

Foto: Jorge Lima



Metodologia para Agrupar Espécies Arbóreas da Floresta Natural através de Características do Solo

Jorge Araújo de Sousa Lima⁷Neli do Amaral Meneguelli¹Aderaldo Batista Gazel Filho²Daniel Vidal Pérez³

Introdução

O agrupamento de espécies arbóreas da floresta tropical constitui-se num meio para desenvolver modelos que representem, ainda que parcialmente, a extrema complexidade das relações ecológicas desse ecossistema (Brokaw & Busing, 2000). O interesse de tal processo justifica-se pelo subsídio que proporciona à silvicultura através de um maior conhecimento das relações entre espécies e ambiente, bem como, às estratégias de conservação e uso de germoplasmas.

Há vários modelos de agrupamento das espécies arbóreas dos ambientes tropicais. Entre os mais conhecidos, encontram-se os que consideram as exigências ou respostas às variações de temperatura, radiação solar ou à presença em determinadas fases da sucessão vegetal (Budowski, 1965; Swaine & Whitmore, 1988), como também através de características edáficas (Silva, 1993). Assim, por exemplo, espécies tolerantes à sombra densa da floresta primária são consideradas, por alguns autores, como clímax ou esciófitas, enquanto aquelas, de maior exigência em radiação solar, ou heliófitas, representariam as fases iniciais do processo de sucessão.

Neste trabalho, agruparam-se as espécies arbóreas abundantes de uma floresta primária de terra firme por atributos do solo, a partir do inventário florestal realizado pela Embrapa Amapá, em uma floresta primária de terra firme local.

Métodos de Campo

O recurso estudado é uma fração de 100 ha (1.000 m x 1.000 m) de floresta primária de terra firme, demarcada numa propriedade de 1.000 ha, pertencente à Embrapa Amapá, Município de Mazagão (AP), ramal do Camaipi, o que lhe confere a denominação Floresta do Camaipi. O relevo é suave ondulado, sendo o solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Maiores detalhes do sítio estão descritos em Lima *et al.* (2003).

Estabeleceram-se 12 parcelas quadradas de 1 ha, distribuídas, aleatoriamente, na área experimental sob a restrição de estarem afastadas entre si por, pelo menos, 50 m. Cada parcela foi subdividida em 100 subparcelas de 100 m² (10 m x 10 m) (Synnott, 1979). Nestas, foram identificadas no campo ou em laboratório, com amostras

¹ Pesquisador, MSc, da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22460-000. E-mail: jorge@cnps.embrapa.br, neli@cnps.embrapa.br

² Pesquisador da Embrapa Amapá, Rod JK, km 10, Caixa Postal 10. CEP 66.906-670 Amapá/AP. E-mail: aderaldo@cpafap.embrapa.br

³ Pesquisador da Embrapa Solos, PhD, Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22460-000. E-mail: daniel@cnps.embrapa.br

dendrológicas, todas as árvores, pelo menos ao nível de família, com diâmetro à altura do peito (DAP = 1,30 m) a partir de 5 cm.

A amostragem do solo cobriu 20% das subparcelas sendo, a amostra, composta de três sub-amostras referentes à tráfegem a profundidade de 20 cm. As amostras de solo foram submetidas, nos laboratórios da Embrapa-Amapá, às seguintes determinações analíticas: pH, Al, Ca, Mg, H, P, K, C, Areia, Silte e Argila, sendo estimados também, os seguintes atributos: Soma de Bases ($S = Ca + Mg + Na + K$), Capacidade de Troca Catiônica ($CTC = S + H + Al$), Saturação de Bases ($V = 100.S / T$) e Saturação de Alumínio ($m = 100.Al / S + Al$). Em todos os casos, as determinações seguiram a metodologia da Embrapa (1997). Os resultados foram atribuídos às plantas presentes nas subparcelas e, para fins das análises estatísticas, obteve-se a média dos atributos do solo por espécie, considerando, para essa média, todas as plantas de cada espécie nas várias subparcelas.

Para a definição das espécies que fizeram parte desse estudo, foram estabelecidos, arbitrariamente, os seguintes critérios: (1) consideraram-se somente as espécies presentes nas 240 subparcelas amostradas para análise de solo; (2) as espécies deveriam estar presentes em, pelo menos, 4 parcelas e apresentar número de indivíduos próximo a 30.

