franca expansão, pilosidade ainda marcante, folhas flácidas, pendentes e finas, B2 - limbo na fase final da expansão, verde pálido, pilosidade rarefeita, consistência pouco firme, C1 - limbo na fase inicial da maturação, verde escuro e cartáceo, pilosidade quase ausente, pecíolo marrom (VENTURIERI, 1990). De cada grupo de folhas, foram escolhidas 10 (40 no total) para a tomada das variáveis. As variáveis medidas foram : peso da

folha fresca (PFF), peso do limbo fresco (PLF), área da folha (AF), comprimento do limbo (CL), comprimento da folha (CF), largura do limbo (LL), distância da base do limbo até a maior largura da folha (DB-LL) e o peso da folha seca (PFS). A área de cada folha representa a média de cinco medições tomadas com o uso do aparelho "LICOR Area-meter" modelo LI-3000.

Com esses dados foram determinadas: a correlação de Pearson entre pares de variáveis e as equações de regressão múltipla. As variáveis escolhidas foram selecionadas pelo processo de regressão por passos (stepwise) (SOKAL & ROHLF, 1981). Nesse processo, ao ser descartada uma variável, é buscada entre as variáveis não incorporadas alguma que possa ser acrescentada ao modelo de forma a melhorar significativamente a determinação da variável dependente. Simultaneamente é feito o processo inverso, ou seja, ao acrescentar uma variável é buscada entre as variáveis já incorporadas alguma que possa ser extraída sem diminuir significativamente a determinação da variável dependente. O nível de significância usado, tanto para o descarte como para a incorporação, foi de $p = 0,15$, tido como o mais eficaz segundo BENDEL & AFIFI (1977). Objetivando diminuir os desvios entre os valores observados e os calculados, com o conseqüente aumento do valor de "R²", os cálculos foram refeitos usando-se o logaritmo natural das variáveis tomadas.

Como um dos objetivos é o de calcular a área da folha através de variáveis fáceis de serem tomadas, para tal foram

usadas apenas as variáveis métricas, ou sejam: largura do limbo, distância da base do limbo até a maior largura do limbo, comprimento da folha e comprimento do limbo. Para determinar o peso da folha seca, foram usadas todas as variáveis medidas.

Os dados foram analisados com auxílio do programa SYSTAT (WILKINSON, 1985).

Equações alternativas para o cálculo da área da folha e do peso da matéria seca usando-se o logaritmo natural das medições mais fáceis de serem tomadas foram propostas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados resultantes das medições estão no anexo.

A maioria das variáveis possui nítida correlação entre si (Tab. 1). Isso faz com que, em uma regressão múltipla, essas variáveis expliquem parte da variação das outras (SOKAL & ROHLF, 1981). Isso tem que ser levado em conta na escolha das variáveis que estimem com maior precisão as variáveis dependentes: a área da folha e o peso da folha seca.

As equações obtidas com as variáveis escolhidas pelo processo de regressão por passos (stepwise) usando-se os dados sem transformações são:

$$AF = - 31,813 + 9,716 LL + 2,734 CL \\ R^2 = 0,952 \quad (1)$$

$$PFS = 0,122 + 0,007 AF - 0,024 CL \\ R^2 = 0,954 \quad (2)$$

As equações obtidas com as variáveis escolhidas pelo processo de regressão por passos (stepwise)

Tabela 1. Valores de "r" (correlação) entre as variáveis da folha do cupuaçu. (*) Peso do limbo fresco (PFL), peso da folha fresca (PFF), área da folha (AF), comprimento do limbo (CL), comprimento da folha (CF), largura do limbo (LL), distância da base do limbo até a maior largura (DB-LL) e peso da folha seca (PFS).

