

DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE EM ANÁLISES NUTRICIONAIS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Alessandro Dal'Col Lúcio¹
Rafael Augusto Rossato de Rossato²
Lindolfo Storck¹
Mauro Valmir Schumacher³
Fabiano de Oliveira Fortes⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo definir qual é a probabilidade de os resultados de análises nutricionais se ajustarem, selecionando uma função que melhor explica o comportamento dos teores dos macro e micronutrientes nos diversos tecidos vegetais. Foram utilizados 176 conjuntos de dados coletados em 15.534 análises nutricionais de três espécies florestais, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., realizadas durante o período de 1999 a 2004 no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM. As análises foram separadas em subgrupos por macro e micronutrientes, componente vegetal, espécie e ano de determinação. O banco de dados passou pela determinação das estatísticas descritivas médias, desvio-padrão, número de observações, valores máximo e mínimo. Para verificar se os dados seguiam a distribuição normal, foi aplicado o teste de Lilliefors. Nos casos em que o teste não foi normal, foram testadas as funções Log-normal, Beta, Gamma e Weibull, via teste de Kolmogorov-Smirnov. Foi possível determinar que 70% do total avaliado seguia alguma das funções, e a Normal apresentou 33,5% de ajustes, a Log-normal 27,3%, a Gamma 3,4%, a Weibull 5,7%, e a função Beta não apresentou nenhum ajuste. Do total de conjunto de dados avaliados, 30,1% não aderiu a nenhuma das funções. As funções estudadas, com exceção da Beta, podem explicar a distribuição dos resultados das análises químicas de tecidos vegetais dos teores de elementos químicos em cada espécie.

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., distribuição de probabilidade, Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov.

ABSTRACT

PROBABILITY DISTRIBUTION IN NUTRITIONAL ANALYSIS OF FOREST SPECIES

The objective of the present work was to define which probability distribution the nutritional content analysis fits in, selecting a function that better explain its behavior in different plant tissues. A total of 176 data sets collected from 15,534 nutritional analyses of three forest species, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp., for the period from 1999 to 2004, at the Forest Ecology Laboratory - UFSM. The analyses were separated into subgroups of macro and micronutrients, plant component, species and year of determination. Data were examined through statistic analysis, determining mean, standard deviation, number of observations, maximum and minimum values; and data normality was verified with the Lilliefors test. In the cases of non-normality, the functions Log-normal, Beta, Gamma and Weibull were tested via the Kolmogorov-Smirnov test. It was found that 70% of the data fitted one of the

¹ Universidade Federal de Santa Maria. Depto Fitotecnia/CCR. CEP 97105-900 Santa Maria, RS. Bolsista CNPq. E-mail: adlucio@smail.ufsm.br, lindolfo@smail.ufsm.br

² Aracruz Celulose S.A., São Geraldo 1800. CEP 92500-000 Guaíba, RS. E-mail: rarossato@aracruz.com.br

³ Universidade Federal de Santa Maria. Depto Ciências Florestais/CCR. CEP 97105-900 Santa Maria, RS. Bolsista CNPq. E-mail: schuma@ccr.ufsm.br;

⁴ Universidade Federal de Santa Maria. Depto Fitotecnia. CEP 97105-900 Santa Maria, RS. Bolsista CAPES. E-mail: fabfortes@yahoo.com.br.

functions with the following results; the Normal showed 33.5% of adjustment, Log-normal 27.3%, Gamma 3.4%, Weibull 5.7% and Beta showed no adjustment. Of all data evaluated, 30.1% showed no adjustment to any of the functions. The studied functions, except for Beta, can explain the distribution of the results from the chemical analysis of nutrient contents in plant tissues from each species.

Key words: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., distribution of probability, Lilliofors, Kolmogorov-Smirnov.

INTRODUÇÃO

Geralmente, obtêm-se resultados diferentes ao medir várias vezes uma mesma grandeza, de tal modo que, se um laboratório estiver funcionando adequadamente, os resultados obedecem a uma distribuição normal, em que os dados são distribuídos simetricamente em torno de um valor central, a média (Costa Neto, 1977). Esta distribuição fornece a base estatística para a delimitação do intervalo dentro do qual um resultado analítico deve ficar para ser considerado correto, com determinado nível de probabilidade de erro. Ao medir várias vezes uma grandeza, geralmente obtêm-se resultados diferentes em cada medição, de tal modo que, se o laboratório estiver funcionando adequadamente e o tamanho da amostra for grande (n observações), os resultados devem obedecer a uma distribuição normal (Gaussiana) com média \bar{x} e desvio-padrão s , de acordo com o Teorema do Limite Central, descrito por Costa Neto (1977). Nessa distribuição, os dados são distribuídos simetricamente em torno de um valor central à média, sendo representada por uma curva em forma de sino. Essa curva fornece a base estatística para a delimitação do intervalo dentro do qual um resultado analítico deve ficar para ser considerado correto, com determinado nível de probabilidade. A área sob essa curva é delimitada pelos intervalos compreendidos entre $\bar{x} \pm s$, $\bar{x} \pm 2s$ e $\bar{x} \pm 3s$, em que \bar{x} é a média e s o desvio-padrão, que contém 68,2, 95,4 e 99,7% dos dados, respectivamente, incluídos nessa área.

