

# CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS VERTENTES NA ÁREA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)

ANTÔNIO CRISTOFOLETTI (\*) e  
ANTÔNIO CARLOS TAVARES (\*)

As vertentes constituem os elementos mais importantes na caracterização de qualquer paisagem topográfica. Diversos são os processos morfogenéticos responsáveis pela esculturação dessas formas de relevo, que resultam da interação entre as forças atuantes (energia controladora do dinamismo dos processos) e a resistência exercida pelas características litológicas.

O estudo das vertentes é setor dos mais antigos dentre os englobados pela Geomorfologia. Como principal constituinte da superfície terrestre, ocupava posição fundamental nos modelos davisianos; posteriormente, sua importância nunca deixou de ser reconhecida. Qualquer livro-texto de Geomorfologia apresenta capítulos dedicados ao assunto. Entretanto, ocorria um paradoxo: tendo por objetivo explicar as paisagens, numa perspectiva panorâmica e global, os geomorfólogos pouco se dedicaram ao estudo do elemento *vertente*, contentando-se com as generalizações implicadas nas concepções teóricas e nos modelos análogos. A preocupação em estudar os processos morfogenéticos e as formas de vertentes aumentou a partir de 1952, quando da criação da Comissão Sobre a Evolução de Vertentes, integrada na União Geográfica Internacional. A análise das formas de vertentes pode ser realizada através do estudo do perfil longitudinal ou da descrição na perspectiva plana. Considerações a propósito dessas abordagens analíticas foram sumariadas por Christofolletti (1974).

---

1. Departamento de Geografia e Planejamento Regional da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

A presente contribuição é resultante do tratamento que os autores efetuaram sobre a documentação cartográfica de detalhe existente sobre a área do Quadrilátero Ferrífero, que é possuidora de mapeamento topográfico e geológico dos mais precisos. Dois objetivos nortearam as nossas atividades: a) verificar a relação entre a declividade de vertentes e a litologia, a fim de analisar se as angulosidades verificadas nos perfis topográficos apresentavam aspectos característicos no tocante às diversas litologias, ou se havia homogeneidade entre as declividades observadas nas vertentes esculpidas sobre os variados afloramentos litológicos; b) após verificar que as rochas do Grupo Nova Lima ocupam a maior parcela do espaço compreendido pela unidade morfoestrutural do Quadrilátero Ferrífero, os autores foram levados a estudar os perfis das vertentes esculpidas nessa formação geológica, analisando os coeficientes de comprimento e de intensidade, oriundos das relações entre os setores convexos e côncavos, e realizar uma comparação das formas obtidas com as apresentadas pelos modelos análogos.

#### CARACTERIZAÇÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero localiza-se na parte central do Estado de Minas Gerais, ao sul da cidade de Belo Horizonte, e a sua denominação foi proposta por Gonzaga de Campos, em virtude dos extensos depósitos de minério de ferro existentes nessa área. Engloba extensão aproximada de 7.000 km<sup>2</sup>, sendo delimitado pelas linhas que interligam as localidades de Itabira, rio Piracicaba, Mariana, Congonhas do Campo, Casa Branca e Itaúna.

A geologia do Quadrilátero Ferrífero é muito complexa, mas boas descrições recentes são fornecidas pelas contribuições de Phillip W. Guild (1960), John Van Dorr II e outros (1959) e John Van Dorr II (1969). Para a caracterização topográfica da região, assim como para a apresentação dos tipos de relevo morfoestruturais e da história geomorfológica da área, são importantes os trabalhos de Getúlio V. Barbosa (1960), Jean Tricart (1961) e de G. V. Barbosa e D. M. Rodrigues (1965).