Procedimentos Estatísticos

Os resultados relativos às variáveis de solo foram considerados como atributos das plantas presentes na subparcela. Foi determinada a média, de cada uma das variáveis, por espécie, considerando-a como um atributo da espécie e associando o número de plantas, para fins das seguintes análises multivariadas: análise de clusters (grupos), pelo método da variância mínima, aferida pela análise combinada *a posteriori* e pela análise discriminante canônica. Após a obtenção dos grupos, seguiram-se as análises de variância multi e univariada e o teste de Tukey para grupos, comparando-os por variável.

O teste de normalidade foi realizado através do procedimento UNIVARIATE NORMAL que gerou, através do teste de Shapiro-Wilk, índices entre 0,84 e 0,99, evidenciando a distribuição normal das variáveis do solo.

As análises estatísticas foram efetuadas pelo Sistema SAS (Statistical Analysis System), versão 8.2 (SAS Institute, 1999).

Definição do número de grupos (*Clusters*)

Procedeu-se a análise de agrupamento dos dados (cluster analysis) com o objetivo de formar grupos que permitissem reconhecer similaridades entre seus membros, e, dissimilaridades com os membros dos demais grupos. Para tanto, utilizou-se o método da variância mínima de Ward (CLUSTER METHOD = WAR), que, embora mostre tendência de formar grupos de mesmo tamanho, tem, também, bom desempenho para agrupamentos com contrastes pobres entre grupos (SAS Institute, 1999), o que é adequado porquanto se espera que as diferenças edáficas entre espécies adaptadas a um mesmo sítio não se expressem com altos níveis de grandeza, a ponto de formar vários grupos de poucas espécies, até porque as amplitudes de variação referentes as variáveis de solo, em geral, foram relativamente reduzidas (Tabela 1).

Foram identificados 3 grupos, tendo em vista os picos indicadores expostos na Tabela 2. Cabe esclarecer que o teste T^2 baseia-se na estatística de Hotelling (T^2), que representa uma generalização do quadrado das distâncias entre vetores de médias, gerando uma distribuição F de Snedecor (Calinski & Harabasz, 1974; Duda & Hart, 1973; Resende, 2002). A maneira usual de interpretação dos resultados consiste na observação seqüencial dos resultados, no caso, de cima para baixo na Tabela 2. Enquanto o teste F indica um pico na altura de $HA=3$, o teste T^2 indica dois picos, um a altura de $HA=9$ e outro com $HA=3$.

De acordo com o dendrograma, que indica passo a passo o histórico do processo de agrupamento das espécies (Figura 1),

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo do Camaipi. Embrapa Amapá, Mazagão, AP, 1997.

Atributos	pH	Al	H	Ca	Mg	K	P	C
				(mmol _c dm ⁻³)			(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)
média	4,2	18,2	60,2	2,3	2,0	0,45	1,5	26,0
desvio pad	0,1	2,7	16,0	0,8	0,6	0,28	0,8	4,5
Atributos	Areia	Silte	Argila	S	CTC	V	m	
	(g kg ⁻¹)			(mmol _c dm ⁻³)		(%)		
média	205	291	504	0,47	8,3	5,8	80	
desvio pad	90	68	66	0,15	1,9	1,9	4	

Tabela 2. Histórico do processo de agrupamento (HA), grupos formados, frequência dos grupos (F), Regressão Múltipla (R²), Pseudo F, Pseudo T².

ha	-----Clusters Formados-----		Freq	R ²	PSF	PST ²
31	Trattinickia rhoifolia	Sclerolobium guianensis	2	.997	13.2	.
30	Ocotea baturitensis	Manilkara paraensis	2	.995	12.6	.
29	Annona sericea	Inga edulis	2	.992	12.5	.
28	Pithecelobium racemosum	Rinorea macrocarpa	2	.988	12.0	.
27	Licania sp	Vochysia guianensis	2	.984	11.7	.
26	Pouteria guianensis	Mouriri torquata	2	.979	10.9	.
25	Protium pallidum	Geissospermum argenteum	2	.972	10.2	.
24	Sterculio pilosa	Holopyxidium jarana	2	.966	9.9	.
23	CL28	CL31	4	.959	9.7	2.1
22	Protium opacum	CL27	3	.952	9.4	1.9
21	Licania incana	Licania heteromorpha	2	.944	9.2	.
20	Annona sp.	Inga paraensis	2	.935	9.1	.
19	CL26	Aniba guianensis	3	.925	8.9	2.0
18	Aspidosperma macrocarpon	Miconia prasina	2	.914	8.7	.
17	Taralea oppositifolia	Tachigalia myrmecophylla	2	.903	8.7	.
16	Eugenia prosoneura	CL30	3	.892	8.8	3.7
15	CL18	Lecythis persistens	3	.877	8.6	1.5
14	Aspidosperma rigidum	CL20	3	.859	8.4	2.0
13	CL19	CL23	7	.841	8.4	3.0
12	CL15	CL22	6	.823	8.4	2.0
11	CL25	CL16	5	.802	8.5	3.2
10	CL24	Myrcia bracteata	3	.779	8.6	3.6
9	CL29	Euphorbiaceae no id	3	.757	9.0	7.0
8	Rinorea flavescens	CL9	4	.728	9.2	2.4
7	CL21	CL17	4	.693	9.4	3.7
6	CL11	CL7	9	.653	9.8	3.0
5	CL10	CL14	6	.592	9.8	4.3
4	CL6	CL8	13	.511	9.7	4.7
3	CL13	CL12	13	.445	11.6	7.1
2	CL4	CL5	19	.233	9.1	9.3
1	CL3	CL2	32	.000	.	9.1