O problema da pesquisa consiste em determinar a distribuição estatística dos resultados encontrados nas análises de nutrientes em tecidos vegetais, nos quais a amplitude não resulte em extrapolação dentro de uma distribuição ajustada. Independentemente de o resultado ser considerado como um teor alto, médio ou baixo para as necessidades nutricionais das plantas, a determinação dos limites deve abranger essa amplitude de resultados.

A quantidade de nutrientes acumulados em componentes exportados da área de produção florestal, como a madeira e a casca, é muito distinta em acácia, pinus e eucalipto, mas pode influenciar em manejo adequado que resulte em grande economia de nutrientes para o estoque da área, com elevada repercussão sobre o seu potencial produtivo (Gonçalves, 1995).

As distribuições de frequência de dados permitem conhecer o seu comportamento e inferir sobre a sua ocorrência durante determinado período de tempo. Diversas áreas em pesquisa utilizam distribuições para mostrar a probabilidade de ocorrência de um evento, como é o caso da climatologia, principalmente para precipitações pluviais, em que o comportamento das distribuições das chuvas pode fornecer subsídios para determinar períodos críticos característicos de uma região, tendo-se condições de planejar o manejo de culturas sem prejuízo conseqüentes de secas ou excesso de chuvas (Botelho & Morais, 1999). Já Cargnelutti Filho *et al.* (2004) estudaram a adequação das distribuições Normal, Log-Normal, Gama, Gumbel e Weibull à incidência da radiação solar global em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, encontrando adequação de todas as funções em 98% dos casos e apresentando melhor ajuste à função de distribuição de probabilidade Normal.

Uma das distribuições mais usadas para dados pluviométricos é a Gama, sendo necessários dados de, no mínimo, 30 anos para que o tamanho da amostra seja representativo (Friedman & Janes, 1957). Ao estudar as precipitações mensais em Lavras, MG, Castro Neto & Silveira (1981) determinaram os meses de junho, julho e agosto como os de menores precipitações prováveis, e os meses de outubro a março os de maiores ocorrência de chuvas, baseados na distribuição de probabilidade Gama. Já Assis (1991) elaborou modelos para descrever

a quantidade de chuva ocorrida semanalmente em Pelotas, RS, e concluiu que pode ser representada pela função de probabilidade de distribuição Gama.

Para verificar a adequação de uma função de distribuição a um conjunto de dados, existem diversos testes que servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, comprovando-se que os valores da amostra podem ser considerados provenientes de uma população com aquela distribuição (Campos, 1983). Os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS), Lilliefors e Qui-quadrado são exemplos desses testes.

O teste KS é baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparado com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste em determinado nível de significância (Catalunha *et al.* 2002). Esse valor determina a não-rejeição da hipótese de nulidade (H_0), indicando maior aderência dos dados à distribuição em teste.

O teste de Lilliefors é mais eficiente que o KS, porém é específico para verificar a aderência dos dados amostrais à distribuição normal. Já o teste Qui-quadrado apresenta limitações quanto à frequência e perda de informações devido ao agrupamento dos dados em classes, o que não ocorre no KS, que pode ser realizado com dados agrupados ou isoladamente em pequenas amostras, ou seja, menos de 30 observações (Campos, 1983).

Na área florestal, a adequação das funções de densidade probabilísticas Normal, Log-normal, Beta, Gamma, Weibull e Sb de Johnson foi estudada por Bartoszeck *et al.* (2004), em distribuição de classes diamétricas combinadas com a idade, sítio e densidade de árvores por hectare em povoamentos de bracinga. Os autores detectaram a função Sb de Johnson como a de melhor desempenho por apresentar os menores valores encontrados no teste KS, apesar de todas as combinações de dados apresentarem aderência às funções testadas. Resultados similares foram encontrados por Finger (1982), em *Acacia mearnsii*, e por Thiersch (1997) em *Eucalyptus camaldulensis*, quando ambos os autores comprovaram, através do KS, que a função Sb de Johnson é a que melhor representa a distribuição diamétrica para essas espécies nas condições estudadas. Já Scolforo & Machado (1996) realizaram simulações de crescimento e desbastes a partir da distribuição de classes diamétricas de *Pinus caribea* var. *hondurensis*, estudadas pela função de probabilidade de Weibull. O mesmo resultado foi obtido por Abreu *et*

al. (2002) ao determinarem a função Weibull, via teste KS, como a mais precisa para estimar a frequência em classes diamétricas de um povoamento de *Eucalyptus grandis*.

Diante disso, o trabalho tem como objetivo identificar a distribuição de probabilidade dos resultados dos teores de elementos químicos de macro e micronutrientes presentes nos diversos tecidos vegetais de três espécies florestais.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado o banco de dados dos resultados das análises realizadas entre os anos de 1999 e 2004, compostos por planilhas (Microsoft Excel), com 1.498 amostras, contendo 15.534 determinações, apresentando os teores de cada nutriente em cada amostra do Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais, do Centro de Ciências Rurais, na Universidade Federal de Santa Maria. As espécies florestais analisadas no laboratório foram *Acacia mearnsii* De Wild., *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., sendo divididas em amostras por componentes das árvores, como folhas e acículas, casca, galhos, madeira, raízes, flores e frutos.

