Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Estatística

Determinação dos Componentes de Fertilidade do Solo da Região de Gouveia–MG, através de Técnicas de Análise Estatística Multivariada

P. S. Lucio, A. Santos, R. C. Souza, M. Amaral e C. H. R. R. Augustin

Relatório Técnico RTA-01/99

Relatório Técnico
Série Assessoria

Determinação dos Componentes de Fertilidade do Solo da Região de Gouveia – MG, através de Técnicas de Análise Estatística Multivariada.

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio – ICEx/UFMG
Alexandra Santos – ICEx/UFMG
Roberta Campos de Souza – ICEx/UFMG
Múcio do Amaral – IGC/UFMG
Prof[a]. Dr[a]. Cristina H. R. R. Augustin – IGC/UFMG

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO

Esta análise estatística é uma extensão de um estudo feito pelo Departamento de Geografia do Instituto de Geo-Ciências da UFMG na região de Gouveia, em Minas Gerais; e tem como meta contribuir para uma melhor utilização e até como uma alternativa de uso do solo desta região.

A região do Município de Gouveia tem sido objeto de vários estudos geomorfológicos nos últimos anos em razão da sua significativa diversidade morfoestrutural e também por abundância de focos de erosão acelerada. Por esse motivo, a região foi escolhida para estudo com o propósito de melhorar e preservar o seu solo, na tentativa de minimizar as consequências do processo de voçorocamento.

Apesar dos vários estudos realizados sobre esse tema, o controle destas formas erosivas ainda não foi determinado. Pretendemos então, a partir deste estudo, realizar técnicas estatísticas na análise de dados reais.

Uma vez concluído através da análise estatística, este trabalho poderá auxiliar no uso adequado do solo.

II. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICA DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Gouveia localiza-se na Zona do Alto Jequitinhonha e faz parte da microrregião mineradora de Diamantina. Tem como limites Santana do Pirapama e Conceição do Mato Dentro ao sul; Presidente Juscelino a sudoeste; Diamantina ao norte; Datas a leste; Monjolos e Santo Hipólito a noroeste.

Está localizado no Espinhaço Meridional e a característica fundamental deste planalto, do ponto de vista geológico, é a predominância absoluta de quartzitos, que compõem uma cobertura rígida, no entanto, densamente fraturada e cisalhada.

Quanto aos processos erosivos desta região são acentuados e variados, sendo o mais comum a erosão laminar ou em lençol, disseminada por todo o município. Ocorrem também, rastejamentos, ravinamentos e corridas de lama. Os deslizamentos e os rastejamentos são freqüentes em áreas onde a declividade é mais acentuada. A erosão acelerada ocorre em quase todo o município. O estágio desse processo atinge níveis críticos sob a forma de voçorocas que tendem a se ampliar e ramificar retirando o solo e contribuindo significativamente para o assoriamento dos cursos d'água [Alves, D.M.,1996].

III. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE VOÇOROCAMENTO

Voçoroca é um termo Tupi-Guarani que tem como significado "*terra rasgada*" e são definidas como canais nos quais a largura e a profundidade não permitem o uso desta porção de terra para a agricultura. Em outras palavras, são canais nos quais é impraticável o uso de implementos agrícolas, visto que estes não podem atravessá-los.

O aparecimento e desenvolvimento de uma voçoroca é um processo complexo que envolve a erosão, os movimentos de massa e as características pedo-geomorfo-geológica e meteorológicas locais; além da interferência da ação do homem. A erosão devido à atuação da água ocorrerá com a combinação adequada da energia da água de chuva e do fluxo superficial para romper a resistência do solo à remoção.

A erosão é um processo natural, que ocorre no tempo geológico em escalas diferentes, em diferentes ambientes; podendo ser iniciado ou acelerado por mudanças climáticas, atividades tectônicas, interferência humana e suas interrelações com o meio.

EROSÃO = f (EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE)

<u>Erosividade</u>

É definida como a capacidade da chuva em causar erosão, sendo função das características da chuva, a intensidade com que ocorre. A intensidade da chuva tem papel relevante nas taxas de infiltração da água no solo, porque esta ao atingir um certo limite "pára" de se infiltrar e passa a escoar como fluxo superficial.

O fator erosividade depende das condições climáticas da região, na qual ocorre a precipitação da chuva, e do solo que esta atinge.

<u>Erodibilidade</u>

É o fator que depende das condições do solo quanto às suas características, propriedades, etc, e da interação do homem com o mesmo.

Os fatores preponderantes que caracterizam a erodibilidade são:

- propriedades do solo (textura, densidade aparente, porosidade/permeabilidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados do solo);
- características da encostas (forma, comprimento, declividade);
- cobertura vegetal (diversidade, densidade, porte) e
- escoamento.

- Conduziremos nosso estudo dando ênfase às propriedades do solo, principalmente quanto ao teor de matéria orgânica e teor e estabilidade dos agregados existente nos solos da região de Gouveia.

IV. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

"O teor de matéria orgânica afeta de diversas maneiras a erosão do solo. Na literatura convencional encontra-se uma acelerada correlação inversa entre erodibilidade e matéria orgânica, em especial para solos com alto teor de silte e argila. Entretanto, esta correlação decresce bastante para solos argilosos" (in: Guerra, 1994). A matéria orgânica liga as superfícies externas das argilas e quando estas se dilatam os esforços são transmitidos pelas ligações feitas pelas matéria orgânica, e a ruptura dos agregados é evitada. Contudo, outros componentes podem também afetar a estabilidade dos agregados: Fe e Al. Solo com características latossólicas são quimicamente pobres em bases (Na, Ca, Mg) e ricos em sesquióxidos de Fe e Al, tendendo em geral a estruturar-se por meio de agregação ou em estruturas maciças; estas formas de organização estrutural dão ao solo alta porosidade entre as partículas. Por outro lado, solo com alto conteúdo em bases tendem em geral a estruturas poliédricas apresentando pequena porosidade entre partículas e menor permeabilidade em relação aos latossolos.

As variáveis do solo que compõem o presente estudo estão caracterizadas em dois grupos:

1. Variáveis Granulométricas:

⇒ **Silte** - % H_2O;
⇒ **Argila** - % H_2O;
⇒ **Areia** - % H_2O;

2. Variáveis Geoquímicas (associadas construtivamente (+) ou destrutivamente (-) à fertilidade do solo):

⇒ **SiO_2** - em %;
⇒ **Al_2O_3** - em %;
⇒ **Fe_2O_3** - em %;
⇒ **M.O.** - Matéria Orgânica (%);
⇒ **pH (H_2O)** - Potencial Hidrogeniônico na água;
⇒ **H** - Hidrogênio (Eq. Mg/100cc Solo);
⇒ **Al** - Alumínio (Eq. Mg/100cc Solo);
⇒ **Ca** - Cálcio (Eq. Mg/100cc Solo);
⇒ **Mg** - Magnésio (Eq. Mg/100cc Solo);
⇒ **K** - Potássio (em ppm);
⇒ **C** - Carbono (em %);
⇒ **N** - Nitrogênio (em %).

V. OBJETIVO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA

O fundamental, no presente estudo, é a identificação e caracterização dos solos ao longo de uma vertente, diferenciadas em função da sua posição, seja na alta, média ou baixa; inseridas em duas áreas diferentes (geomorfologicamente predeterminadas) na região de Gouveia - MG.

Destacaremos os estudos que serão realizados através da análise estatística, com base na meta de melhoria e preservação do solo da região:

- verificar se ocorre diferenciação entre as duas **áreas** quanto ao material geoquímico e ao material granulométrico;

- verificar se ocorre diferenciação entre as **posições nas vertentes** (alta, média e baixa) quanto ao material geoquímico e granulométrico;

- verificar se ocorre diferenciação entre as **cinco vertentes** quanto ao material geoquímico e ao material granulométrico;

VI. METODOLOGIA ESTATÍSTICA

A metodologia utilizada neste estudo é basicamente a análise multivariada dos dados. Num primeiro momento apresentamos uma análise descritiva dos dados usando a estratificação por área, posição na vertente e comparação das variáveis dentre as cinco vertentes. O objetivo é a visualização dos dados e a forma como eles se apresentam.

A análise gráfica tem como objetivo a visualização das características marcantes do processo em estudo. Para esse propósito as variáveis de interesse foram representadas através de gráficos BOX-PLOT. Este gráfico apresenta simultaneamente várias características de um conjunto de dados: locação, dispersão, simetria ou assimetria e presença de observações discrepantes (“outliers”), ou seja, observações não condizentes com as demais.

Na análise multivariada, empregamos principalmente a Análise de Componentes Principais e Análise de Conglomerados. Esta segunda, com o objetivo de verificar a existência de agrupamento entre as variáveis, aquela primeira com objetivo de reduzir o número de variáveis a serem analisadas e interpretar as combinações lineares produzidas.

Apresentaremos, também, um Teste-*t* comparativo, com objetivo de estudar o comportamento das médias de cada uma das variáveis em estudo com relação à sua posição na vertente.

VII. ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Com o objetivo de obtermos uma visão geral do conjunto de dados e avaliarmos a existência de padrões de comportamento entre as variáveis, apresentaremos uma análise descritiva dos dados através de tabelas e gráficos.

As variáveis foram estratificadas por:

- área;
- posição na vertente;
- cada uma das cinco vertentes.

ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS ELEMENTOS DO SOLO DA PORÇÃO OESTE-MERIDIONAL DO MUNICÍPIO DE GOUVEIA- MG

Análise Descritiva por Área:

Na **Área 1** foram coletadas 18 amostras de cada variável (veja *Lucio et. al*, 1997), enquanto que na **Área 2**, 26 observações foram realizadas. No total são 44 observações a serem analisadas.

Pode-se observar através da tabela abaixo, que a média e mediana das variáveis apresentam valores muito próximos!

As variáveis que apresentam os maiores coeficientes de variação (CV) na **Área1** são Al, Ca e K. Em contrapartida, relativo à **Área2** as variáveis que apresentam os maiores coeficientes de variação (CV) são apenas Al e K.

A diferença entre as médias relativas às duas áreas não é visualmente detectada. Para tanto, um teste estatístico torna-se necessário para que se possa, a um determinado nível de significância, obter conclusões com base no comportamento dos dados.