A geologia regional é composta por camadas de rochas sedimentares pré-cambrianas que foram metamorfozadas, dobradas, falhadas e com intrusões magmáticas. Esse pacote sedimentar está assentado sobre o embasamento de rochas graníticas do complexo cristalino brasileiro. A série rio das Velhas, subdividida nos grupos Nova Lima e Maquiné, é a mais antiga,

aflorando em quase toda a porção interior e deprimida do Quadrilátero Ferrífero. No grupo Nova Lima predominam filitos, xistos, micaxistos e dolomitos, enquanto no grupo Maquiné dominam os quartzitos. A série Minas recobre os sedimentos da série rio das Velhas e subdivide-se nos grupos Tamanduá (quartzitos, filitos), Caraça (quartzitos, filitos e conglomerados), Itabira (itabirito, filito e dolomito) e Piracicaba (quartzito, filito, grauvaca e dolomito). Em geral, os terrenos do grupo Itabira, com predomínio de itabiritos, ricos em ferro, aparecem capeados por carapaças ferruginosas, denominadas de canga. Os sedimentos mais recentes do pré-cambriano compõem a série Itacolomi, que aflora no sul e sudeste da região, sendo composta por quartzitos, filitos e conglomerados.

Nesse conjunto litológico, os quartzitos são considerados como as rochas mais resistentes aos processos morfoгенéticos, enquanto os filitos, xistos e micaxistos se comportam como as mais tenras. Atenção especial deve ser dada às cangas, cuja presença está relacionada aos itabiritos, formando revestimento de elevada resistência.

A disposição das camadas controla as principais linhas topográficas. Na extremidade norte, os afloramentos dos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba possuem alinhamentos no sentido SW — NE, constituindo a serra do Curral, cujas altitudes encontram-se por volta de 1.300 — 1.400 metros. Esta serra forma uma escarpa voltada em direção de noroeste que domina as formas mamelonares esculpidas sobre as rochas graníticas do embasamento cristalino, cujas altitudes topográficas estão balizadas por volta de 800 — 900 metros. Em direção de sudeste, para o interior do Quadrilátero Ferrífero, o desnível torna-se menor porque as colinas elaboradas sobre as rochas do grupo Nova Lima encontram-se em altitudes próximas de 1.100 — 1.200 metros.

O limite ocidental do Quadrilátero é constituído pelo sinclinal da Moeda, cujo eixo é ocupado pelo grupo Piracicaba, formando o planalto da Moeda (situado a 1.300 m), enquanto os grupos Caraça e Itabira afloram em suas bordas e constituem as serras da Moeda (no flanco oeste) e Itabirito (no flanco leste) em altitudes superiores a 1.500 metros. Caminhando em direção de oeste reencontramos a topografia mamelonar sobre as rochas graníticas, a aproximadamente 900 metros, enquanto para o interior do Quadrilátero a topografia esculpida sobre as rochas do grupo Nova Lima está por volta de 1.100 metros. Na borda meridional, representada pelo sinclinal Dom Bosco, disposto no sentido leste-oeste, reencontra-se a mesma disposição estrutural, com o grupo Piracicaba ocupando a parte central e ladeado pelos grupos Caraça e Itabira, nos flancos

norte e sul, respectivamente. No flanco sul do sinclinal encontramos localizado o divisor de águas, numa altitude entre 1.400 — 1.500 metros, entre as bacias que drenam para o interior do Quadrilátero e atravessam-no, integrando a bacia do rio das Velhas, e as que escoam para fora da região, embora integrantes também do grande conjunto hidrográfico do rio das Velhas.

No trecho oriental do Quadrilátero, com direção aproximada de NW — SE, encontramos a serra Geral. Nesse setor, a perturbação das camadas apresenta maior complexidade, ocorrendo dobramentos, falhamentos e intrusões magmáticas. A serra do Caraça é o trecho culminante de todo o Quadrilátero, com altitudes superiores a 2.000 metros. Sustentada por rochas do grupo Tamanduá, essa serra tem sua origem com o soergimento causado pelas intrusões de rochas gabróides, que aconteceram após o metamorfismo das camadas sedimentares. De modo geral, excetuando a serra do Caraça, as maiores altitudes da região coincidem com os afloramentos do grupo Itabira e Caraça, cujas cotas altimétricas situam-se por volta de 1.600 metros. Para leste da serra Geral, as rochas graníticas sustentam colinas localizadas a uma altitude de 800 — 900 metros.