Para o levantamento dos dados referentes às análises nutricionais das amostras, foram coletados todos os resultados de nutrientes (macro e micronutrientes), identificando-se a qual componente ele pertence (folha, casca, galho, madeira, raiz, flor ou fruto) em cada uma das espécies mais frequentes estudadas (*Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp.). Os valores são determinados quantitativamente em concentrações ou teores dados em % ou $g\ kg^{-1}$, para macronutrientes, e $mg\ kg^{-1}$ ou ppm, para micronutrientes. Os dados referentes às amostras foram cadastrados, identificando-se o ano, o nutriente, os componentes e a espécie analisada. Quando esses dados não constavam no cadastro, eles eram obtidos por meio da localização dos projetos cujas amostras serviram de referência, ou no livro registro de amostras do laboratório.

Após a formação dos subgrupos, foram estimados a média e o desvio-padrão para cada nutriente, dentro de cada componente e espécie estudada, bem como o número de observações (n) e os valores máximos e mínimos encontrados nos resultados das análises.

Para verificar se os dados obtidos seguiram a distribuição normal, foi aplicado o teste de Lilliefors (Campos, 1983), que estuda a adequação dos resultados à distribuição normal e sua respectiva transformação. Os

resultados devem obedecer a uma distribuição normal (Gaussiana). As distribuições usadas para verificar a adequação dos dados através do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foram a distribuição Log-normal, Beta, Gamma e Weibull com dois parâmetros. Essas distribuições permitem conhecer o comportamento de variáveis aleatórias contínuas (VAC) por apresentarem um conjunto de dados dentro de um intervalo de valores conhecidos. Nos casos em que os valores de probabilidade indicaram mais de uma distribuição (Log-Normal, Gamma, Beta ou Weibull) ajustada pelo teste KS foi usada aquela com menor valor do χ^2 calculado para o teste KS

Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa estatístico SAEG 9.0, usando $\alpha = 5\%$ de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estimados para a média, desvio-padrão, valor mínimo e máximo dos teores dos nutrientes encontrados nas amostras e número de observações são demonstrados nas Tabelas 1, 2 e 3, para cada espécie, em seus diferentes estratos ou componentes.

O conjunto total de dados analisados foi composto por 176 combinações de resultados, compostos por 16 estratos vegetais e onze elementos químicos dentro das três espécies estudadas. O menor número de observações ocorreu em *Eucalyptus* sp., no estrato raiz, com 24 verificações; e o maior foi em *Acacia mearnsii*, no estrato folha e nutriente P, com 302 observações. Os resultados mostraram que a espécie *Pinus* sp. foi a que apresentou maiores amplitudes de valores, seguida de *Eucalyptus* sp. e *Acacia mearnsii*.

Em *Acacia mearnsii*, os valores médios mostrados na Tabela 1 para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg para folhas, madeira, casca e galhos estão de acordo com os resultados encontrados por Vezzani (1997). Barrichelo (2003) encontrou valores médios superiores nas suas análises, mas todos dentro das faixas de amplitude quando comparados com os resultados, com exceção dos macronutrientes P e S e dos micronutrientes Cu e Zn, que apresentaram resultados inferiores. Para o elemento B, os resultados em todos os estratos foram inferiores aos encontrados pelo autor, o que demonstra um aumento do acúmulo deste nutriente e redução de outros, como o P, em função da idade.

Já para a espécie *Eucalyptus* sp., os valores médios obtidos para todos os nutrientes no estrato folha, com exceção do B e Cu, são maiores de acordo com os resul-

tados encontrados por Haag *et al.* (1976). Vezanii (1997) e Gonçalves (2000) encontraram para todos os nutrientes valores médios inferiores aos apresentados na tabela 2 para o estrato folha, com exceção do Mg e Cu. Porém nos estratos casca, galhos e madeira, os elementos N, P, M e Fe apresentaram valores médios semelhantes. Os elementos Mn, K e Ca apresentaram valores médios maiores que os demonstrados pelos autores em todos os estratos estudados. Porém, os valores apresentados no estrato folha, em todos os nutrientes, estão dentro das faixas encontradas e demonstradas por Dell *et al.* (1995).

É importante destacar que as condições dos estudos, como sítio, fertilidade e ecofisiologia das árvores foram diferentes.

Em *Pinus* sp., os valores médios apresentados na Tabela 3, para todos os nutrientes no estrato acícula, são semelhantes aos resultados encontrados por De Hoog, (1981), Malavolta *et al.* (1997) e Schumacher *et al.* (2002).

Os resultados médios mostrados nas Tabelas 1, 2 e 3 estão dentro da faixa de valores encontrados na literatura para todas as espécies florestais, tecidos e nutrientes apresentados, com alguma exceção para folhas de *Eucalyptus* sp., o que pode ser explicado pela ampla exigência nutricional característica dessa espécie e sua conseqüente distribuição nos estratos das árvores. Dessa forma, pode-se confirmar que o tipo de resposta obtida a partir de uma análise de tecido de determinada espécie florestal será dependente da espécie analisada, bem como da parte da planta, confirmação óbvia, mas que sustenta a classificação dos limites dos elementos químicos com base nos resultados das análises.