observa-se que aquele com três grupos, é o que mais nitidamente os separa. No mesmo sentido, os gráficos da Figura 2, que indicam a posição dos grupos referentes à relação multivariada entre atributos de solo e as espécies através das variáveis canônicas, indicam uma melhor definição com três grupos uma vez que, com cinco, observou-se que, aquele identificado por "2" apresenta observações (espécies) compreendidas nos grupos "5" e "1". Considerando 4 grupos, observa-se uma sobreposição de observações entre os grupos "4" e "2", já com 3 grupos, verifica-se um melhor contraste entre os grupos formados, não obstante, seja o de menor R² (Tabela 2).

Assim, foi obtido com três grupos o melhor resultado de agrupamento, o que foi confirmado pela análise combinada a posteriori, através da análise discriminante (PROC DISCRIM), que detectou altas probabilidades de acerto na designação de espécies ao grupo respectivo (Tabela 3).

Identificação das Variáveis mais Importantes na Formação dos Grupos

Para identificar as variáveis mais importantes no contraste entre grupos, utilizou-se a análise discriminante canônica (PROC CANDISC), que forneceu as correlações entre as variáveis originais e as variáveis canônicas (Tabela 4). A variável canônica 1 apresentou maiores correlações com Ca, Mg e soma de bases, tendo também resultados de importância com saturação por bases (positiva) e saturação por alumínio (negativa). Já a variável canônica 2, cuja projeção diferencia melhor o grupo 3 dos demais (Figura 1), as variáveis mais importantes foram H, CTC, K e P, com correlações positivas, além de Silte e C, cujas correlações foram negativas.

Comparação Univariada entre Grupos

Para efeito da comparação entre os grupos, por variável de solo e número de plantas, foi utilizado o procedimento GLM, através do teste de Tukey (Tabela 5).