Todo o interior do Quadrilátero Ferrífero é drenado pelos cursos formadores da bacia do rio das Velhas, nascendo no setor sudeste da região, nas proximidades de Mariana, e atravessando a área fluindo através das rochas graníticas e metasedimentares. O vale pode ser descrito como amplo, excetuando os trechos localizados nas proximidades de Rio Acima e na travessia da serra do Curral, onde o curso de água apresenta meandros encaixados e gargantas íngremes e estreitas. Vales encaixados são comuns na área drenada pelo rio das Velhas, escavados pelos tributários de maior porte e oriundos das porções mais elevadas que circundam e delimitam a área. O rio Paraopeba e seus afluentes drenam os setores oeste e sul do exterior do Quadrilátero, enquanto o rio Piracicaba drena o setor este e demanda à bacia do rio Doce.

As características climáticas regionais possibilitam classificá-las no grupo dos climas quentes e úmidos, havendo distinção entre as estações secas e chuvosas. A estação chuvosa corresponde aos meses de outubro a março, concentrando 80% da precipitação total e sendo a época das temperaturas elevadas. A estação seca, correspondendo aos meses de menor precipitação e temperaturas, compreende o período que se estende de abril a setembro. Um exemplo local é fornecido pela cidade de Ouro Preto, cujos dados descritivos estão apresentados na tabela 1.

TABELA 1. Dados climáticos de Ouro Preto (MG), no período de 1933-1942.

Meses	Temperaturas			Umidade relativa	Precipitação
	Médias	Média das máximas	Média das mínimas		
Jan.	20,3	25,7	16,4	84,6	281,6
Fev.	20,4	25,8	16,4	85,2	168,4
Mar.	19,6	25,0	15,7	86,0	156,8
Abr.	18,2	23,2	14,3	88,8	104,8
Mai.	16,1	21,8	11,3	87,1	31,8
Jun.	14,6	20,8	9,4	86,0	10,5
Jul.	14,1	20,2	8,8	84,6	17,3
Ago.	15,5	22,3	9,7	81,3	21,7
Set.	16,7	22,7	11,8	83,0	66,1
Out.	17,8	23,1	13,8	85,7	133,6
Nov.	18,9	24,0	14,8	85,3	186,4
Dez.	19,4	24,6	16,0	87,9	340,0
Ano	17,6	23,3	13,2	85,5	1519,0

(Latitude: 20° 23' S; longitude: 30° 43' W; altitude: 1.184 m)

Em geral, as quantidades de calor e de umidade fornecidas ao conjunto regional possibilitam elevada intensidade das reações químicas, criando condições para a predominância da meteorização química. Entretanto, em virtude da resistência oferecida pelas rochas e pela alta declividade das vertentes, o regolito é relativamente delgado e, em muitos pontos, há o afloramento de rochas inalteradas.

As condições pedológicas talvez sejam as principais responsáveis pela distribuição dos tipos de vegetação. Na maior área do Quadrilátero Ferrífero verifica-se a ocorrência de cerrados, enquanto os campos predominam nas superfícies mais elevadas, em geral ligados aos afloramentos de quartzitos. Ao longo dos rios surgem matas galerias, e nas encostas mais úmidas e com regolito mais profundo ocorrem trechos da floresta latifoliada semidecídua tropical.

#### OBTENÇÃO DOS DADOS

A documentação básica para a coleta dos dados necessários foi constituída pelas cartas topográficas e geológicas, na escala de 1:25.000, elaboradas pelo United States Geological Survey e inseridas no trabalho de Dorr II (1969). Utilizamos

as quadrículas de Santa Luzia, serra da Piedade, Caeté, Gandarela e rio das Pedras, que englobam parte da serra do Curral, ao norte do Quadrilátero, e estendem-se em direção ao sul pela porção central da região até o complexo de Bação e parte da serra Geral, na altura do sinclinal de Gandarela. Nessa distribuição as folhas representam a área compreendida entre as latitudes de 19°45' e 20°15' S e entre as longitudes de 43°37' 30" e 43°45' W.