A variação dos resultados de espécie para espécie também é explicada por sua necessidade nutricional individual, mas dentro das análises de mesmo nutriente e estrato. Os valores diferenciados, quando comparados com as médias dos resultados de literatura, são explicados pelos fatores expostos pelos autores, o que comprova a necessidade de realizar as análises das distribuições específicas para cada caso e a separação dos resultados agrupados nos estratos de cada espécie.

Na Tabela 4, observam-se as 77 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Acacia mearnsii*, das quais 67,5% (52) aderiram à alguma das distribuições testadas e 32,5% (25) não aderiram a nenhuma. Dentro das combinações de valores que seguiam alguma distribuição, 50% (26) aderiram à distribuição Normal, 38,5%

Tabela 1 – Estimativas da média (méd.), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio-padrão (DP) dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Acacia mearnsii*

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Folha	Méd.	26,16	1,04	7,41	5,64	1,76	1,35	28,42	10,16	172,19	100,20	16,22	
	Mín.	6,24	0,15	1,09	1,31	0,80	0,30	2,20	4,50	11,00	11,00	4,26	
	Máx.	40,82	2,49	19,97	16,00	5,65	2,37	79,97	32,00	1107,00	197,00	37,76	
	N	299	302	299	299	299	283	286	283	283	283	283	283
	DP	7,99	0,48	3,42	2,05	0,68	0,35	11,67	4,23	106,07	30,30	5,22	
Madeira	Méd.	1,59	0,13	8,24	1,13	0,36	0,28	5,37	0,90	26,19	8,91	6,49	
	Mín.	0,57	0,04	3,03	0,50	0,14	0,20	1,50	0,10	1,30	2,30	2,00	
	Máx.	3,02	0,78	13,74	2,47	0,60	0,40	12,10	1,60	190,00	27,00	22,70	
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	DP	0,67	0,14	4,12	0,58	0,15	0,04	2,24	0,44	45,56	6,46	4,78	
Casca	Méd.	9,98	0,34	9,09	11,26	1,45	0,32	13,72	1,67	52,30	26,20	12,34	
	Mín.	2,45	0,06	4,22	1,60	0,50	0,13	1,50	0,22	7,00	4,00	2,00	
	Máx.	14,18	0,66	15,98	17,60	3,16	1,25	26,63	4,40	121,00	48,00	20,70	
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	DP	2,26	0,13	3,97	3,12	0,60	0,19	6,43	0,82	24,45	7,39	4,84	
Galho	Méd.	5,42	0,38	7,84	4,21	1,07	0,48	12,63	3,05	125,35	23,16	17,08	
	Mín.	0,60	0,01	1,21	0,47	0,13	0,18	1,50	0,10	2,80	4,50	2,90	
	Máx.	12,04	1,75	17,04	8,74	2,85	1,35	30,98	8,31	673,40	109,60	49,43	
	N	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96
	DP	3,41	0,33	3,63	2,02	0,51	0,25	7,02	2,08	162,52	17,73	10,60	
Flor	Méd.	20,98	0,75	7,58	5,18	1,81	1,09	48,51	7,22	144,59	64,31	20,18	
	Mín.	16,69	0,52	3,27	3,63	1,60	0,30	24,84	5,38	80,50	41,10	16,25	
	Máx.	25,79	1,08	10,80	7,57	2,12	1,74	86,11	15,30	928,90	94,90	25,91	
	N	16	16	16	16	16	30	31	30	30	30	30	30
	DP	2,51	0,18	2,44	1,13	0,19	0,45	19,10	1,89	152,26	14,98	2,61	
Raiz	Méd.	4,67	0,19	9,59	2,93	0,41	0,35	7,50	1,61	174,02	18,34	15,26	
	Mín.	0,76	0,04	6,55	0,85	0,09	0,09	1,50	0,18	1,00	2,30	2,50	
	Máx.	16,63	0,77	13,93	6,60	1,00	1,30	14,85	7,40	976,00	79,00	25,50	
	N	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	DP	4,66	0,19	3,12	1,83	0,25	0,36	3,18	1,64	273,86	21,90	6,48	
Fruto	Méd.	18,97	0,80	6,59	4,97	2,22	1,32	53,65	7,12	130,70	69,24	18,97	
	Mín.	10,98	0,42	2,18	1,86	0,82	0,33	28,45	2,92	11,40	11,96	10,64	
	Máx.	24,70	1,57	11,34	8,23	3,64	2,15	90,70	9,87	1099,00	196,50	54,16	
	N	68	68	68	68	68	146	144	146	146	146	146	146
	DP	2,20	0,23	2,67	1,42	0,53	0,38	12,82	1,20	144,03	27,12	5,66	

Tabela 2 – Estimativas da média (méd.), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio-padrão (DP) dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Eucalyptus* sp.