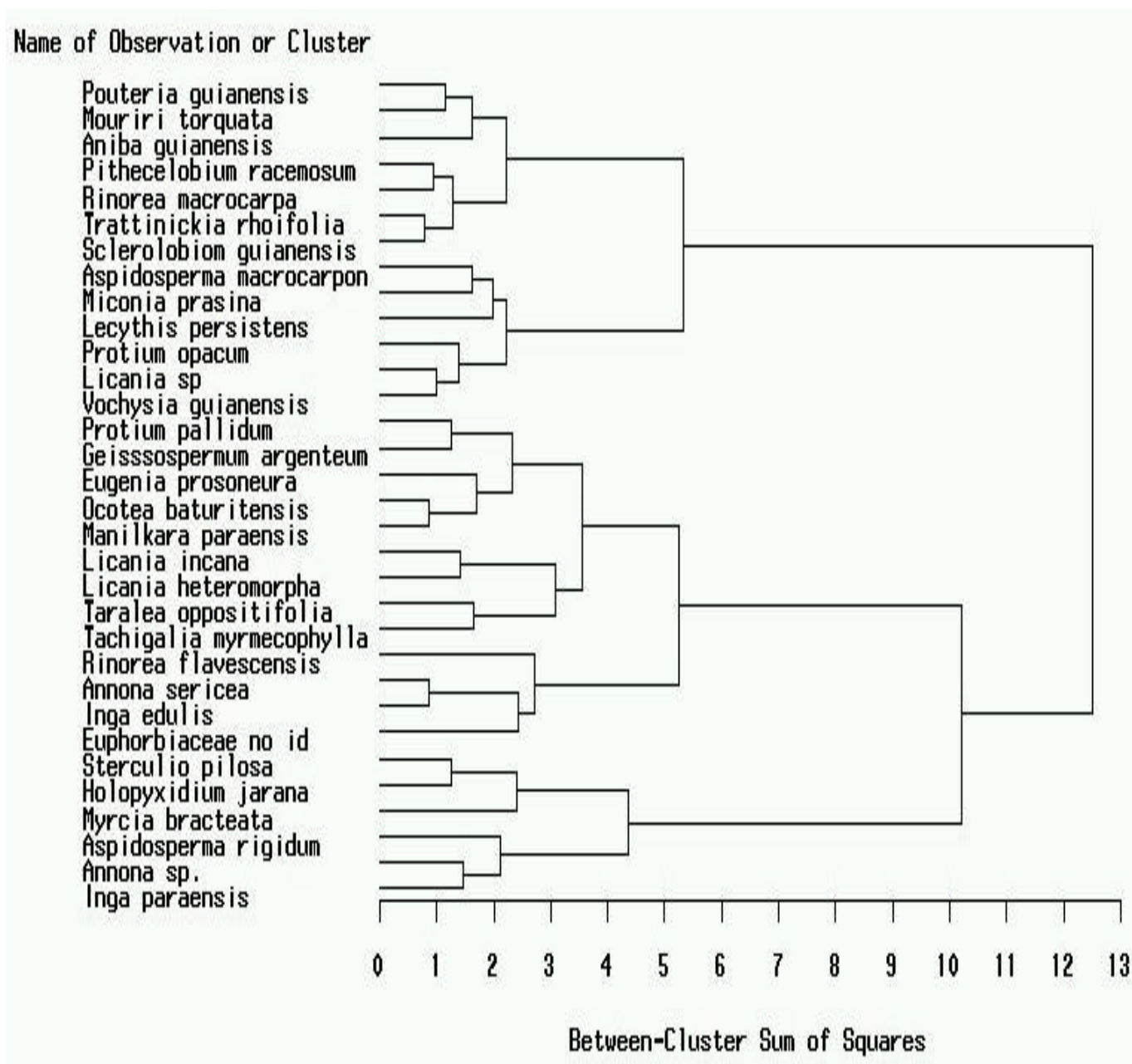


Figura 1. Dendrograma representando o processo de agrupamento das espécies no sentido horizontal, relativo a soma de quadrados entre grupos (PROC TREE GRAPHICS HORIZONTAL).

Em concordância com os resultados da matriz de correlações (Tabela 4), através da comparação de médias (Tabela 5), pôde-se detectar, nitidamente, a diferenciação do grupo 1 dos outros dois. As médias de Ca, Mg e soma de bases foram, significativamente, menores para o grupo 1 do que para os demais, enquanto a média da saturação de alumínio foi mais alta. Da mesma forma, a diferenciação do grupo 3, segundo a variável canônica 2 (Tabela 4), tem suporte na comparação de médias (Tabela 5), sendo, significativamente, superior em H, K, P e CTC em relação aos demais grupos e menor quanto ao Silte.

Os grupos 3 e 1 foram os que apresentaram maior número de diferenças entre si sendo, estatisticamente, semelhantes apenas em C e saturação de bases, além de pH e argila que

mostraram-se iguais nos três grupos (Tabela 5). Esses dois grupos representaram as tendências mais distantes (Figura 1), em termos de variáveis de solo, contudo não foram diferentes, do ponto de vista estatístico, quanto ao número médio de plantas (Tabela 5). O grupo 2, que tendeu a ocupar a faixa intermediária dos atributos de solo, apresentou, praticamente, a mesma quantidade de semelhanças e dessemelhanças em relação aos demais grupos.

Conclusão

As espécies arbóreas mais abundantes da Floresta do Camaipi, formam três grupos, e os atributos de solo determinantes na formação desses grupos são Ca, Mg, K e Al.

Tabela 3. Probabilidade de classificação a posteriori de uma espécie no grupo (cluster) designado e alternativo.