Variável	A	Média	Mediana	Desvio Padrão	CV (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Q1	Q3
SiO2(%)	1	29.14	28.26	4.550	.156	21.47	37.18	25.08	32.65
	2	28.21	28.96	4.315	.153	18.13	34.32	25.17	32.12
Al2O3(%)	1	35.45	35.70	1.903	.054	31.45	38.35	33.95	36.82
	2	35.07	34.93	2.865	.082	28.93	39.89	33.93	37.09
Fe2O3(%)	1	11.72	10.95	4.022	.343	7.18	18.30	7.71	15.09
	2	14.60	12.63	5.180	.345	9.37	27.90	11.45	15.01
Mat.Org(%)	1	2.23	2.08	0.872	.039	1.06	4.42	1.55	2.72
	2	2.61	2.48	1.171	.450	0.96	5.01	1.37	3.63
Argila(%)	1	26.89	27.00	6.360	.236	16.00	38.00	20.75	32.25
	2	22.38	20.50	7.330	.327	9.00	38.00	17.75	30.25
Silte(%)	1	23.06	22.00	5.200	.225	14.00	39.00	20.50	26.00
	2	28.38	27.50	6.970	.240	12.00	41.00	24.00	33.25
Areia(%H2O)	1	50.06	48.00	5.740	.115	41.00	61.00	45.00	55.25
	2	48.85	48.50	10.26	.210	28.00	71.00	42.00	55.25
PH(H2O)	1	5.14	5.10	0.353	.069	4.500	5.70	4.95	5.42
	2	5.33	5.40	0.241	.045	4.900	5.80	5.10	5.50
H(Eq.mg/100cc)	1	2.91	2.85	0.972	.334	1.200	4.70	2.10	3.70
	2	2.79	2.35	1.345	.480	1.200	6.10	1.67	3.82
Al(Eq.mg/100cc)	1	0.83	0.80	0.510	.614	0.010	1.80	0.45	1.20
	2	0.49	0.50	0.348	.710	0.010	0.90	0.10	0.80
Ca(Eq.mg/100cc)	1	0.15	0.10	0.129	.860	0.100	0.50	0.10	0.12
	2	0.09	0.10	0.049	.540	0.010	0.20	0.10	0.10
Mg(Eq.mg/100cc)	1	0.078	0.010	0.0114	.144	0.01	0.40	0.01	0.10
	2	0.083	0.100	0.0452	.545	0.01	0.40	0.01	0.10
K(ppm)	1	30.720	21.500	26.31	.856	5.00	100.00	10.50	38.25
	2	27.380	17.500	22.980	.840	4.00	73.00	9.00	48.25
C(%)	1	1.295	1.205	0.506	.391	0.61	2.56	0.905	1.58
	2	1.513	1.440	0.680	.450	0.56	2.91	0.790	2.108
N(%)	1	0.113	0.110	0.047	.416	0.00	0.22	0.088	0.14
	2	0.133	0.120	0.054	.410	0.05	0.24	0.080	0.0

Tab. 1: Descritivas das variáveis sob estudo.

Área1: maior coeficiente de variação concernente às variáveis Al, Ca e K.

Área2: maior coeficiente de variação no que tange às variáveis Al e K.

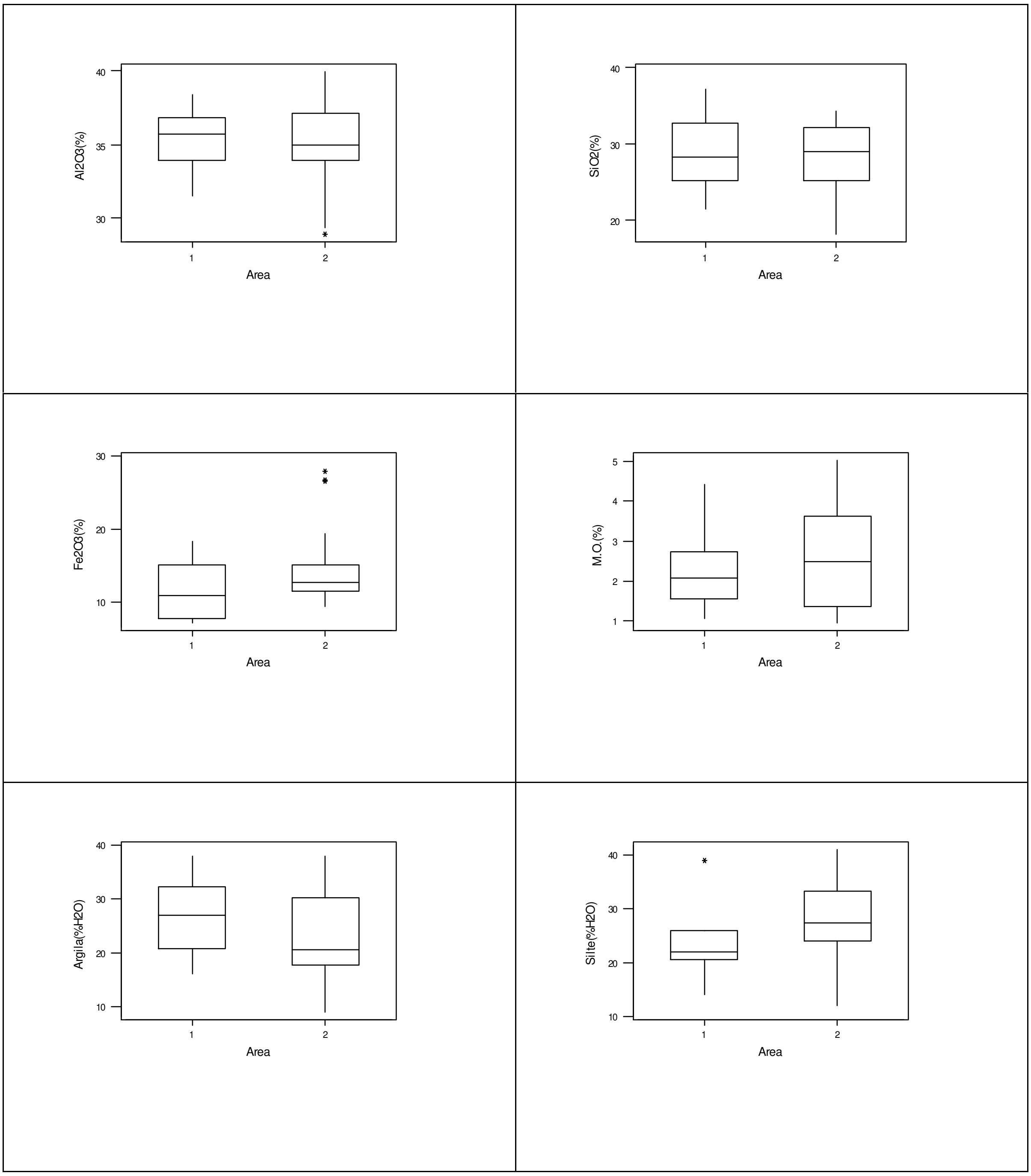

Fig. 1a: Box – Plots dos elementos Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, M.O., Argila e Silte, respectivamente, segundo a àrea de incidência.

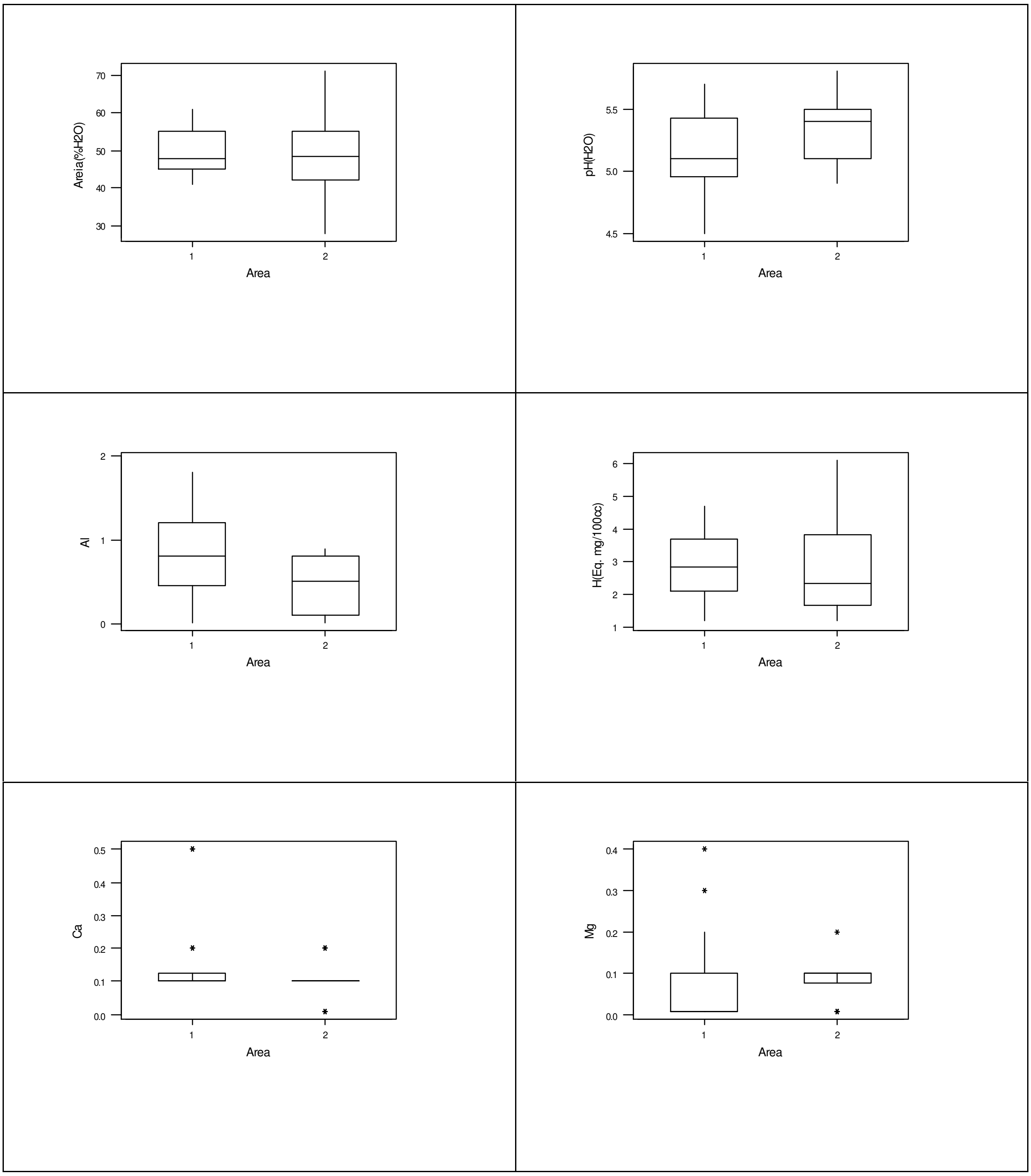

Fig. 1b: Box–Plots dos elementos Areia, pH, Al, H, Ca e Mg, respectivamente, segundo a área de incidência.

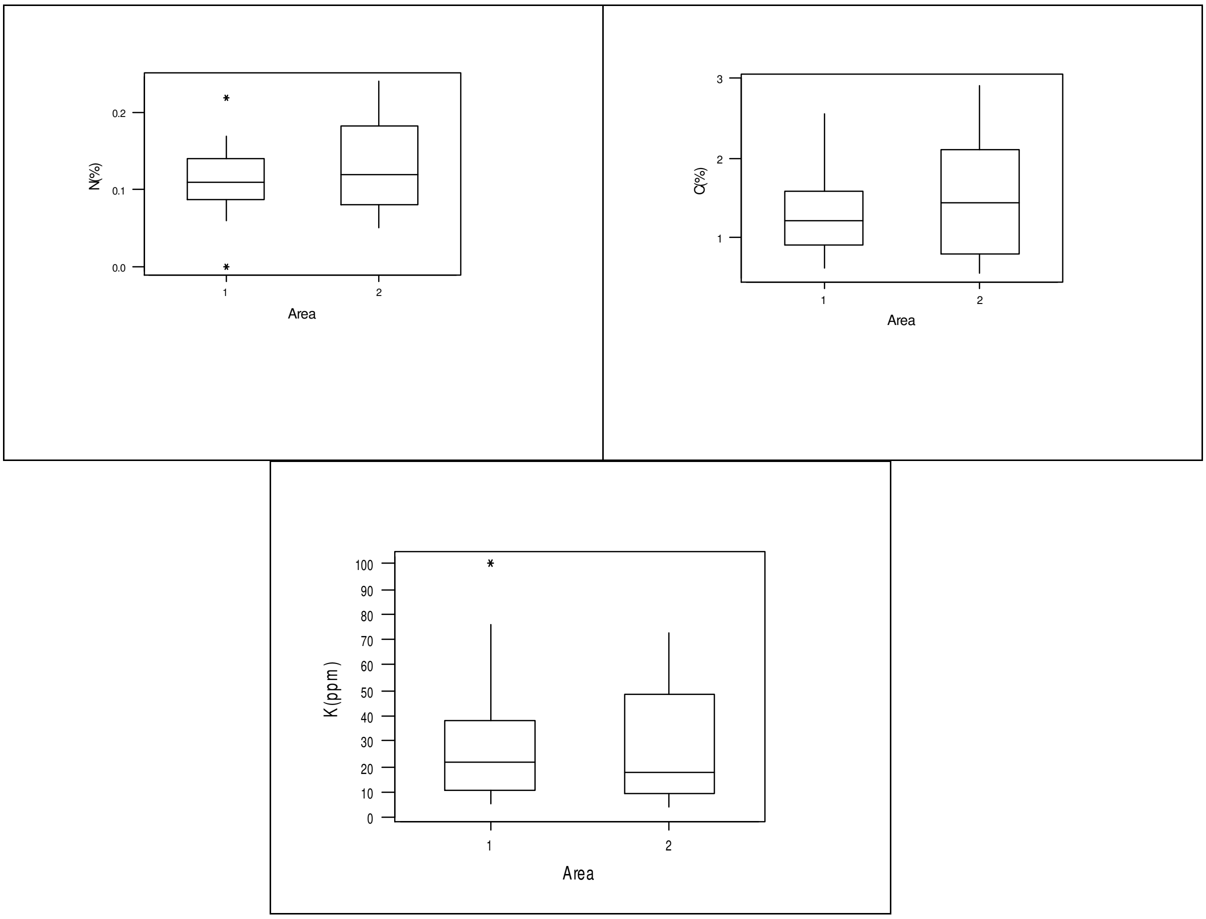

Fig. 1c: Box – Plots dos elementos N, C e K, respectivamente, segundo a área de incidência.