Variáveis (*)	PFL	PFF	AF	CL	CF	LL	DB-LL	PFS
PFL	1,00							
PFF	0,99	1,00						
AF	0,94	0,95	1,00					
CL	0,88	0,89	0,95	1,00				
CF	0,88	0,89	0,94	0,99	1,00			
LL	0,89	0,90	0,97	0,94	0,94	1,00		
DB-LL	0,84	0,84	0,91	0,98	0,97	0,90	1,00	
PFS	0,91	0,92	0,96	0,86	0,85	0,92	0,80	1,00

usando-se o logarítmo natural são:

$$\log AF = - 0,199 + 0,869 \log LL + 0,482 \log CF + 0,639 \log CL$$

$$R^2 = 0,996 \quad (3)$$

$$\log PFS = -0,462 - 1,765 \log PLF + 2,528 \log PFF - 0,797 \log CF$$

$$R^2 = 0,963 \quad (4)$$

Com base nos valores obtidos de R^2 , com a transformação logarítmica mostraram-se mais adequados e por isso devem ser preferidos.

Embora a escolha das variáveis nas equações tenha sido baseada puramente na sua significância estatística, todas as variáveis computadas estão bem correlacionadas, podendo algumas serem prescindidas ou substituídas por outras, sem provocar grandes perdas na eficiência das equações. Por esta razão, equações alternativas foram propostas para estimar a AF e o PFS usando as variáveis CL e LL, que são mais fáceis de serem tomadas. Essas equações são:

$$\log AF = -0,133 + 1,095 \log CL + 0,872 \log LL$$

$$R^2 = 0,996 \quad (5)$$

$$\log PFS = -1,651 - 0,108 \log CL +$$

$$1,483 \log LL \quad R^2 = 0,941 \quad (6)$$

Para a determinação de AF, a perda de precisão foi desprezível. Já para o PFS houve alguma perda no valor "R²".

A avaliação da eficiência das equações 5 e 6 em comparação com as equações 3 e 4 pode ser feita com base na variação percentual do dado calculado em relação ao observado (Figs. 1 e 2). A frequência de desvios percentuais dos dados observados em relação aos calculados é mostrado na Tabela 2.

Com a aplicação da equação (5) para o cálculo da AF apenas 3 casos tiveram desvio entre 10,1 e 20%. Comparando-se os resultados obtidos com as fórmulas (3) e (5), observa-se que não houve modificação da proporção do número de erros dentro das classes mostradas na Tabela 2.

A determinação do PFS com as equações (4) e (6), proporcionam respectivamente, 52% e 57% dos casos com desvios acima de 10%. Isso pode ser atribuído a variação do peso do limbo seco por unidade de área (para essa relação, na presente amostra obteve-se um CV de 28,6%). Segundo REIS &

Tabela 2. Desvios em porcentagem dos dados calculados em relação aos observados.

Desvios (%)	Parâmetro calculado							
	Área da folha (AF)				Peso da folha seca (PFS)			
	pela equação (3)		pela equação (5)		pela equação (4)		pela equação (6)	
	nº casos	(%)	nº casos	(%)	nº casos	(%)	nº casos	(%)
0-10,0	37	92,5	37	92,5	19	47,5	17	42,5
10,1-20,0	3	7,5	3	7,5	14	35	9,0	22,5
>20,0	0	0,0	0,0	0,0	7	17,5	14	35

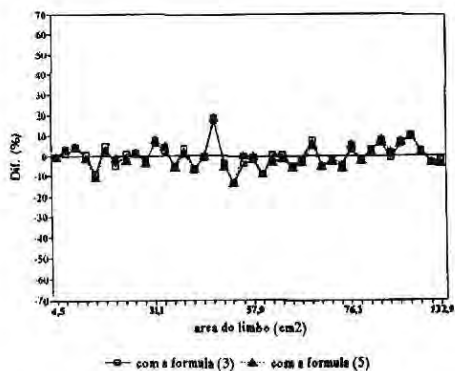


Figura 1. Diferença em porcentagem dos valores calculados da área foliar em relação aos observados.

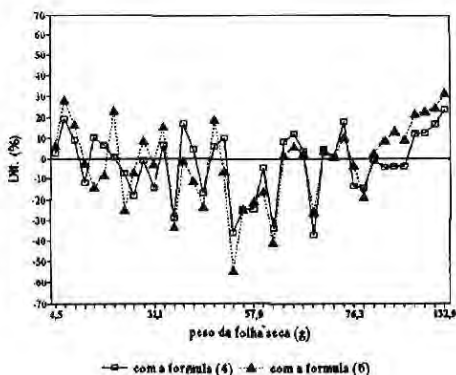


Figura 2. Diferença em porcentagem dos valores calculados do peso da folha seca em relação aos observados.