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Folha	Méd.	24,14	2,61	14,26	9,21	2,86	4,49	25,81	8,10	111,60	891,27	24,41	
	Mín.	2,58	0,63	10,91	4,00	1,28	0,96	17,16	2,71	37,10	341,00	7,45	
	Máx.	36,10	4,21	19,20	17,30	3,95	7,55	56,38	12,72	980,00	2265,00	47,70	
	N	102	102	98	102	102	101	101	101	101	101	101	101
	DP	6,43	0,98	2,21	2,14	0,45	2,06	8,13	2,01	192,71	307,39	8,77	
Madeira	Méd.	1,19	0,13	8,17	1,39	0,24	0,22	4,94	1,36	8,84	48,41	4,98	
	Mín.	0,17	0,01	1,09	0,24	0,02	0,10	1,69	0,42	2,70	12,30	0,03	
	Máx.	2,92	0,72	11,00	13,63	2,18	0,47	14,39	11,75	25,40	95,30	16,96	
	N	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	64
	DP	0,81	0,15	2,96	2,11	0,35	0,09	2,86	1,39	4,20	20,80	4,08	
Raiz	Méd.	2,14	0,18	4,85	3,22	0,44	0,35	11,55	1,92	116,07	57,10	7,68	
	Mín.	0,86	0,05	2,18	0,59	0,11	0,21	7,78	0,96	61,90	26,90	3,89	
	Máx.	6,19	0,47	7,59	7,81	1,14	0,49	19,18	2,91	377,60	156,80	12,25	
	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	DP	1,25	0,11	0,97	1,76	0,29	0,07	2,82	0,46	67,27	39,19	2,68	
Casca	Méd.	2,97	1,21	10,82	26,65	2,53	0,33	24,47	3,22	48,22	863,80	7,95	
	Mín.	0,69	0,15	5,24	1,26	0,22	0,05	10,92	1,96	8,90	318,00	1,10	
	Máx.	6,19	3,71	14,90	48,66	4,97	0,70	46,74	6,77	166,50	1429,00	40,50	
	N	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
	DP	0,85	0,88	1,73	11,08	1,07	0,11	6,62	1,03	33,38	317,95	5,32	
Galho	Méd.	3,67	0,31	9,63	7,59	0,97	0,33	14,07	6,02	128,96	517,40	11,42	
	Mín.	0,52	0,03	1,09	0,12	0,07	0,06	5,57	1,68	10,30	67,00	2,29	
	Máx.	12,28	1,00	13,00	26,13	2,41	0,91	30,04	12,63	936,00	934,40	31,25	
	N	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
	DP	2,70	0,23	1,83	4,57	0,44	0,15	5,07	2,32	243,62	207,25	6,57	

(20) aderiram à Log-normal, 7,7% (quatro) à Gamma e 3,8% (duas) à Weibull. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

No estrato casca, verificou-se o maior número de aderência a pelo menos uma das distribuições, com os quatro tipos de distribuições ajustadas, enquanto no estrato flor observou-se o maior número de aderências somente à distribuição Normal. Os estratos madeira, raiz e galho apresentaram aderência somente à distribuição Normal e Log-normal. Já no estrato folha, observou-se o menor número de aderências, quanto comparado com

os demais estratos daquela espécie, e nenhum ajuste à distribuição Normal.

O elemento K não apresentou ajuste a nenhuma das funções em todos os estratos estudados, enquanto ao Mn ajustou-se uma das distribuições (Normal, Log-normal ou Gamma) em cada estrato.

Pelos resultados apresentados na Tabela 5, verificou-se que das 55 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Eucalyptus* sp., 76,4% (42) aderiram a alguma das distribuições testadas e 23,6% (treze) não aderiram a nenhuma. Dentro das combinações

Tabela 3 – Estimativas da média (méd.), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio-padrão (DP) dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Pinus* sp.

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Acícula	Méd.	12,18	0,86	8,78	3,46	1,02	0,99	17,73	4,55	283,98	692,51	36,15	
	Mín.	1,23	0,07	0,42	0,10	0,21	0,01	3,04	0,10	19,00	13,60	12,04	
	Máx.	21,60	3,83	28,95	20,93	33,00	7,11	52,61	21,60	8472,00	2246,00	213,80	
	N	268	268	249	230	230	241	243	243	243	243	243	243
	DP	3,81	0,53	7,08	2,68	2,17	0,70	11,26	3,20	564,80	381,18	20,35	
Madeira	Méd.	1,27	0,09	2,87	0,52	0,30	0,33	3,11	4,30	27,78	85,12	10,94	
	Mín.	0,00	0,02	0,27	0,22	0,16	0,20	0,75	0,97	5,00	51,84	6,68	
	Máx.	2,98	0,26	7,80	1,00	0,50	0,62	6,93	13,00	233,50	154,86	19,63	
	N	48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	DP	0,79	0,07	3,11	0,18	0,11	0,10	1,72	3,31	37,80	21,84	3,32	
Casca	Méd.	3,21	0,30	4,03	1,44	0,54	1,13	11,23	6,98	986,46	75,33	17,83	
	Mín.	1,23	0,03	0,23	0,26	0,07	0,05	0,75	2,99	5,00	14,80	7,49	
	Máx.	14,17	2,15	14,40	9,49	3,58	2,50	44,58	36,12	17994,0	543,00	47,00	
	N	59	59	59	59	59	56	58	58	58	58	58	56
	DP	2,51	0,39	4,41	1,60	0,74	0,52	8,47	6,47	2977,68	81,53	10,60	
Galho	Méd.	4,59	0,33	6,67	4,41	0,86	0,76	16,52	9,78	168,11	235,90	23,79	
	Mín.	1,23	0,02	0,22	1,20	0,30	0,27	1,50	1,00	5,00	19,80	6,50	
	Máx.	12,56	1,05	27,14	37,38	3,33	4,34	35,25	483,00	1384,00	869,50	137,62	
	N	112	110	112	112	112	107	82	107	107	107	107	107
	DP	2,46	0,20	6,41	5,94	0,55	0,61	10,31	46,25	197,77	127,55	14,20	

de valores que seguiam alguma distribuição, 64,3% (27) se aderiram à Normal, 26,2% (onze) se aderiram à Log-normal, 7,1% (três) à Weibull e 2,4% (uma) à Gamma. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