Área 1 – Maior quantidade mediana de **Al_2O_3**, **Argila**, **Alumínio**, **Potássio** e **Hidrogênio**.

Área 2 – Maior quantidade mediana de **SiO_2**, **Fe_2O_3**, **Silte**, **M.O.**, **pH**, **Nitrogênio**, **Magnésio** e **Carbono**.

Observe que relativo à variável **Cálcio**, a mediana se mostrou numericamente equivalente, no que diz respeito às duas áreas.

Análise Descritiva por Posição na Vertente

Na Posição 1 (alta) foram encontradas 14 observações de cada variável, enquanto nas Posições 2 (média) e 3 (Baixa), 15 observações.

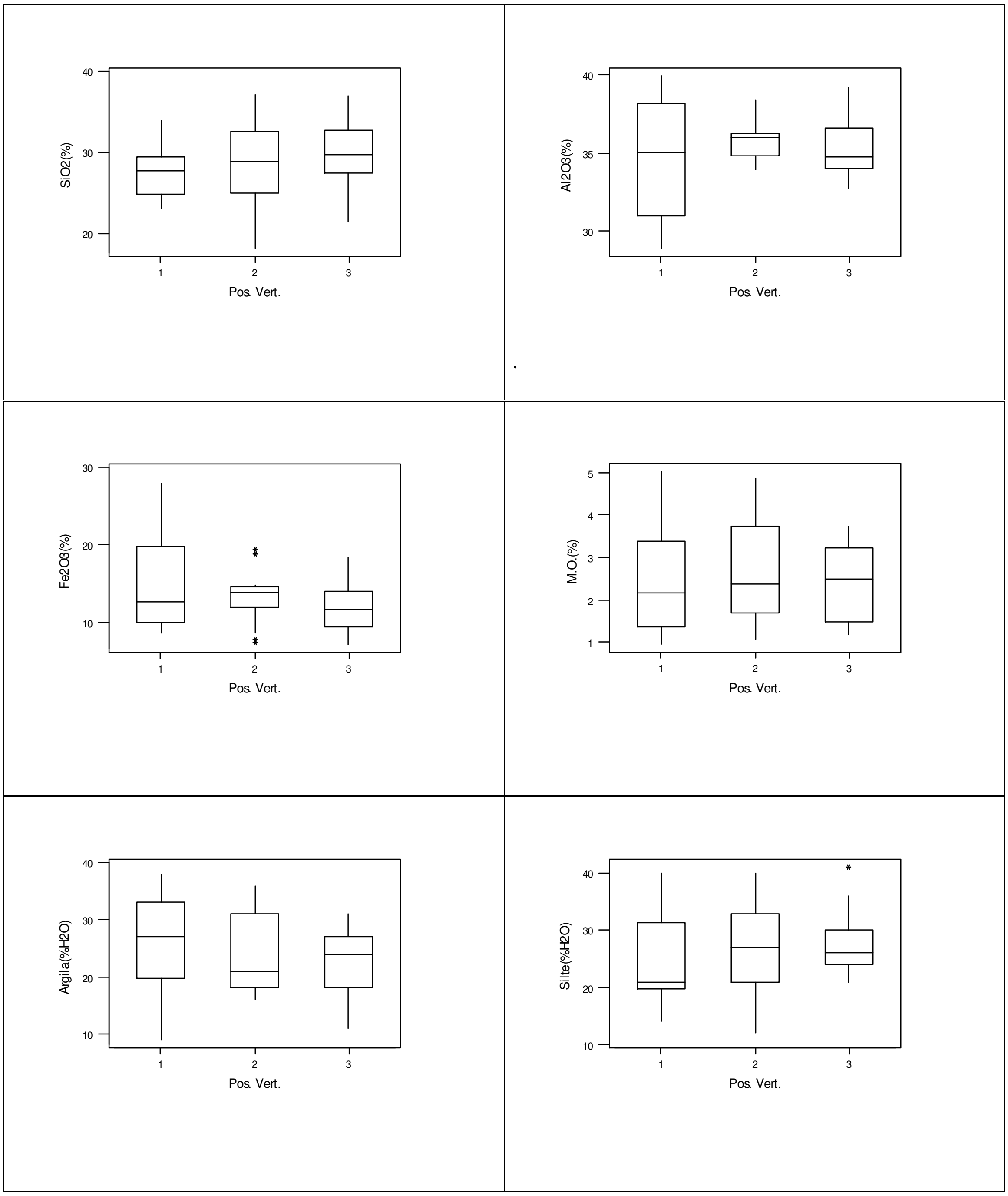

Fig. 2a: Box–Plots dos elementos SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, M.O., Argila e Silte, respectivamente, segundo suas posições na vertente.

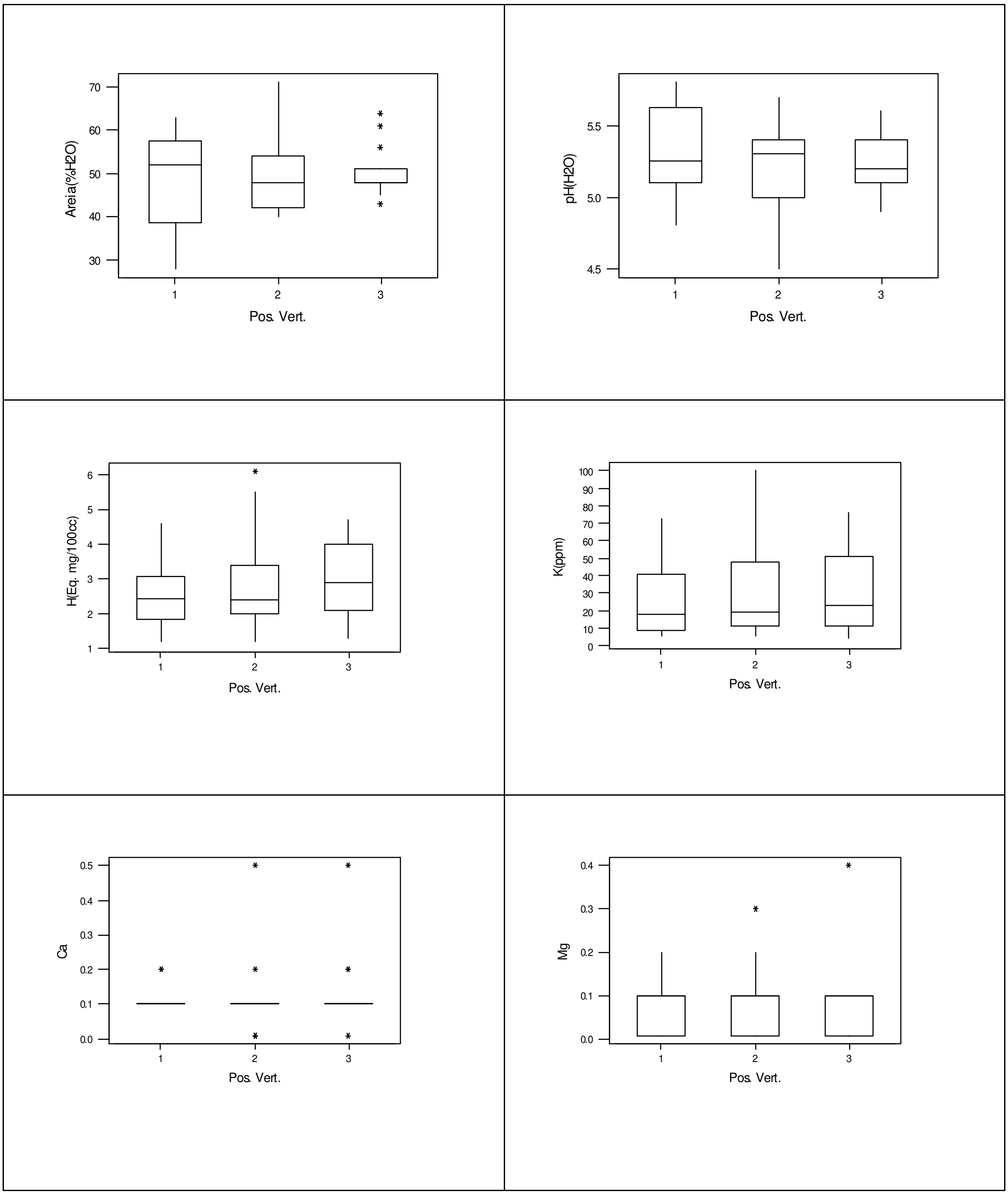

Fig. 2b: Box–Plots dos elementos Areia, pH, H, K, Ca e Mg, respectivamente, segundo suas posições na vertente.