MÜLLER (1979), o peso de matéria seca por unidade de área pode variar segundo o estado nutricional da planta e as condições hídricas a que estão submetidas.

Para o cálculo do PFS com a equação (6) houve uma duplicação do número de casos com desvio acima de 20%.

CONCLUSÕES

As fórmulas logarítmicas mostraram-se mais eficientes.

A AF poderá ser estimada satisfatoriamente por todas as equações propostas mas, por razões práticas, sugere-se o uso da equação (5) que usa somente

as variáveis CL e LL.

As fórmulas para a determinação do PFS não são recomendadas por proporcionarem uma margem de erro elevada.

Bibliografia citada

- ASOMANING, E.J.A.; LOCKARD, R.G. 1963. Note on estimation of leaf areas of Cocoa from leaf length data. *Canadian Journal of Plant Science*, 43: 343-44.
- BENDEL, R.B.; AFIFI, A.A. 1977. Comparison of stepping rules in forward "stepwise" regression. *Journal of the American Statistical Association*, 72: 46-53.
- REIS, G. G.; MÜLLER, M. W. 1979. Análise

- de crescimento de Plantas; mensuração do crescimento. FCAP, serv. de doc. e inform. (FCAP-Informativo Didático, 1) 39 p.
- REYNOLDS, S. G. 1971. A note on Estimation of Leaf Areas on Cocoa (*Theobroma cacao* L.) from Three Leaf Parameters. *Tropical Agriculture*, 48: 77-79.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. 1981. *Biometry*, W.H. Freeman & Comp., N.Y., 859 p.
- VENTURIERI, G.A.; 1990. Variabilidade em Plantas Jovens de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Schumann) Estimada por Descritores Morfológicos, Fisiológicos e Isoenzimáticos e sua Utilização em Caracterização de Germoplasma. *Tese de Mestrado*, INPA/FUA, Manaus, AM, 98 p.
- - 1993 - *Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento*. Clube do Cupu, Belém PA 108p.
- WILKINSON, L. 1985. *Systat, The System for Statistics*, Evanston, Systat Inc., 417 p.

Aceito para publicação em 19.07.1995

Anexo: Dados das medições foliares dispostos em ordem crescente em função da área do limbo.