Os maiores números de ajustes à distribuição normal deram-se nos estratos raiz e casca, e, na raiz, ocorreu somente ajuste à Normal. Os estratos folha e madeira apresentaram ajustes às distribuições Normal, Log-normal e Weibull, e o estrato galho aderiu a pelo menos uma das quatro funções testadas. Os elementos N, Ca e Mg ajustaram-se a alguma função em todos os estratos, e o Ca e Mg, além de B, Cu, Mn e Zn, ajustaram-se à distribuição Normal em pelo menos três estratos.

Na Tabela 6, observou-se que, das 44 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Pinus* sp., 65,9% (29) aderiram a alguma das distribuições avaliadas e 34,1% (15) não aderiram a nenhuma delas. Dentro das combina-

ções de valores que seguiam alguma distribuição, 58,6% (17) se aderiram à Log-normal, 20,7% (seis) à Normal, 17,2% (cinco) à distribuição Weibull e 3,4% (uma) à Gamma. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

No estrato madeira, ocorreu o maior número de aderência a alguma das distribuições, com quatro ajustes à distribuição Normal e o único ajuste à distribuição Gamma. No estrato casca, observou-se nenhuma aderência à distribuição Normal, enquanto os estratos acícula e galho apresentaram pelo menos uma aderência. Os estratos acícula, madeira e galho apresentaram ajustes a três funções testadas, e o estrato casca apresentou dois tipos de função ajustada, sendo a maioria à distribuição Log-normal.

Os elementos N, P, B e Fe apresentaram ajuste de, pelo menos, uma função em cada estrato, e N e P só se ajustaram à distribuição Normal e Log-normal, enquanto

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Acacia mearnsii*

Função	Estimativas	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		FOLHA										
LOG-NORMAL	média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7353
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3225
GAMMA	α	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,1464	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,8756	-
MADEIRA												
NORMAL	média	1,5943	-	-	1,1296	0,3533	-	5,3739	-	-	-	-
	DP	0,6662	-	-	0,5804	0,4827	-	2,2392	-	-	-	-
LOG-NORMAL	média	-	2,3333	-	-	-	-	-	-	2,3547	1,9712	-
	DP	-	0,6349	-	-	-	-	-	-	1,2749	0,6492	-
CASCA												
NORMAL	média	9,9792	-	-	11,2564	1,4494	-	-	-	52,2963	-	-
	DP	2,2616	-	-	3,1159	0,5951	-	-	-	7,7307	-	-
LOG-NORMAL	média	-	1,1587	-	-	-	- 1,2557	-	-	-	-	-
	DP	-	0,4677	-	-	-	0,4687	-	-	-	-	-
GAMMA	α	-	-	-	-	-	-	-	4,1958	-	10,6165	-
	β	-	-	-	-	-	-	-	0,3979	-	2,4681	-
WEIBULL	β	-	-	-	-	-	-	15,3540	-	-	-	13,8612
	c	-	-	-	-	-	-	2,2135	-	-	-	2,8636
GALHO												
NORMAL	média	5,4179	-	-	-	-	-	12,6327	-	-	-	-
	DP	3,4143	-	-	-	-	-	7,0225	-	-	-	-
LOG-NORMAL	média	-	- 1,2792	-	-	-	-	-	0,8468	3,9599	2,8803	2,6302
	DP	-	0,7998	-	-	-	-	-	0,8078	1,4296	0,7369	0,6743
FLOR												
NORMAL	média	-	0,7480	-	5,1781	-	1,0869	48,5087	-	-	64,3066	20,1790
	DP	-	0,1827	-	1,1347	-	0,4465	19,0944	-	-	4,7360	2,6075
RAIZ												
NORMAL	média	-	-	-	-	0,4102	-	7,4971	-	-	-	15,2632
	DP	-	-	-	-	0,2490	-	3,1826	-	-	-	6,4803
LOG-NORMAL	média	1,1597	- 2,0550	-	0,8820	-	-	-	0,0758	3,9210	2,3548	-
	DP	0,8506	0,8642	-	0,6304	-	-	-	0,9002	1,7401	1,0226	-
FRUTO												
NORMAL	média	18,9688	0,8038	-	4,9725	-	1,3244	-	7,1187	-	69,2426	-
	DP	2,2014	0,2256	-	1,4192	-	0,3800	-	1,2030	-	27,1245	-
LOG-NORMAL	média	-	-	-	-	-	-	3,9538	-	4,6639	-	2,9082
	DP	-	-	-	-	-	-	0,2423	-	0,5322	-	0,2524
GAMMA	α	-	-	-	-	16,7247	-	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	0,1325	-	-	-	-	-	-

B aderiu às Weibull e Gamma e o Fe ajustou-se somente à Log-normal. O elemento Zn não teve nenhuma distribuição ajustada em todos seus estratos.