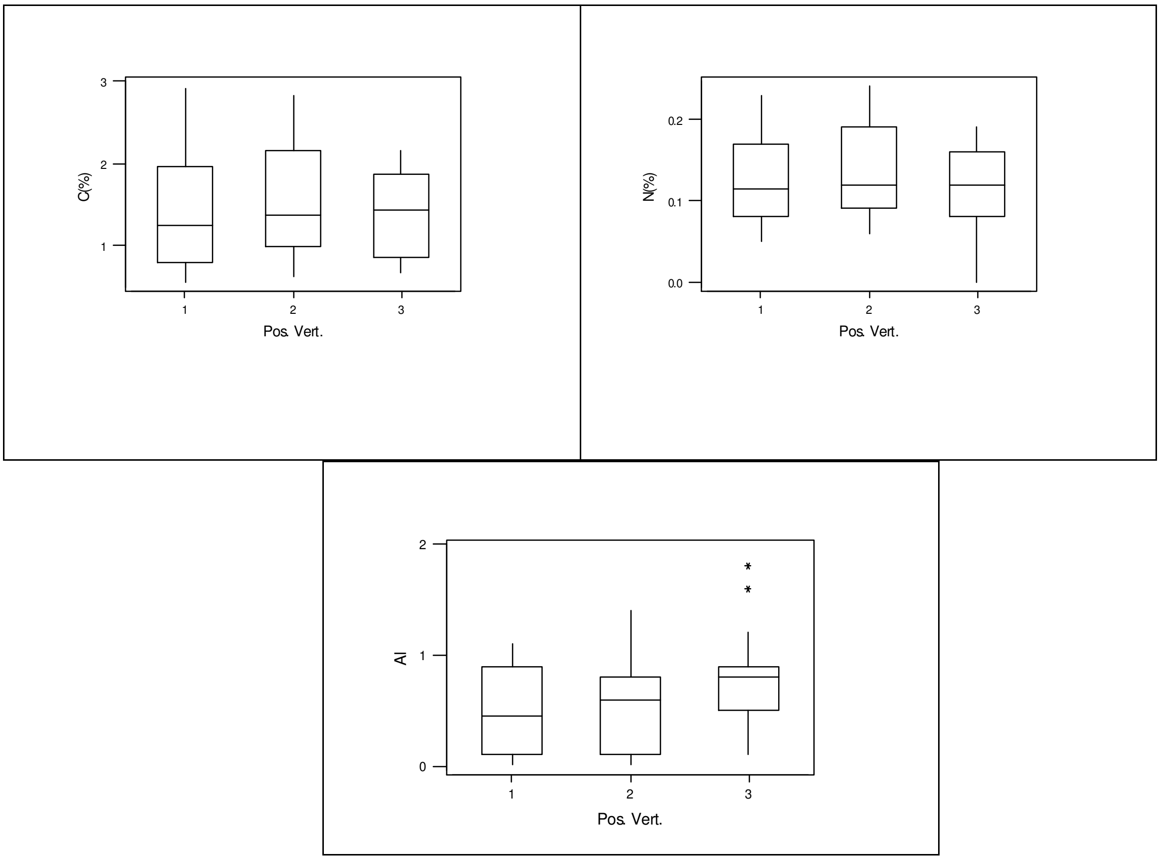

Fig. 2c: Box–Plots dos elementos C, N e Al, respectivamente, segundo suas posições na vertente.

Observemos que para a posição na vertente, o número de observações na amostra foi praticamente igual.

Observando-se, ainda, as três posições nas vertentes, verifica-se que há diferença visual exploratória em relação a cada posição, seja pelo valor mediano ou quanto à variabilidade, com exceção das variáveis **Ca**, **Mg** e **N**.

Posição 1 (**Alta Vertente**) – Maior quantidade mediana de **Argila** e **Areia**. O que nos leva a suspeitar que haja nesta localização um <u>menor índice</u> de <u>erosividade</u> do solo.

Posição 2 (**Média Vertente**) – Maior quantidade mediana de **Al_2O_3**, **Fe_2O_3**, **Silte** e **pH**.

Posição 3 (**Baixa Vertente**) – Maior quantidade mediana de **SiO_2**, **M.O**, **Hidrogênio**, **Potássio**, **Carbono** e **Alumínio**.

Na **Alta Vertente** há uma maior quantidade mediana, porém com maior dispersão, de **Al_2O_3**, **Fe_2O_3**, **Areia** e **pH**; e nas **Baixa** e **Média Vertentes**, pequenas quantidades medianas de **Areia** e **Fe_2O_3**, respectivamente.

Análise Descritiva por Vertente

Na Vertente 1 foram encontradas 10 observações de cada variável, enquanto nas Vertentes 2, 4 e 5, 9 observações. Na Vertente 3, 7 observações.

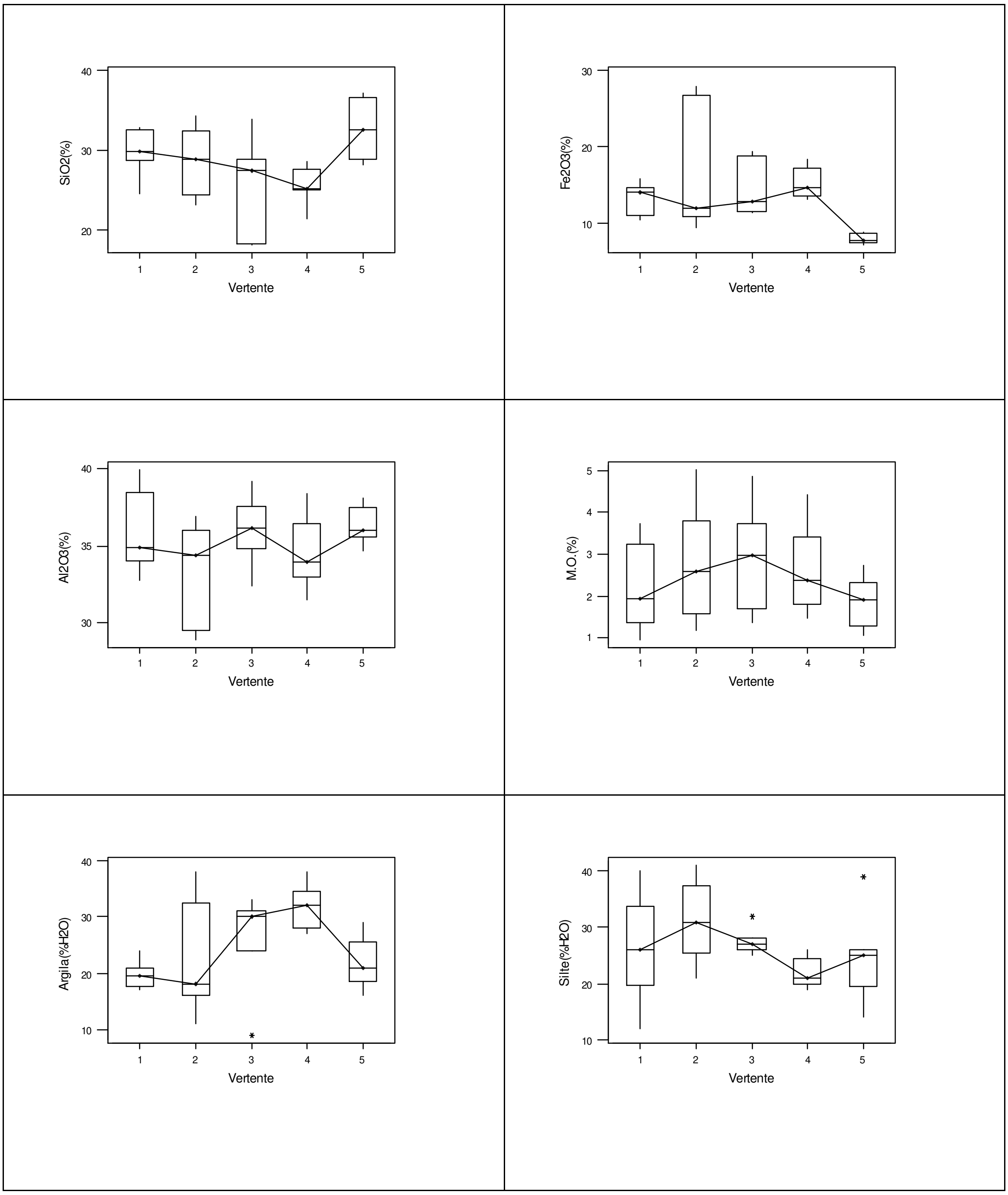

Fig. 3a: Box–Plots & "linhas de tendência mediana" dos elementos SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, M.O., Argila e Silte, respectivamente, segundo a vertente.

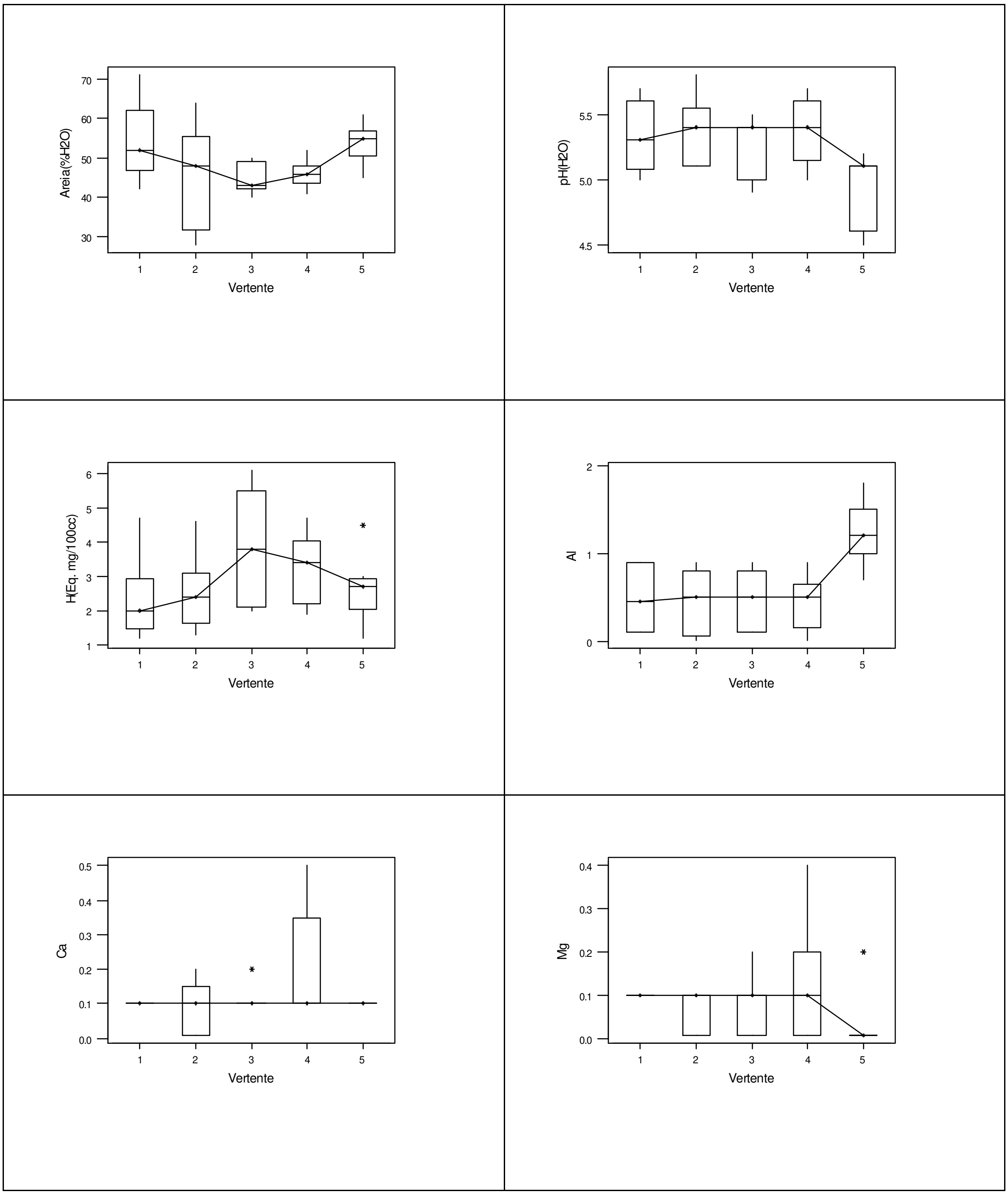

Fig. 3b: Box–Plots & "linhas de tendência mediana" dos elementos Areia, pH, H, Al, Ca e Mg, respectivamente, segundo a vertente.