Fase	limbo fresco (g)	pecíolo fresco (g)	folha fresca (g)	área do limbo (cm ²)	comprimento do pecíolo (cm)	comprimento do limbo (cm)	comprimento da folha (cm)	largura do limbo (cm)	distância da maior largura até base do limbo(cm)	peso do limbo seco (g)	peso do pecíolo seco (g)	peso da folha seca (g)
A2	0,12	0,01	0,13	4,490	1,0	3,6	4,6	1,6	2,3	0,03716	0,00475	0,04191
A2	0,14	0,02	0,16	5,800	1,5	4,4	5,9	1,6	2,7	0,04613	0,00735	0,05348
A2	0,13	0,02	0,15	6,208	1,3	4,4	5,7	1,7	2,7	0,04395	0,00623	0,05018
A2	0,14	0,02	0,16	6,782	1,0	4,6	5,6	1,9	3,0	0,04328	0,00472	0,04800
A2	0,13	0,01	0,14	7,690	1,1	5,4	6,5	2,0	3,2	0,04171	0,00400	0,04571
A2	0,20	0,01	0,21	12,186	1,2	5,9	7,1	2,6	3,5	0,06469	0,00552	0,07021
A2	0,29	0,05	0,34	12,926	2,2	6,1	8,3	2,8	3,7	0,09488	0,01556	0,11044
A2	0,22	0,01	0,23	13,782	1,0	6,2	7,2	3,0	3,4	0,06972	0,00516	0,07488
A2	0,29	0,04	0,33	17,166	1,8	6,6	8,4	3,4	4,0	0,09488	0,00986	0,10474
A2	0,31	0,04	0,35	18,094	1,6	7,8	9,4	3,1	4,9	0,09588	0,00912	0,10500
B1	0,44	0,06	0,50	31,038	2,5	9,2	11,7	4,1	6,0	0,12562	0,01306	0,13868
B1	0,53	0,07	0,60	37,590	3,0	11,1	14,1	4,2	6,8	0,15491	0,01636	0,17127
B1	0,53	0,05	0,58	41,268	2,2	11,2	13,4	5,2	6,4	0,13911	0,01043	0,14954
C1	0,42	0,04	0,46	45,932	1,7	11,1	12,8	5,5	6,9	0,19854	0,01401	0,21255
B2	0,46	0,06	0,52	47,340	2,4	11,4	13,8	6,0	6,7	0,20275	0,01845	0,22120
B2	0,49	0,07	0,56	48,426	2,5	10,6	13,1	6,3	6,3	0,19498	0,02060	0,21558
B1	0,64	0,08	0,72	51,836	3,0	12,2	15,2	4,5	7,0	0,17843	0,01660	0,19503
B2	0,51	0,06	0,57	56,386	2,2	12,7	14,9	6,3	7,5	0,22659	0,01842	0,24501
B1	0,60	0,07	0,67	57,334	3,0	14,0	17,0	6,2	8,5	0,14633	0,01621	0,16254
B1	0,61	0,10	0,71	57,542	4,0	13,0	17,0	5,9	7,5	0,16649	0,02248	0,18897
B1	0,67	0,09	0,76	57,906	3,3	12,8	16,1	6,1	7,5	0,18592	0,01967	0,20559
B2	0,56	0,08	0,64	58,984	2,7	12,3	15,0	7,2	7,2	0,24929	0,02489	0,27418
B1	0,67	0,05	0,72	60,420	1,6	13,8	15,4	6,0	8,0	0,15953	0,01090	0,17043
C1	0,58	0,07	0,65	60,618	2,0	12,5	14,5	6,7	7,2	0,26853	0,02172	0,29025
B2	0,61	0,08	0,69	62,284	2,5	13,5	16,0	6,6	7,0	0,26923	0,02378	0,29301
C1	0,67	0,09	0,76	67,380	2,4	13,1	15,5	7,3	7,0	0,30237	0,02811	0,33048
B1	0,83	0,06	0,89	67,620	1,8	13,0	14,8	6,7	7,3	0,21500	0,01055	0,22555
B2	0,69	0,10	0,79	67,814	3,0	13,4	16,4	7,3	7,0	0,30415	0,02960	0,33375
B2	0,70	0,09	0,79	68,096	2,5	13,9	16,4	6,8	8,0	0,26865	0,02230	0,29095
C1	0,69	0,07	0,76	69,152	2,4	14,0	16,4	7,1	7,9	0,32017	0,02228	0,34245
B2	0,79	0,12	0,91	76,298	3,2	12,5	15,7	8,1	5,8	0,33257	0,03279	0,36536
B1	0,85	0,10	0,95	86,536	3,5	16,5	20,0	7,2	9,8	0,23458	0,02442	0,25900
C1	0,91	0,10	1,01	91,302	2,6	14,4	17,0	8,6	7,2	0,38876	0,02869	0,41745
B2	0,90	0,15	1,05	91,782	3,5	14,0	17,5	8,4	7,6	0,39113	0,04191	0,43304
C1	1,11	0,18	1,29	102,526	3,9	15,3	19,2	9,2	8,6	0,46775	0,04750	0,51525
C1	1,06	0,16	1,22	110,274	3,5	15,0	18,5	9,6	9,1	0,47699	0,04726	0,52425
C1	1,12	0,13	1,25	115,288	2,8	16,0	18,8	9,0	8,5	0,51060	0,03819	0,54879
C1	1,18	0,16	1,34	119,632	3,2	17,5	20,7	9,2	9,4	0,52250	0,04781	0,57031
B2	1,23	0,16	1,39	123,622	3,2	18,5	21,7	9,5	10,0	0,56339	0,04527	0,60866
C1	1,44	0,14	1,58	132,952	3,0	19,0	22,0	10,0	10,4	0,67914	0,04643	0,72557