De maneira geral, dos 176 conjuntos de dados analisados por nutriente e componente em cada espécie,

69,9% (123) ajustaram-se a uma das funções e 30,1% (53) não aderiram a nenhuma das distribuições. Das funções que tiveram aderência, 33,5% (59) ajustaram-se à distribuição Normal, 27,3% (48) à distribuição Log-normal, 5,7% (dez) à Weibull e 3,4% (seis) à Gamma, en-

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Eucalyptus* sp.

Função	Estimativas	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
FOLHA												
LOG-NORMAL	média	24,1404	-	-	-	-	-	-	8,0974	-	891,2670	24,4081
	DP	6,4324	-	-	-	-	-	-	2,0126	-	307,3942	8,7729
NORMAL	média	-	-	-	2,1942	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	0,4763	-	-	-	-	-	-	-
WEIBULL	β	-	-	-	-	3,0327	-	-	-	-	-	-
	c	-	-	-	-	7,4680	-	-	-	-	-	-
MADEIRA												
NORMAL	média	-	-	-	-	-	-	-	-	8,8442	48,4114	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1952	20,7985	-
LOG-NORMAL	média	-	- 2,4148	-	- 0,0472	- 1,7935	- 1,5852	1,4577	-	-	-	-
	DP	-	0,8760	-	0,7256	0,7534	0,3697	0,5185	-	-	-	-
RAIZ												
NORMAL	média	2,1362	-	4,8472	3,2204	0,4362	0,3460	11,5477	1,9225	-	-	7,6791
	DP	1,2467	-	0,9701	1,7554	0,2881	0,0648	2,8203	0,4621	-	-	0,7395
CASCA												
NORMAL	média	2,9671	-	10,8205	26,6543	2,5326	0,3279	24,4690	-	-	863,798	-
	DP	0,8502	-	1,7339	11,0811	1,0665	0,1140	6,6150	-	-	100,5475	-
LOG-NORMAL	média	-	- 0,0942	-	-	-	-	-	-	3,6484	-	0,3101
	DP	-	0,7998	-	-	-	-	-	-	0,6974	-	-
GALHO												
NORMAL	média	-	-	-	7,5919	0,9652	-	14,0661	6,0154	-	517,402	11,4164
	DP	-	-	-	4,5654	0,4404	-	5,0684	2,3233	-	207,2515	6,5679
LOG-NORMAL	média	1,0516	- 1,4787	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	0,7362	0,8687	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GAMMA	α	-	-	-	-	-	5,9326	-	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	0,0559	-	-	-	-	-
WEIBULL	β	-	-	10,2071	-	-	-	-	-	-	-	-
	c	-	-	6,9002	-	-	-	-	-	-	-	-

quanto a distribuição Beta não apresentou nenhum ajuste. Esse resultado comprova a Lei dos Grandes Números (Costa Neto, 1977), na qual consta que, quanto maior o número de observações de uma variável, maior será a probabilidade de apresentar aderência à distribuição Normal, caso dos componentes folhas de acácia e eucalipto e acícula de pinus.

Ao se tratar do comportamento de cada elemento químico individualmente, o N apresentou o maior número de aderências à distribuição Normal (nove), enquanto o K apresentou somente um ajuste, sendo o elemento que menos se ajustou a alguma das funções. O P apresentou o maior número de ajustes à distribuição Log-normal (dez) e o B o menor (duas), mas foi o elemento que obteve o maior número de ajustes em pelo menos uma das distribuições avaliadas, assim como o N. Os

resultados dos elementos Mg, B e Cu ajustaram-se às distribuições: Normal, Log-normal, Gamma e Weibull em seus conjuntos de dados, enquanto o P, Ca e Fe ajustaram-se somente às distribuições Normal e Log-normal. Assim, nenhum elemento apresentou os resultados das análises de laboratório, ajustadas a somente um tipo de distribuição de probabilidade.

O desvio da normalidade confirma a afirmação de que, quanto maior a variabilidade de um conjunto de dados, maior será a dificuldade na sua análise e a aderência à distribuição Normal (Conagin *et al.*, 1995). Esse comportamento de desvio da normalidade devido à variância alta pode ser confirmado, na maioria dos casos, ao se fixar determinado elemento químico dentro de cada espécie florestal e verificar que, naqueles estratos em que a variância (desvio-padrão) apresentou valores

Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Pinus* sp.