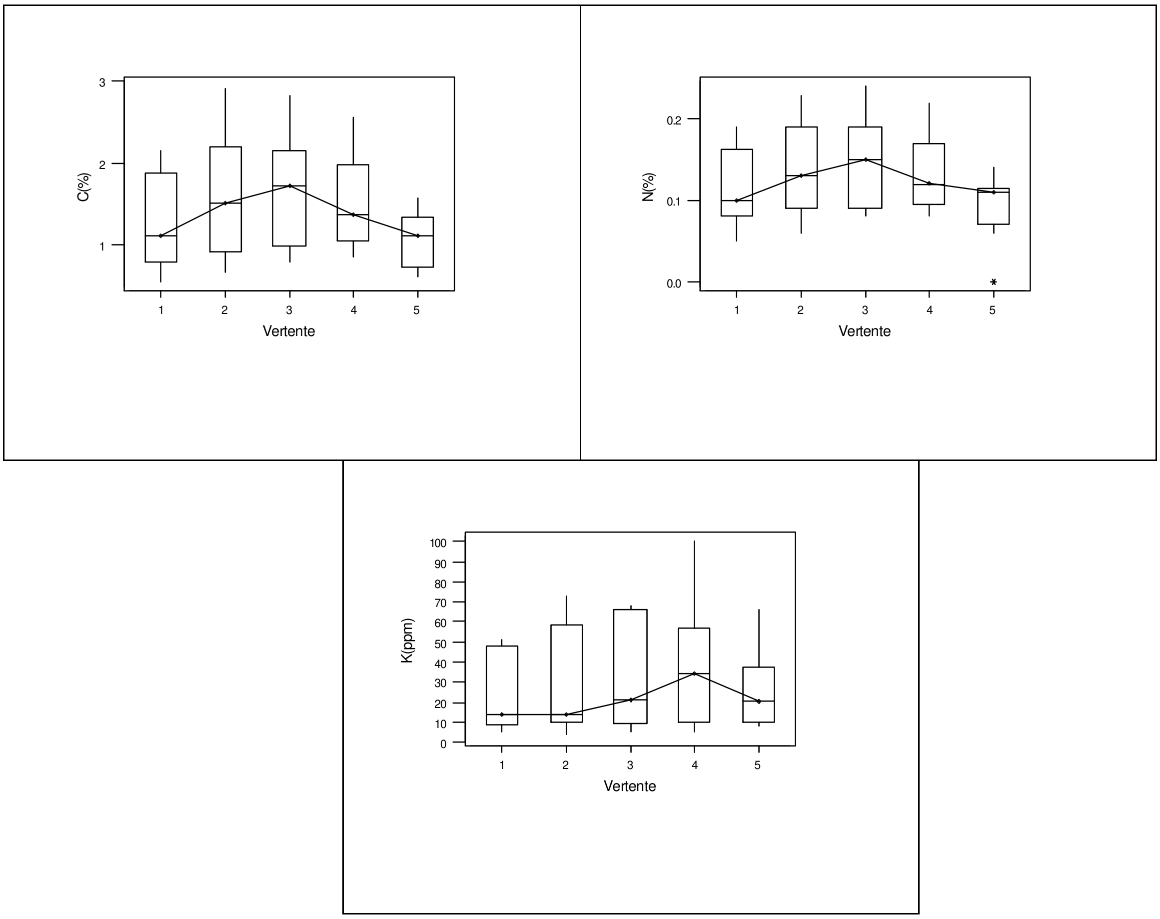

Fig. 3c: Box–Plots & "linhas de tendência mediana" dos elementos C, N e K, respectivamente, segundo a vertente.

- Quanto ao comportamento das variáveis em cada uma das cinco vertentes, pode-se observar que, aqui também, há uma diferença visual exploratória do valor mediano em cada uma delas. Apresentando valores que variam de uma faixa que podemos considerar menos concentrados à valores de grande variabilidade em alguma das vertentes. Nota-se, uma semelhança bastante razoável quanto à tendência mediana (de assimetria) da distribuição dos dados das variáveis **Carbono**, **Nitrogênio** e **Matéria Orgânica**.

- Quanto ao **pH** (veja *Lucio et al.*, 1997), observamos que as vertentes 2, 3 e 4 apresentam o mesmo valor mediano, sendo que na vertente 5 a acidez do solo é maior comparada com as demais.

Vertente 1 (**Alta**) – Não houve superioridade mediana de nenhuma variável, apenas uma pequena diferença no valor mediano da variável **Areia** comparada à vertente 4;

Vertente 3 (**Média**) – Maior quantidade mediana de **Hidrogênio**, **Carbono**, **M.O**. e **Nitrogênio**.

Vertente 5 (**Baixa**) – Maior quantidade mediana de **SiO_2**, **Alumínio** e **Areia**, em contrapartida, menor quantidade mediana de **Fe_2O_3**.

VIII. TESTE DE NORMALIDADE

TESTE: (Kolmogorov – Smirnov)

H_0: Os dados provêm de uma população com distribuição Normal.

H_1: Os dados não provêm de uma população com distribuição Normal.

VARIÁVEIS	Valor – p
SiO_2	>0.15
Al_2O_3	0.094
Fe_2O_3	**<0.01**
M.O.	>0.15
Argila	0.144
Silte	>0.15
Areia	>0.15
pH	>0.15
H	0.101
Al	>0.15
Ca	>0.15
Mg	>0.15
K	**<0.01**
C	>0.15
N	>0.15

Com base no "valor-p" observado para cada variável, não rejeitamos, em geral, a hipótese nula de que os dados seguem uma Distribuição Normal. Exceto para as variáveis **Fe_2O_3** e **K**, que rejeitamos a hipótese nula, ou seja, os dados destas duas variáveis não seguem uma Distribuição Normal. Sugerimos, assim, que sejam realizadas transformações dos dados.

O procedimento utilizado para detectarmos a transformação adequada aos dados, na obtenção de homocedasticidade (redução da variabilidade) e normalidade foi o método de transformações não-lineares proposta por *Box-Cox* (JOHNSON & WICHERN, 1992). Este procedimento estima o valor de λ com o qual minimizaremos o desvio padrão da variável transformada. O resultado da transformação é Y^{λ} quando $\lambda \neq 0$ e $Log_e Y$ quando $\lambda = 0$. Foram calculados os valores de λ para as variáveis **Fe_2O_3** e **K**, os quais são mostrados na tabela abaixo, onde também são observados os novos valores – p para estes elementos.

Elemento	Transformação (valor de λ)	Valor – p para a variável transformada
Fe_2O_3	**-1.124**	**0.098**
K	**0.000**	**>0.150**

IX. TESTE-t COMPARATIVO

O objetivo é testar se as médias referentes a cada uma das variáveis em estudo podem ser consideradas iguais, com relação às áreas e às posições na vertente.

Note que, poderíamos nesta etapa realizar uma Análise de Variância, porém através de discussões com os pesquisadores do IGC/UFMG, estes preferiram a forma de apresentação aqui explicitada. Como isto não comprometeria a análise, decidimos seguir as sugestões de nosso "cliente".

Teste de Hipóteses: Comparação entre médias das variáveis de interesse (são aquelas associadas à erodibilidade e/ou erosividade) nas **Áreas 1 e 2** :

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Variáveis	Valor-p **Observado**	**Intervalo de Confiança p/ $[\mu_1 - \mu_2]$ (95%)**
SiO_2 (%)	0.5000	(-3.70 ; 1.8)
Al_2O_3 (%)	0.6000	(-1.83 ; 1.07)
Fe_2O_3 (var. transformada)	0.0440	(0.1 ; 5.69)
Matéria Orgânica (%)	0.2300	(-0.25 ; 1.00)
Argila (% H_2O)	0.0360	(-8.7 ; -0.3)
Silte (% H_2O)	0.0059	(1.6 ; 9.0)
Areia (% H_2O)	0.6200	(-6.1 ; 3.7)
pH (H_2O)	0.0600	(-0.008 ; 0.385)

De acordo com a tabela acima percebemos que ocorre diferenciação entre as duas **Áreas** no que diz respeito à quantidade de **Fe_2O_3**, sendo que pelo intervalo de confiança para $\mu_2 - \mu_1$ podemos concluir que esta variável se encontra em maior quantidade na **Área 2**.

Percebemos também que ocorre diferenciação entre as duas **Áreas** no que diz respeito à quantidade de **Argila**, sendo que pelo intervalo de confiança para $\mu_2 - \mu_1$ podemos concluir que esta variável se encontra em maior quantidade na **Área 1**.

As duas **Áreas** são diferenciadas também quanto à quantidade média de **Silte**, sendo que pelo intervalo de confiança para $\mu_2 - \mu_1$ podemos concluir que esta variável se encontra em maior concentração média na **Área 2**.

No que concerne as outras variáveis, não existe diferença significativa entre as médias relativas às **Área1** e **Área2**. ($p > 0.05$)

<u>Teste de Hipóteses</u>: Comparação entre as médias das variáveis nas **Alta** e **Média** vertentes.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Variáveis	Valor-p **observado**	**Intervalo de Confiança p/** $[\mu_1 - \mu_2]$ **(95%)**
SiO_2 (%)	0.71	(-3.87 ; 2.7)
Al_2O_3 (%)	0.28	(-3.5 ; 1.10)
Fe_2O_3 (var. transformada)	0.29	(-2.1 ; 6.59)
Matéria Orgânica (%)	0.53	(-1.16 ; 0.61)
Argila (% H_2O)	0.39	(-3.4 ; 8.6)
Silte (% H_2O)	0.41	(-8.0 ; 3.4)
Areia (% H_2O)	0.80	(-8.8 ; 6.9)
pH (H_2O)	0.21	(-0.096 ; 0.421)
H (eq. Mg/100cc)	0.51	(-1.26 ; 0.64)
Al (eq. Mg/100cc)	0.52	(-0.42 ; 0.22)
Ca (eq. Mg/100cc)	0.97	(-0.0682 ; 0.066)
Mg (eq. Mg/100cc)	0.73	(-0.063 ; 0.045)
K (var. transformada)	0.71	(-22.4 ; 15.4)
C (%)	0.53	(-0.67 ; 0.36)
N (%)	0.52	(-0.053 ; 0.027)

Observando os valores *p* da tabela acima, nota-se que todos são altos (p>0.05). Podemos dizer que **não há diferença significativa** entre as médias das variáveis existentes nas posições das **Altas** e **Médias** vertentes.

Teste de Hipóteses: Comparação entre as médias das variáveis nas **Baixa** e **Média** vertentes.

$$H_0 = \mu_2 = \mu_3$$
$$H_1 = \mu_2 \neq \mu_3$$

Variáveis	Valor-p **observado**	**Intervalo de Confiança p/ [$\mu_2 - \mu_3$] (95%)**
SiO_2 (%)	0.29	(-5.6 ; 1.7)
Al_2O_3 (%)	0.35	(-0.6 ; 1.63)
Fe_2O_3 (var. transformada)	0.28	(-1.15 ; 3.80)
Matéria Orgânica (%)	0.59	(-0.58 ; 1.00)
Argila (% H_2O)	0.58	(-3.5 ; 6.2)
Silte (% H_2O)	0.87	(-5.3 ; 4.5)
Areia (% H_2O)	0.72	(-6.2 ; 4.3)
pH (H_2O)	0.52	(-0.304 ; 0.157)
H (eq. Mg/100cc)	0.78	(-1.09 ; 0.82)
Al (eq. Mg/100cc)	0.17	(-0.57 ; 0.10)
Ca (eq. Mg/100cc)	0.66	(-0.104 ; 0.066)
Mg (eq. Mg/100cc)	1.00	(-0.068 ; 0.068)
K (var. transformada)	0.97	(-19.6 ; 18.8)
C (%)	0.59	(-0.34 ; 0.58)
N (%)	0.48	(-0.026 ; 0.054)

Observando os valores *p* da tabela acima, nota-se que todos são altos ($p>0.05$). Podemos dizer que **não há diferença** entre as médias das variáveis existentes nas posições das Baixa e Médias vertentes.