ESPÉCIE	GRUPO		A G R U P A M E N T O S		
	DESIGNADO	ALTERNATIVO	1	2	3
1	1	1	0.8958	0.1042	0.0000
2	1	1	0.9399	0.0509	0.0092
3	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
4	2	2	0.0001	0.9995	0.0003
5	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
6	1	1	0.9952	0.0032	0.0016
7	2	2	0.0227	0.9773	0.0000
8	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
9	3	3	0.0000	0.0000	1.0000
10	3	3	0.0001	0.0436	0.9563
11	2	2	0.0000	1.0000	0.0000
12	1	1	0.9999	0.0001	0.0000
13	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
14	2	2	0.0002	0.9988	0.0010
15	3	3	0.0002	0.0000	0.9998
16	2	2	0.0002	0.9997	0.0001
17	2	2	0.0007	0.9744	0.0249
18	3	3	0.0000	0.0003	0.9997
19	2	2	0.0001	0.9999	0.0000
20	3	3	0.0000	0.0000	1.0000
21	2	2	0.0000	1.0000	0.0000
22	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
23	2	2	0.0017	0.9977	0.0006
24	2	2	0.0026	0.9974	0.0000
25	2	2	0.0012	0.9019	0.0969
26	1	1	0.9997	0.0003	0.0000
27	3	3	0.0000	0.0004	0.9996
28	1	1	1.0000	0.0000	0.0000
29	2	2	0.0000	0.9731	0.0269
30	1	1	0.9951	0.0049	0.0000
31	2	2	0.0000	1.0000	0.0000
32	1	1	0.9998	0.0002	0

Tabela 4. Correlações parciais entre variáveis originais e canônicas 1 e 2 (CAN 1 E CAN 2) de espécies arbóreas da floresta do Camaipi. Embrapa Amapá, Mazagão, AP, 1997.

VARIÁVEIS ORIGINAIS	CORRELAÇÕES	
	CAN 1 R ² = 0,82	CAN 2 R ² = 0,73
Número de Plantas	0,27	-0,50
pH	0,34	0,29
Al	0,34	0,44
Ca	0,91	-0,17
Mg	0,82	0,15
H	0,37	0,80
P	0,44	0,68
K	0,46	0,77
C	0,02	-0,74
Areia	0,16	0,63
Silte	-0,11	-0,78
Argila	-0,07	0,18
Soma de bases	0,90	0,19
CTC	0,42	0,77
Saturação por bases	0,66	-0,54
Saturação por Al	-0,78	-0,09

Obs.: As variáveis canônicas são combinações lineares das variáveis quantitativas. A variável canônica 1 representa a combinação linear de máxima correlação múltipla possível com os grupos, a canônica 2 representa a de máxima correlação possível com os grupos, não correlacionada com a canônica 1.

Tabela 5. Comparação entre os grupos 1,2 e 3, quanto ao número médio de plantas de espécies arbóreas (N° pl) e por atributos de solo na Floresta do Camaipi. Embrapa Amapá, Mazagão, AP, 1997.

GRUPO	N° pl		pH		Al		Ca		Mg		H		K		P	
									mmolc dm ⁻³				mg dm ⁻³			
1	73	ab	4,1	a	17,2	b	1,9	b	1,7	b	52,3	b	0,3	b	1,1	b
2	128	a	4,1	a	17,4	ab	2,2	a	1,9	a	53,0	b	0,3	b	1,2	b
3	50	b	4,2	a	18,1	a	2,1	a	2,0	a	62,3	a	0,5	a	1,6	a
	C		Areia		Silte		Argila		S		CTC		V bV		m	
	mg dm ⁻³				g kg ⁻¹				mmolc dm ⁻³				%			
1	25,3	b	200	b	303	a	497	a	0,39	b	7,3	b	5,4	b	82	a
2	26,0	a	197	b	310	a	493	a	0,45	a	7,5	b	6,1	a	80	b
3	24,0	b	230	a	271	b	499	a	0,465	a	8,5	a	5,5	b	79	b

(1) Grupos seguidos de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si (P>0,05), pelo teste de Tukey.