Os dados sobre declividades foram obtidos através de perfis topográficos, traçados através de amostragem padronizada para todas as cartas topográficas. Para a localização dos perfis topográficos, foi traçada sobre as cartas uma rede quadriculada, com quadrados medindo 10 cm (2,5 km) de lado, e no mapa foi marcado o ponto central de cada um deles. Cada carta foi coberta com 25 quadrados, exceto a de Santa Luzia, que não possuía o mapeamento geológico em sua totalidade. Para os 125 quadrados obtidos foram traçados perfis topográficos, compreendendo as vertentes assinaladas e cortando uma ou mais formações geológicas. Quando o centro do quadrado não coincidia com uma vertente, recaindo sobre o topo interfluvial ou sobre a planície de inundação (ou curso de água), o traçado do perfil foi intuitivamente deslocado para abranger a vertente localizada nas imediações do ponto assinalado.

Como as quadrículas apresentam curvas de nível com equidistância de 10 m, obtivemos a angulosidade considerando a relação entre o comprimento horizontal entre elas e a respectiva amplitude vertical, calculando o valor da tangente e a sua transformação em graus. Cada trecho interceptado entre duas isoípsas foi considerado como unidade de mensuração, apresentando determinado valor de declividade. Cada perfil, portanto, podia apresentar quantidade diferente de trechos mensurados.

Cada unidade de mensuração foi relacionada à determinada formação geológica. Considerando que as formações geológicas recobrem áreas desiguais e as variações no comprimento das isoípsas, o número de medições realizadas para cada uma delas foi diferente. No conjunto, realizamos 764 medidas para o grupo Nova Lima, 383 para o grupo Maquiné, 201 para o grupo Piracicaba, 137 no grupo Itabira, 50 no grupo Caraça e 93 na área coberta pelas cangas, totalizando 1.850 medições. Convém salientar que no trecho em que o levantamento foi efetuado não afloram rochas dos grupos Tamanduá e Itacolomi. A tabela 2 reúne a distribuição dos dados obtidos, conforme o valor em graus, para as diversas formações geológicas.

TABELA 2. Distribuição das declividades (em graus) para diversas formações geológicas do quadrilátero ferrífero.

Declividade	Litologia							Total
	Nova Lima	Magmáticas	Maquiné	Piracicaba	Itabira	Caraça	Canga	
0	1	2	2	1	—	—	—	6
1	1	—	—	—	—	—	—	1
2	6	5	—	2	—	—	—	13
3	1	5	4	—	—	—	—	10
4	3	5	2	—	1	—	—	11
5	8	10	2	—	—	—	—	20
6	17	9	5	4	2	—	1	38
7	9	8	8	3	—	—	—	28
8	19	20	18	4	3	—	—	64
9	36	13	17	4	2	—	2	74
10	18	2	6	7	1	—	1	35
11	58	29	24	13	9	—	3	141
12	1	—	—	1	—	—	—	2
13	40	23	12	9	6	1	1	92
14	—	1	—	—	—	—	1	2
15	120	54	34	25	6	2	14	255
16	1	—	—	—	—	—	—	1
17	—	—	—	—	—	—	—	—
18	79	36	14	26	6	6	12	179
19	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	1	—	—	1
21	—	—	—	—	—	—	—	—
22	148	57	29	49	23	12	33	351
23	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—
27	2	—	—	—	—	—	—	2
28	—	—	2	—	—	—	—	2
29	105	52	18	26	20	5	13	239
30	—	—	—	—	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	—	—	3	—	—	3
35	—	—	—	—	—	—	—	—
36	—	—	—	—	—	—	—	—
37	—	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	—	—	—	—	—	—
39	2	2	—	—	3	—	—	7
40	67	44	17	21	34	21	11	215
41	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	—	—	—	—