Teste de Hipóteses: Comparação das médias das variáveis nas **Alta** e **Baixa** vertentes

$$H_0 = \mu_1 = \mu_3$$
$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_3$$

Variáveis	Valor-p **observado**	**Intervalo de Confiança p/ [μ_1 - μ_3] (95%)**
SiO_2 (%)	0.076	(-5.34 ; 0.3)
Al_2O_3 (%)	0.55	(-3.1 ; 1.68)
Fe_2O_3 (var. transformada)	0.098	(-0.7 ; 7.87)
Matéria Orgânica (%)	0.88	(-0.86 ; 0.74)
Argila (% H_2O)	0.17	(-1.8 ; 9.6)
Silte (% H_2O)	0.28	(-7.7 ; 2.3)
Areia (% H_2O)	0.59	(-9.3 ; 5.5)
pH (H_2O)	0.37	(-0.111 ; 0.289)
H (eq. Mg/100cc)	0.28	(-1.27 ; 0.39)
Al (eq. Mg/100cc)	0.053	(-0.67 ; 0.01)
Ca (eq. Mg/100cc)	0.52	(-0.0833 ; 0.044)
Mg (eq. Mg/100cc)	0.76	(-0.070 ; 0.052)
K (var. transformada)	0.65	(-21.7 ; 13.9)
C (%)	0.88	(-0.50 ; 0.43)
N (%)	0.94	(-0.038 ; 0.040)

Conclusão: Não foi encontrada qualquer diferença significativa no que diz respeito à quantidade média de qualquer das variáveis sob estudo com relação às três principais posições na vertente – Alta, Média ou Baixa.

X. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A técnica multivariada de Análise de Componentes Principais tem como objetivo explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de **p** variáveis, através da construção de combinações lineares das variáveis originais. Em geral, deseja-se obter "redução do número de variáveis a serem avaliadas" que possa facilitar a interpretação das combinações lineares construídas".

Como houve diferenças nas unidades de medidas das variáveis em estudo, foi feita a análise de componentes principais baseada na Matriz de Correlação P. Isto porque houve grandes discrepâncias entre os suportes de medidas das variáveis, e este problema pode ser eliminado através da construção das componentes utilizando esta matriz.

- **VARIÁVEIS GEOQUÍMICAS (índices de erosão) E GRANULOMÉTRICAS**

Autovalores	3.5864	1.6877	1.2282	0.6835	0.5091	0.2272
Proporção	0.448	0.211	0.154	0.085	0.064	0.028
%Acumulada	0.448	0.659	0.813	0.898	0.962	0.990

Autovalores	0.0668	0.0110
Proporção	0.008	0.001
%Acumulada	0.999	1.000

As três primeiras componentes principais explicam 81,3% da variabilidade do processo geoquímico. Por este motivo, resumiremos os dados pelas três primeiras componentes, sugerindo índices de erosão e/ou fertilidade do solo.

Índice CP1: - 0.385 (SiO_2) – 0.332 (Al_2O_3) + 0.494 (Fe_2O_3) + 0.212 (M.O.) + 0.386 (Argila) + 0.177 (Silte) – 0.455 (Areia) + 0.258 (pH)

Índice CP2: - 0.324 (SiO_2) + 0.268 (Al_2O_3) – 0.055 (Fe_2O_3) + 0.420 (M.O) + 0.386 (Argila) – 0.657 (Silte) + 0.234 (Areia) – 0.092 (pH)

Índice CP3: 0.322 (SiO_2) – 0.394 (Al_2O_3) – 0.031 (Fe_2O_3) + 0.528 (M.O) + 0.023 (Argila) + 0.092 (Silte) – 0.096 (Areia) – 0.666 (pH)

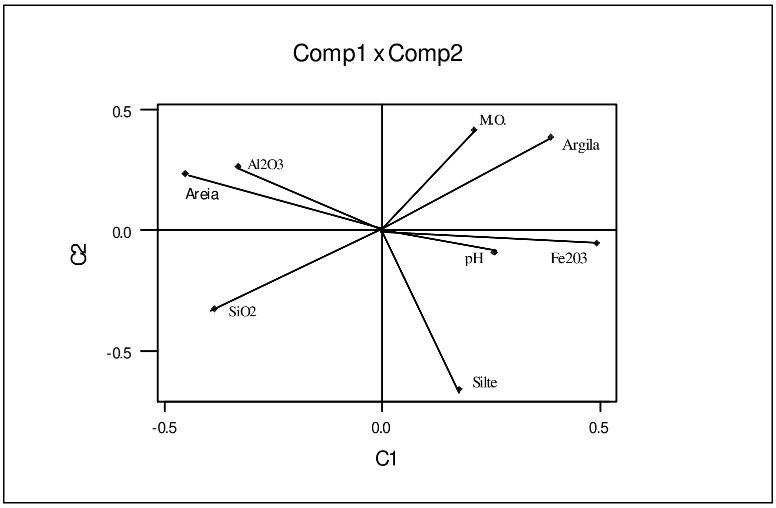

Fig. 4: Gráfico com o cruzamento dos coeficientes das Componentes Principais 1 e 2.

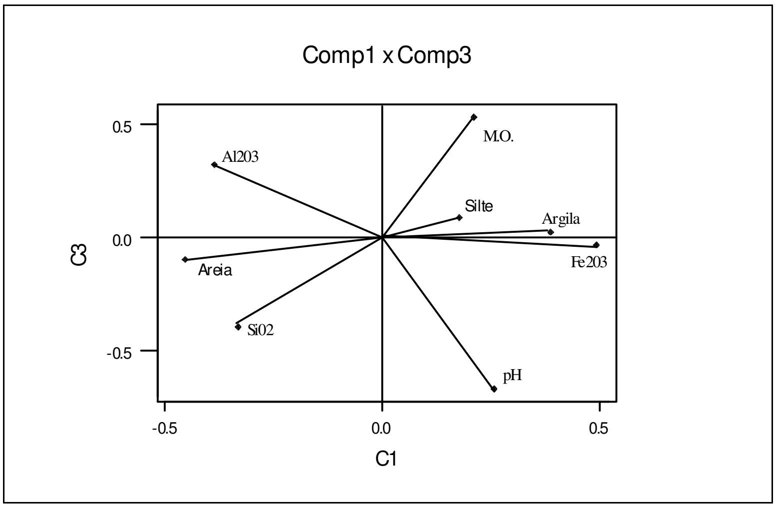

Fig. 5: Gráfico com o cruzamento dos coeficientes das Componentes Principais 1 e 3.

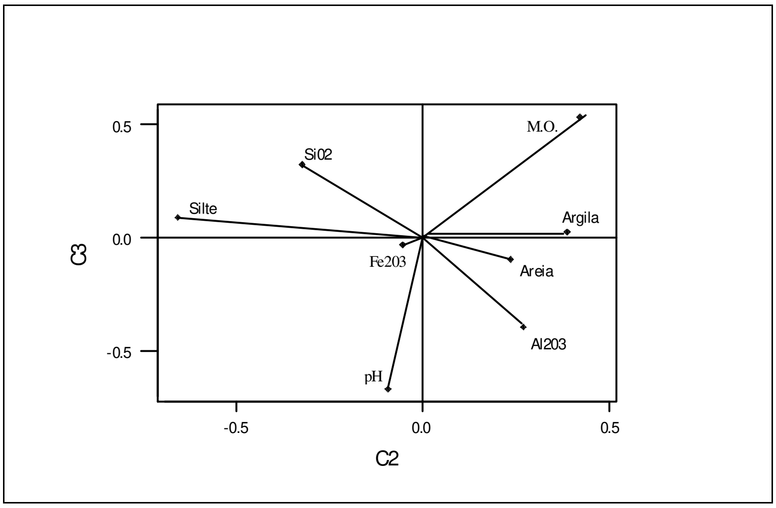

Fig. 6: Gráfico com o cruzamento dos coeficientes das Componentes Principais 2 e 3.

<u>Interpretação das Componentes com base nos gráficos acima:</u>

⇒ A primeira componente é determinada pelas variáveis **Argila** e **Fe_2O_3** em oposição à **Areia** e **SiO_2** e poderia ser considerada como um índice de qualidade do solo em termos destas variáveis. É importante observarmos que valores altos desta componente nos indicará solos menos suscetíveis à ação da erosão (com altas percentagens de Óxido de Ferro e Argila) e valores baixos nos indicará solos deficientes e mais propensos à erosividade (com altas percentagens de Areia e Óxido de Silício).

⇒ A segunda componente é definida essencialmente pelas variáveis **Argila** e **M.O**. em oposição ao **Silte**, de forma que altos valores desta componente indicam solos ricos em **Argila** e **M.O**. e valores baixos indicam solos com altas percentagens de **Silte.**

⇒ A terceira componente é dominada pelas variáveis **pH** em oposição à **Matéria Orgânica**, podendo ser interpretada como um índice de qualidade do solo em termos destas variáveis. Altos valores desta componente poderiam estar indicando solos com altas percentagens de **Matéria Orgânica** (maior fertilidade) e baixos valores indicariam solos menos ácidos.

Note que a partir das três componentes definidas acima obtemos informações sobre todas as variáveis de interesse.

- **VARIÁVEIS RELACIONADAS À FERTILIDADE DO SOLO**

Autovalores	4.2182	1.2621	0.9018	0.2772	0.2155	0.1037
Proporção	0.603	0.180	0.129	0.040	0.031	0.015
%Acumulada	0.603	0.783	0.912	0.951	0.982	0.997

Autovalores	0.0216
Proporção	0.003
%Acumulada	1.000

Com as três primeiras componentes representando 91,2% da variância total, resumiremos os dados por estas três primeiras componentes.

Índice CP1: - 0.424 (H) – 0.134 (Al) – 0.300 (Ca) – 0.369 (Mg) – 0.445 (K) –
0.436 (C) – 0.434 (N)

Índice CP2: 0.209 (H) + 0.540 (Al) – 0.576 (Ca) – 0.479 (Mg) – 0.020 (K) + 0.240 (C) + 0.214 (N)

Índice CP3: 0.066 (H) – 0.779 (Al) – 0.339 (Ca) – 0.113 (Mg) – 0.172 (K) + 0.326 (C) + 0.355 (N)

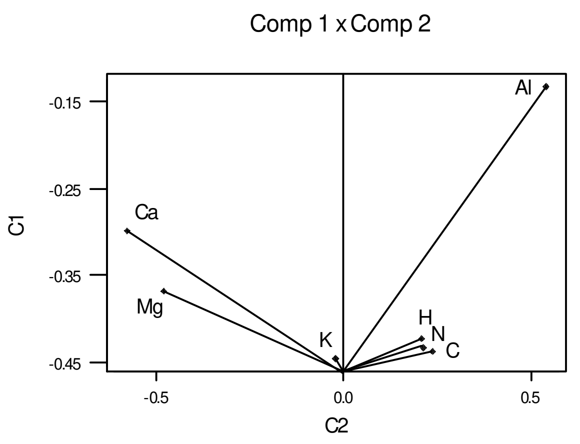

Fig. 7: Gráfico com o cruzamento dos Componentes Principais 1 e 2.

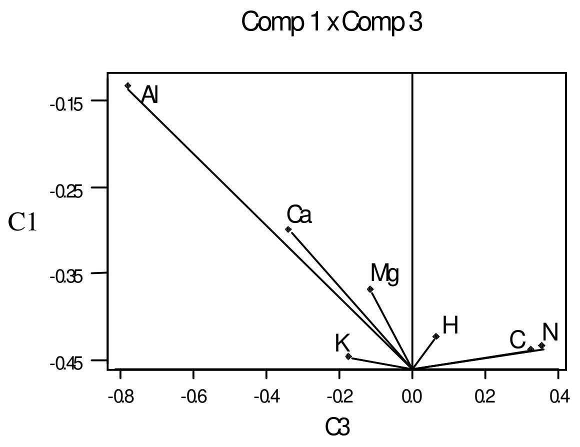

Fig. 8: Gráfico com o cruzamento das Componentes Principais 1 e 3.