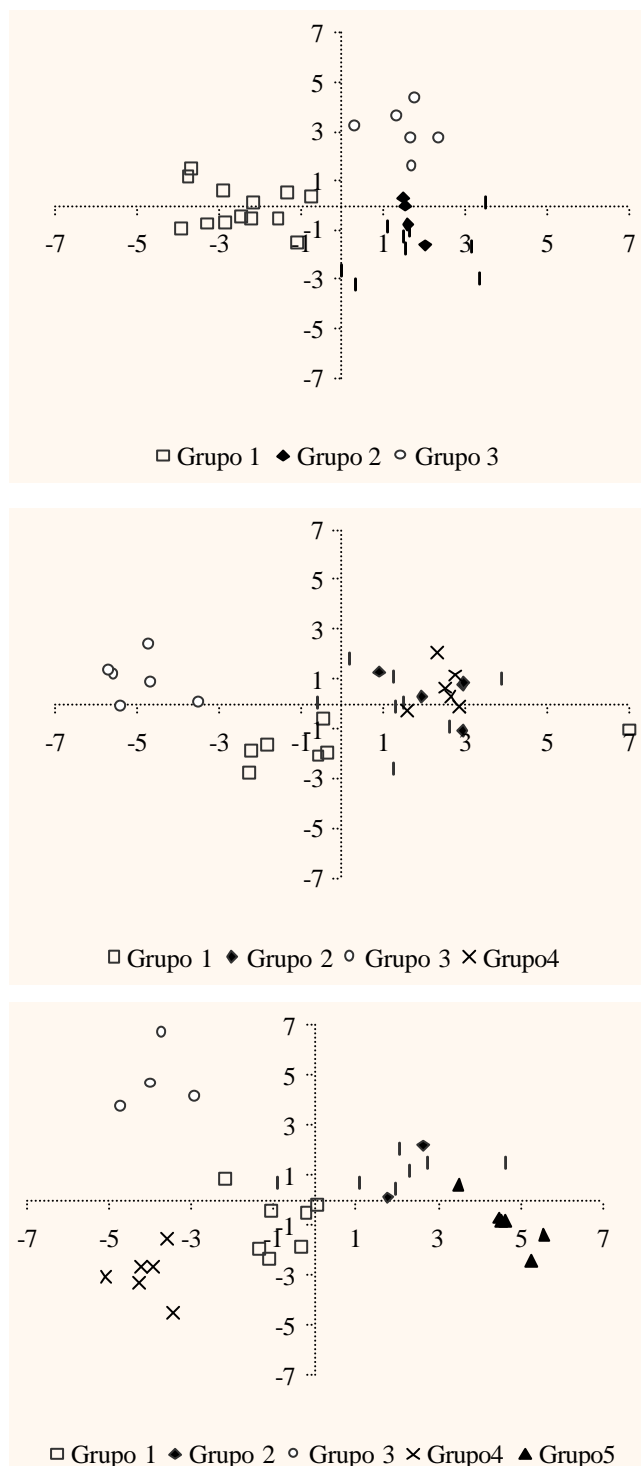


Figura 2. Variáveis canônicas 1 e 2, e agrupamentos obtidos para 5 (A), 4 (B) e 3 grupos (C). (PROC PLOT; PLOT CAN2*CAN1 = CLUSTER).

Referências Bibliográficas

- BROKAW, N.; BUSING, R. T. Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. **Trends in ecology and evolution**, Oxford, v. 15, n. 5, p. 183-188, 2000.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, San Jose, Costa Rica, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.
- CALINSKI, T.; HARABASZ, J. A Dendrite method for cluster analysis. **Communications in Statistics**, New York, v. 3, p. 1 – 27, 1974
- DUDA, R.O. and HART, P.E. **Pattern Classification and Scene Analysis**, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- DUDA, R.O. and HART, P.E. **Pattern Classification and Scene Analysis**, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1973.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa - Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- LIMA, J. A. S.; MENEGUELLI, N. A.; GAZEL FILHO, A. B.; PÉREZ, D. V. Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical por características de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38., n. 1, p. 109-116, jan. 2003.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília. DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p
- SAS INSTITUTE INC. **SAS OnlineDoc®**, Version 8. Cary, NC, 1999. 1 CD ROM.
- SILVA, J. G. M. da. **Relações solo-vegetação como instrumento para o manejo da vegetação do cerrado no Triângulo Mineiro**. 1993. 136 f. Tese – Doutorado - UFV, Viçosa.
- SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetation Acta Geobotanica**, The Hague-Holanda, v. 75, p. 81-86, 1988.
- SYNNOTT, T. J. **A manual of permanent plot procedures for tropical rainforests**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1979. 67 p. (Occasional Paper, n.14).

Comunicado Técnico, 15

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim

Botânico - Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5991

E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>

1ª edição

1ª impressão (2003): 300 exemplares

Expediente

Supervisor editorial: Jacqueline S. Rezende Mattos

Revisão de texto: André Luiz da Silva Lopes

Tratamento das ilustrações: André Luiz da Silva Lopes

Editoração eletrônica: André Luiz da Silva Lopes

Jacqueline S. Rezende Mattos