Função	Estimativas	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		ACÍCULA										
NORMAL	média	12,1824	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	3,8112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOG-NORMAL	média	-	- 0,3189	-	0,9902	- 0,2483	-	-	-	5,2964	-	-
	DP	-	0,5832	-	0,7375	0,5677	-	-	-	0,7098	-	-
WEIBULL	β	-	-	-	-	-	-	19,8184	5,0192	-	-	-
	c	-	-	-	-	-	-	1,6101	1,4489	-	-	-
MADEIRA												
NORMAL	média	1,2681	-	-	0,5222	-	0,3342	-	-	-	85,1188	-
	DP	0,7937	-	-	0,1786	-	0,0975	-	-	-	21,8408	-
LOG-NORMAL	média	-	- 2,6083	-	-	- 1,2765	-	-	-	2,8770	-	-
	DP	-	0,6891	-	-	0,3677	-	-	-	0,8940	-	-
GAMMA	α	-	-	-	-	-	-	2,6425	-	-	-	-
	β	-	-	-	-	-	-	1,1757	-	-	-	-
CASCA												
LOG-NORMAL	média	0,9836	- 1,6767	-	0,0423	- 1,1601	-	-	-	5,4215	4,0006	-
	DP	0,5589	0,8977	-	0,7304	0,9665	-	-	-	1,5690	0,7593	-
WEIBULL	β	-	-	-	-	-	-	12,2428	-	-	-	-
	χ	-	-	-	-	-	-	1,3554	-	-	-	-
GALHO												
NORMAL	média	-	0,3339	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	0,2034	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOG-NORMAL	média	1,4029	-	-	-	-	- 0,4616	-	1,6148	4,6634	-	-
	DP	0,4809	-	-	-	-	0,5692	-	0,6202	1,0462	-	-
WEIBULL	β	-	-	6,5623	-	-	-	18,2752	-	-	-	-
	c	-	-	0,9628	-	-	-	1,5531	-	-	-	-

altos, houve o desvio da normalidade. A identificação da função densidade de probabilidade é, também, importante para validar os testes de hipóteses, já que testes como t, F e χ^2 requerem distribuição Normal.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, em torno de 70,0% dos conjuntos de dados avaliados, aderiram à alguma das cinco distribuições de probabilidade estudadas; a distribuição de probabilidade que apresentou a maior percentagem de aderência aos valores dos teores dos elementos químicos avaliados em diferentes estratos de três espécies florestais foi a Normal, com 33,5% do total avaliado, enquanto a distribuição Beta não apresentou aderência a nenhum dos conjuntos de dados; a distribuição de probabilidade Log-normal apresentou aderência em 27,3% do total avaliado, a Gamma em 3,4% e a Weibull em 5,7%, enquanto 30,1% dos conjuntos de dados não apresentou nenhuma função ajustada.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES e à FAPERGS, pelos recursos financeiros para a realização do trabalho e bolsas de Produtividade e Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Abreu, E.C.R. et al. (2002) Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. Scientia Forestalis, 61:86-102.
- Assis, F.N. (1991) Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba – SP e Pelotas – RS. Tese de doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 134p.
- Barrichelo, L.R. (2003) Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* de Wild. na região sul. Dissertação de mestrado. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 88p.
- Bartoszeck, A.C.P.S. et al. (2004) A distribuição diamétrica para bracingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. Floresta, 4:305-323.

- Botelho, V.A. & Morais, A.R. (1999) Estimativa dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. *Ciência Agrotecnológica*, 23: 697-706.
- Campos, H. (1983) Estatística experimental não-paramétrica, 4nd ed. Piracicaba, FEALQ. 349p.
- Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R. & Trindade, J.K. (2004) Ajuste de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1157-1166.
- Castro Neto, P. & Silveira, J.V. (1981) Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. I. Períodos mensais. *Ciência e Prática*, 5:144-151.
- Catalunha, M.J.; et al. (2002) Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10:153-162.
- Conagin, A.; Igue, T. & Nagai, V. (1995) Tabelas para determinação do número de repetições no planejamento de experimentos, Campinas, Instituto Agrônomo. 17p. (Boletim Científico, 34).
- Costa Neto, P.L.O. (1977) Estatística. São Paulo, Edgar Blücher. 264p.
- De Hoog, R.J. et al. (1981) Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in southern Brazil. Freiburg. 161 p. (Inaugural-dissertation)
- Dell, B.; Malajczuk, N. & Grove, T.S. (1995) Nutrient disorders in plantation eucalypts. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research. 104p.
- Finger, C.A.G. (1982) Distribuição de diâmetros em acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild., em diferentes povoamentos e idade. Dissertação de mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 129p.
- Friedman, D.G. & Janes, B.E. (1957) Estimation of rainfall probabilities. University of Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin, 332:1-22.
- Gonçalves, J.L.M. (1995) Recomendação de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. Documentos Florestais, 15:1-23.
- Gonçalves, J.L.M. et al. (2000) Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: Gonçalves, L.M.; Benedetti, V. (Eds.) Nutrição e Fertilização Florestal. Piracicaba, IPEF, p.3-57.
- Haag, H.P. et al. (1976) Análise foliar de cinco espécies de eucaliptos. Piracicaba, IPEF, 13:99-116.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. & Oliveira, S.A. (1997) Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações 2nd ed. Piracicaba, POTAFOS. 319p.
- Schumacher, M.V. et al. (2002) Biomassa e distribuição de nutrientes em um povoamento de *Pinus taeda* em Camará do Sul, RS. In: 2º Simposio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Viçosa. Anais, Universidade Federal de Viçosa. p.652.
- Scolforo, J.R.S. & Machado, S.A. (1996) Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. *Scientia Forestalis*, 50:51-64.
- Thiersch, A. (1997) Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*. Lavras. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras. 115p.
- Vezzani, F.M. (1997) Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* (Smith) e *Acacia mearnsii mearnsii* (De Wild.). Porto Alegre. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 97p.