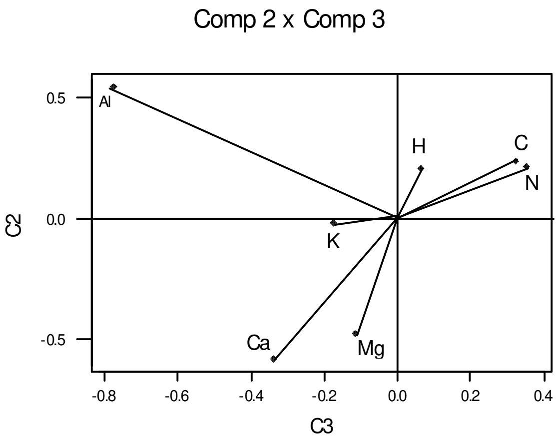

Fig. 9: Gráfico com o cruzamento das Componentes Principais 2 e 3.

Interpretação das Componentes com base nos gráficos acima:

⇒ A primeira componente é determinada por todas as variáveis indicadoras da fertilidade do solo de forma construtiva, apesar dos ponderadores serem negativos, esta poderia ser considerada como um índice de fertilidade do solo. É importante observarmos que valores absolutos altos dos coeficientes relativos às variáveis **H**, **Ca**, **Mg**, **K**, **C** e **N**. Observa-se, ainda com bastante destreza a forte associação entre **H**, **N** e **C**, assim que a fraca contribuição relativa do **Al**.

⇒ A segunda componente é definida essencialmente pelas variáveis **Ca**, **Mg** e **K** em oposição às variáveis **Al**, **H**, **N** e **C**, de forma que altos valores desta componente indicam solos ricos em acidez e pouca fertilidade e valores baixos indicam solos com altas probabilidade de ser produtivo no setor agrícola**.**

⇒ A terceira componente é dominada pelas variáveis **Al** em oposição às variáveis **H**, **C** e **N**, podendo ser interpretada como um índice de qualidade do solo em termos destas variáveis. Altos valores desta componente poderiam estar indicando solos com altas percentagens de **Alumínio** (menor fertilidade) e baixos valores indicariam solos menos ácidos.

XI. ANÁLISE DE CONGLOMERADOS

A análise de conglomerados tem como objetivo dividir os elementos (as variáveis) da amostra coletada em grupos, de forma que os elementos pertencentes à um mesmo grupo sejam similares com respeito a uma determinada característica que foram mensurada. No presente estudo, pretendemos investigar a estrutura da associação entre os nutrientes do solo, agrupando as variáveis segundo seu comportamento mútuo manifestado nas unidades amostrais.

Método da Ligação Completa (máxima dissimilaridade)

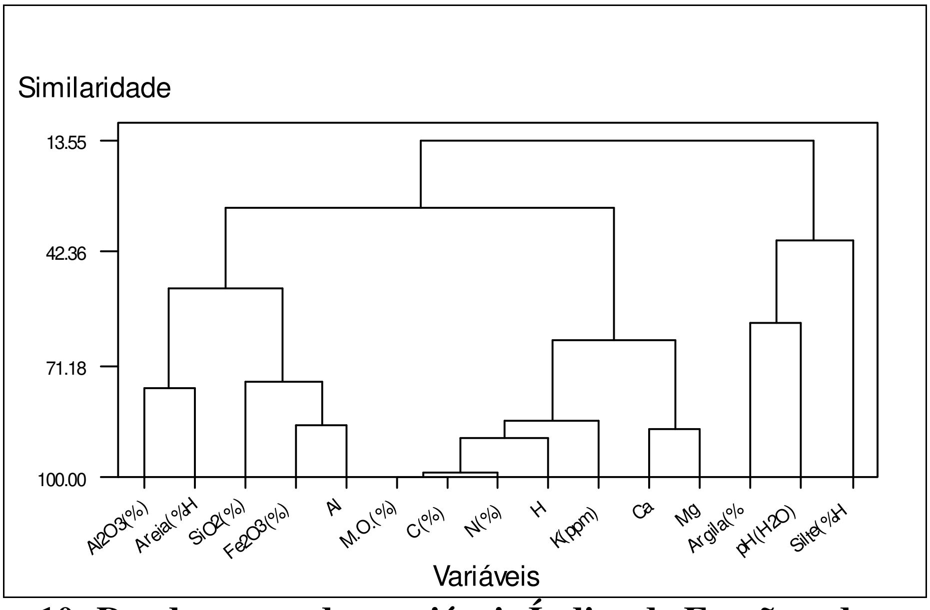

Fig. 10: Dendograma das variáveis Índice de Erosão e de Fertilidade do Solo.

Através do dendograma, podemos observar a formação de três agrupamentos. O primeiro grupo formado com as duas primeiras variáveis agrupadas: **Matéria Orgânica** e **Carbono**, apresentando um alto grau de similaridade (100%) e nele, em seguida, é introduzida a variável **Nitrogênio**. Dentro deste grupo estão o **Hidrogênio**, **Potássio**, **Cálcio** e **Magnésio** apresentando menores graus de similaridade. Num segundo grupo, temos o **Fe_2O_3** e o **Alumínio** apresentado nível de similaridade de cerca de 70%, agrupando-se com o **SiO_2**, o **Al_2O_3** e a **Areia**. E por último, o terceiro agrupamento envolvendo as variáveis **Argila**, **pH** e **Silte**, sendo que são agrupadas **pH** do solo e **Argila** e em seguida a variável **Silte**.

- **Variáveis relacionadas ao índice de erosão do solo**

Método da <u>Ligação</u> <u>Completa</u>

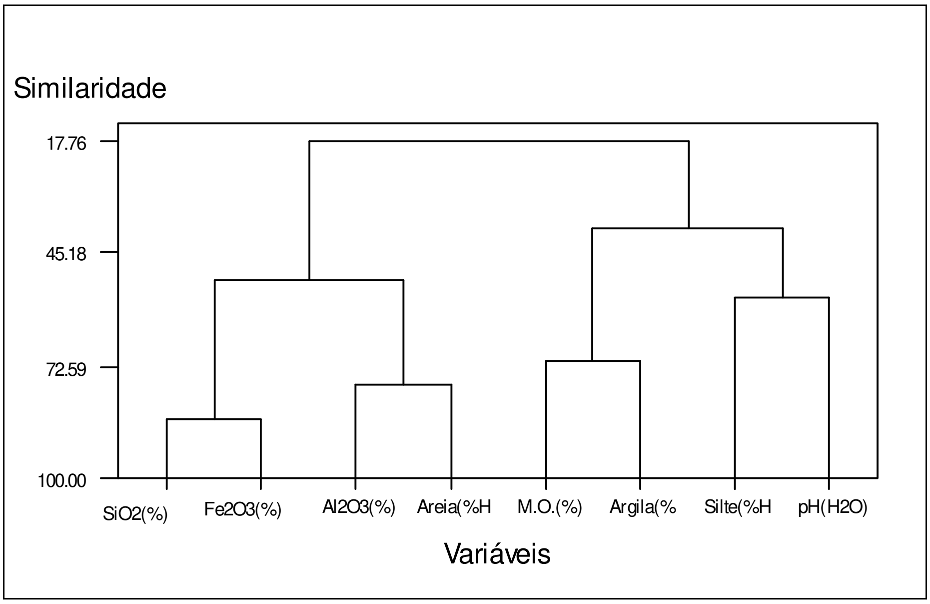

Fig. 11: Dendograma das variáveis de índice de erosão.

Observando o gráfico acima (Fig. 11) percebemos que as variáveis de maior similaridade, ou seja, as duas primeiras variáveis a serem agrupadas são **Fe_2O_3** e **SiO_2** (85.9% de similaridade) seguidas por **Al_2O_3** e **Areia** (77.3%).

Podemos também observar a formação de dois conglomerados que são:

Conglomerado 1: Fe_2O_3, SiO_2, Areia e Al_2O_3;

Conglomerado 2: Argila, M.O., Silte e pH.

- **Variáveis relacionadas à fertilidade do solo**

Método da <u>Ligação</u> <u>Completa</u>

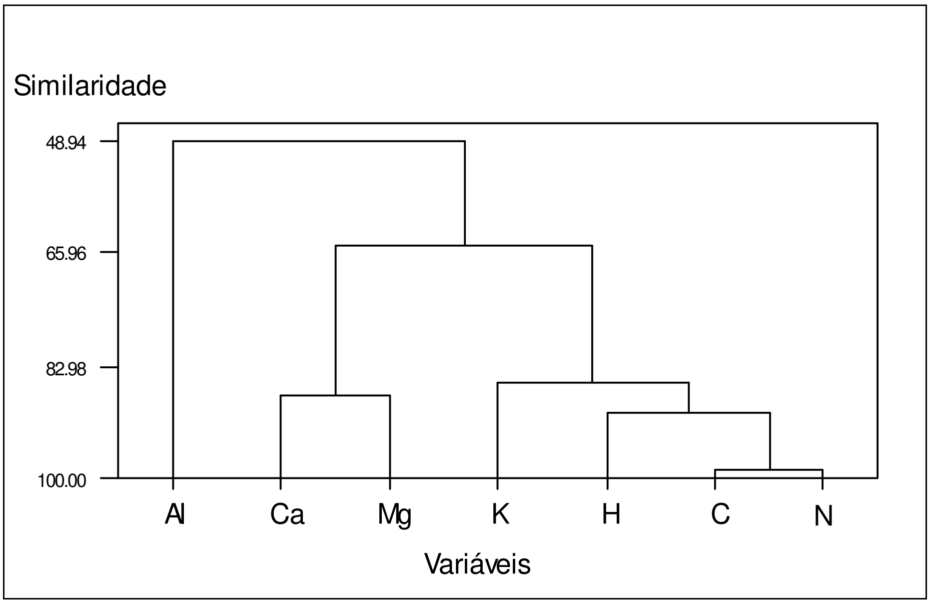

Fig. 12: Dendograma das variáveis relacionadas à fertilidade do solo.

Neste grupo de variáveis (Fig. 12) aquelas que mais se assemelham são **Carbono** e **Nitrogênio** (98.9% de similaridade), que se agrupam em seguida com o **Hidrogênio** e o **Potássio**, respectivamente. Em um outro grupo, as variáveis **Carbono** e **Magnésio** com similaridade de 85.6%. A variável que apresentou menor grau de similaridade relativa ao conjunto foi o **Alumínio**, como já era de se esperar através dos resultados obtidos pela Análise de Componentes Principais.

XII. CONCLUSÕES

A análise estatística de algumas variáveis (informações quantificáveis) constantes neste trabalho, foi utilizado o programa estatístico MINITAB 11® for Windows®. Nessa análise, são destacadas as seguintes variáveis, divididas em dois grupos:

1. **Variáveis Granulométricas** (%):

⇒ Silte

⇒ Argila

⇒ Areia

2. **Variáveis Mineralógicas e Geoquímicas** (%):

⇒ SiO_2

⇒ Al_2O_3

⇒ Fe_2O_3

⇒ Matéria Orgânica (M.O.)

⇒ pH (H_2O)

O fundamental no presente estudo, é a identificação e caracterização de diferenciações nos solos ao longo de uma vertente; evidenciadas em função da sua posição, seja nos segmentos de alta, média ou baixa vertente, e também dentro de cada área (**Área 1** e **Área 2**). Verificar se ocorre diferenciação entre as áreas; posição nas vertentes e entre as vertentes, quanto a algumas propriedades granulométricas e mineralógicas principais.

A metodologia utilizada neste estudo é basicamente a análise multivariada dos dados (BOUROCHE & SAPORTA-1982; JOHNSON & WICHERN-1992).

A apresentação se deu, à princípio, através de análise gráfica, proporcionando a visualização exploratória das características marcantes das variáveis em estudo. Para esse propósito as variáveis de interesse foram representadas através de gráficos BOX-PLOT (programa MINITAB 11). Esse gráfico apresenta simultaneamente, várias características de um conjunto de dados: locação, dispersão, simetria ou assimetria e presença de observações discrepantes ("*outliers*"), ou seja, observações não condizentes com as demais, tendo como objetivo de reduzir o número de variáveis a serem analisadas e interpretar as combinações lineares produzidas

Foi utilizado também a Análise de Componentes Principais, assim que a Análise de Conglomerados (programa MINITAB 11). Esta com o objetivo de verificar a determinação de índices de erosão e de fertilidade, bem como a existência de agrupamentos entre as variáveis.

A análise exploratória foi utilizada para se obter uma visão geral do conjunto de dados e avaliação da existência de padrões de comportamento entre as variáveis, apresentadas através de uma análise descritiva dos dados em forma de gráficos. As variáveis foram estratificadas por:

- **Área** e
- **Posição na Vertente**.

A distribuição das variáveis referentes às duas áreas tem leves diferenças, tendendo em mediana, a uma maior concentração na **Área 2**. Há de ser lembrado que isto poderá estar relacionado à superioridade do número de observações nessa área:

Área 1 – Maiores índices medianos de **Al_2O_3** e **Argila**.

Área 2 – Maiores índices medianos de **SiO_2**, **Fe_2O_3**, **Silte**, **M.O**. e **pH**.

Na posição 1 (Alta Vertente) foram encontradas 14 observações de cada variável, enquanto nas posições 2 (Média Vertente) e 3 (Baixa Vertente), 15 observações.

Para a análise por posição na vertente, o número de observações na amostragem foi praticamente igual, podendo ser feita uma comparação com boa margem de segurança.

Observando as três posições na vertente, verificou-se que há algumas diferenças em relação a cada posição, seja pelo valor médio, seja quanto à variabilidade:

Posição 1 (**Alta Vertente**) – Maiores índices medianos de **Argila** e **Areia**.

Posição 2 (**Média Vertente**) – Maiores índices medianos de **Al_2O_3**, **Fe_2O_3**, **Silte** e **pH**.

Posição 3 (**Baixa Vertente**) – Maiores índices medianos de **SiO_2** e **M.O.**.

Na **Alta Vertente** há um maior índice (com maior dispersão dos dados) de **Al_2O_3**, **Fe_2O_3**, **Areia** e **pH**; e nas **Baixa** e **Média Vertentes**, pequeno índice de **Areia** e **Fe_2O_3**, respectivamente.

Na vertente 1 foram encontradas 10 observações de cada variável, enquanto nas vertentes 2, 4 e 5, 9 observações. Na vertente 3, 7 observações.

Quanto ao comportamento entre as variáveis em cada uma das cinco vertentes, pode-se observar que aqui também há uma diferença significativa no valor mediano das variáveis em cada vertente e as suas variabilidades (os dados se apresentam menos concentrados, ou seja, com grande variabilidade em algumas das vertentes). Com relação ao **pH**, observa-se que as vertentes 2, 3 e 4 apresentam o mesmo valor mediano, sendo que na vertente 5 a acidez do solo é um pouco maior, se comparada com as demais:

Vertente 1 – Não houve superioridade na mediana de nenhuma variável, apenas uma diferença pequena do valor mediano da variável **Areia** comparada à vertente 4;

Vertente 3 – Maior índice mediano de **M.O.**;

Vertente 5 – Maior índice mediano de $\mathbf{SiO_2}$ e **Areia**; menor índice mediano de $\mathbf{Fe_2O_3}$.

Portanto, de forma geral, os resultados estatísticos utilizando o BOX-PLOT confirmam as análises químicas e mineralógicas. Os índices medianos dos óxidos de alumínio; silício e ferro, demonstram concentrações processadas por acumulação residual, com índices próximos dos verificados em processos de bauxitização e laterização. Essas altas taxas (indistintamente de influência litológica), dão aos solos da região de Gouveia-MG características de pobreza em nutrientes, com alta toxicidade, influindo no adensamento e progressão de vegetais superiores. A retirada histórica de extratos vegetais superiores para dar lugar a pastagens pode ter aumentado as taxas de lixiviação de nutrientes, intensificando o processo de acumulação residual de minerais mais estáveis e abundantes, tais como gibbsita; quartzo; muscovita; caulinita (cuja abundância causa toxidez àqueles solos) e, em menor concentração, os óxidos de ferro goethita e hematita (e maghemita nos solos de metabásicas).

Teste de Normalidade

Com base nos valores - p observados, não rejeitamos a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal. Apenas para as variáveeis **K** e **Fe_2O_3** é que rejeitamos a hipótese nula, ou seja, os dados não seguem uma Distribuição Normal. Para que isso fosse corrigido, foi sugerida e realizada uma transformação dos dados.

O procedimento utilizado para se detectar a transformação adequada aos dados, na obtenção de homocedasticidade (redução da variabilidade) e normalidade foi o método de transformações não-lineares por Box-Cox. Este procedimento estima o valor de λ com o qual minimiza-se o desvio padrão da variável transformada. O resultado da transformação é Y^{λ} quando $\lambda \neq 0$ e Log_eY quando $\lambda = 0$. Foram calculados o valor de λ para as variáveis **K** e **Fe_2O_3**

.

Teste t- comparativo

De acordo com o teste percebe-se que ocorre diferenciação entre as duas áreas no que diz respeito à quantidade de **Fe_2O_3**, sendo que pelo intervalo de confiança para μ_2 - μ_1 podemos concluir que esta variável se encontra em maior quantidade na **Área 2**.

Percebemos também que ocorre diferenciação entre as duas áreas no que diz respeito à quantidade média de **Argila**, sendo que pelo intervalo de confiança para $\mu_2 - \mu_1$ podemos concluir que esta variável se encontra em maior quantidade na **Área 1**.

As duas áreas são diferenciadas também quanto à quantidade média de **Silte**, sendo que pelo intervalo de confiança para $\mu_2 - \mu_1$ podemos concluir que esta variável se encontra em maior quantidade na **Área 2**.

NOTA: Não foi encontrada qualquer diferença relativa à quantidade média de qualquer das variáveis, no que diz respeito à **Alta**, **Média** ou **Baixa** vertente.

ANÁLISE DE CONGLOMERADOS

Observando-se os dendogramas, percebe-se que as variáveis com maior similaridade, ou seja, as duas primeiras variáveis a serem agrupadas são $\mathbf{Fe_2O_3}$ e $\mathbf{SiO_2}$ (85,89) seguidas por $\mathbf{Al_2O_3}$ e areia (77,33).

Podemos observar também, a formação de quatro grupamentos formando dois conglomerados:

Conglomerado 1: SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 e Areia.

Conglomerado 2: M.O., Argila, Silte e pH.

No **Conglomerado 1**, a associação entre as três variáveis citadas ratifica o conhecimento vigente: a **Areia** é quase totalmente constituída pelas frações mineralógicas mais resistentes ao intemperismo, como o quartzo e a gibbsita; daí, a formação de um conglomerado distinto das outras variáveis. Entretanto, como pode ser observado no gráfico (Fig. 11), a gibsita interage mais intensamente com a **Areia** do que o quartzo. O mais importante dentro do contexto da hipótese levantada: a associação dos dois primeiros grupamentos ratifica a hipótese e os resultados. A fração **Areia** não é constituída exclusivamente de grãos de quartzo, mas também de grânulos produzidos através da agregação de partículas menores da fração **Argila**. A resposta da análise de conglomerados

ratifica o que a literatura nos tem relatado. A agregação de partículas de **Argila** ocorre na presença de óxidos de ferro, de silício, e de alumínio.

No **Conglomerado 2**, há também dois agrupamentos: **Argila** e **Matéria Orgânica** de um lado; **Silte** e **pH** de outro. Novamente ratificando o conhecimento vigente, é esperado que a **Argila** tenha uma forte similaridade com a **Matéria Orgânica**, pois é a fração do solo onde há maior concentração da mesma. O fração **Silte** encontra uma forte similaridade com o **pH**, provavelmente devido à ação reguladora exercida pelo mesmo na magnitude e intensidade dos processos de agregação de partículas de **Argila**, cujos agregados estão em sua maioria, na faixa granulométrica correspondente ao **Silte**.

Portanto, a visualização dos conglomerados e seus grupamentos, através da análise estatística em forma de dendograma, além dos outros testes realizados (Box-Plot; normalidade; e teste t), fornece a este trabalho de investigação científica maior margem de segurança no momento da comprovação e defesa da hipótese levantada, pois demonstra associações e similaridades irrefutáveis entre as variáveis investigadas, consolidando as respostas obtidas por outros métodos analíticos utilizados em Geociências.

Referências Bibliográficas

ALVES, D.M. Estudo sobre o remanejamento do solo através do comportamento diferenciado da mesofauna (cupins e formigas) em solos da região de Gouveia – MG. Monografia – IGC/UFMG. 154 p.. 1996.

ARDUINO, E.; BARBERIS, E. & BOERO, V.. Iron Oxides and Particle Aggregation in B Horizons of Italian Soils. Geoderma. 45: 319-329. 1989.

BOUROCHE, J.-M. & SAPORTA, G.. Análise de Dados. Zahar editores. Rio de Janeiro, Brasil. 117p.. 1982.

COLOMBO, C. & TORRENT, J.. Relationships Between Aggregation and Iron Oxides in Terra Rossa Soils from Southern Italy. **Catena.** 18(1): 51-59. 1991.

GOLDBERG, S.. Interaction of Aluminum and Iron Oxides and Clay Minerals and Their Effect on Soil Physical Properties: A Review. **Commun. in Soil Sci. and Plant Analysis.** 20(11-12): 1181-1207. 1989.

GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B.. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994

JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W.. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall. New Jersey. U.S.A. 642p.. 1992.

LUCIO, P.S., SERRA, A.P., DE SOUZA,DANIELA. Uma alternativa estatística para a análise quantitativa de dados geológicos de sistemas granulométricos fechados. Relatório Técnico do Departamento de Estatística – ICEx – UFMG, 1997.

RESENDE, M.. Aplicações de Conhecimentos Pedológicos à Conservação de Solos. **Informe Agropecuário**. 11(128): 03-18. 1985.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. & LANI, J.L.. Características do Solo e da Paisagem que Influenciam a Susceptibilidade à Erosão. In: **Simpósio sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado**. Anais ... . Goiânia-GO. pp. 32-67. 1990.

SCHWERTMANN, U.. Some Properties of Soil and Synthetic Iron Oxides. In: J.W. Stucki; B. A. Goodman & U. Schwertmann (eds.). Iron in Soils and Clay Minerals. Reidel Publishing Co., Dordrecht. Netherlands. N. A. T. O., Advanced Study Institute. pp. 203-250. 1988.

SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M.. Iron Oxides. In: J. B. Dixon and S. B. Weed (eds.). Minerals and Soil Environments, 2^{nd} Ed.. Soil Sci. Soc. Am.. Madison-WI. U.S.A.. pp. 379-438. 1989.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG que auxiliou com suporte financeiro a este estudo através do Projeto Integrado de Pesquisa CEX 1669/95.