(Continua)

TABELA 2. (Continuação)

Declividade	Litologia							Total
	Nova Lima	Magmáticas	Maquiné	Piracicaba	Itabira	Caraça	Canga	
47	4	—	—	—	4	—	—	8
48	2	—	—	—	2	3	—	7
49	—	—	—	—	—	—	—	—
50	3	—	3	—	3	—	—	9
51	—	—	—	—	—	—	—	—
52	—	—	—	—	—	—	—	—
53	—	—	—	—	—	—	—	—
54	—	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—
56	—	—	—	—	—	—	—	—
57	—	—	—	—	—	—	—	—
58	4	—	—	—	5	—	—	9
59	9	6	5	1	3	—	1	25
Total	764	383	222	201	137	50	93	1.850

Para o estudo dos perfis de vertentes utilizamos somente aqueles cujos traçados recobriam, em toda sua extensão, rochas pertencentes ao grupo Nova Lima. Com a aplicação desse critério, selecionamos 44 perfis.

#### ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE DECLIVE DE VERTENTES E A LITOLOGIA

Ao analisar as declividades das vertentes no Quadrilátero Ferrífero, a primeira preocupação foi a de verificar o tipo de distribuição populacional cuja função melhor enquadrasse a normalidade desse conjunto de dados.

Para essa finalidade, os dados foram analisados em seus valores absolutos (valor dos ângulos) e em seus valores transformados. Duas transformações foram realizadas: a) transformação dos valores dos ângulos em valores logarítmicos; b) transformação em raiz quadrada dos valores absolutos, conforme a proposição apresentada por Freeman e Turkey (1950), expressa como sendo:  $y = \sqrt{x} + \sqrt{x + 1}$  na qual:  $y$  = valor transformado em raiz quadrada;  $x$  = valor em ângulos de determinada declividade.

A tabela 3 reúne as classes e a frequência para as três distribuições. Para testar a normalidade, foi utilizado o teste de ade-

rência pelo  $\chi^2$ . O valor da somatória do  $\chi^2$ , para os dados absolutos, atingiu 125,72, superando de muito o valor previsto e tabelado, e propiciando condições para rejeitar a hipótese de normalidade. No tocante a distribuição logarítmica, o valor somou 18,47 e está localizado próximo do valor máximo previsto para a admissão da hipótese nula, que é de 18,55 (para 6 graus de liberdade e 99,5 como nível de confiança). Ao mesmo nível, e para 7 graus de liberdade, o valor previsto é de 20,28. Este valor é bem mais elevado que o apresentado pela somatória do  $\chi^2$  para os valores transformados conforme a raiz quadrada, que foi de 14,37. Observando os resultados obtidos, consideramos que os dados sobre angulosidades de vertentes representam tipo de função de normalidade para a distribuição populacional quando são transformados pela aplicação da raiz quadrada. Todas as análises posteriores basearam-se somente na frequência dos dados sob essa transformação.

TABELA 3. Classes e frequências para a distribuição dos dados de declividade.

Dados absolutos (valor em graus)		Transformação em logarítmicos		Transformação em $\sqrt{x} + \sqrt{x + 1}$	
Classes	Fre- quência	Classes	Fre- quência	Classes	Fre- quência
0 — 5	61	0 — 0,200	7	1,00 — 2,50	7
5 — 10	239	0,201 — 0,400	13	2,51 — 4,00	23
10 — 15	492	0,401 — 0,600	10	4,01 — 5,50	97
15 — 20	181	0,601 — 0,800	79	5,51 — 7,00	314
20 — 25	351	0,801 — 1,000	191	7,01 — 8,50	342
25 — 30	243	1,001 — 1,200	492	8,51 — 10,00	531
30 — 35	3	1,201 — 1,400	532	10,01 — 11,50	243
35 — 40	222	1,401 — 1,600	253	11,51 — 13,00	225
40 — 45	0	1,601 — 1,800	273	13,01 — 14,50	24
45 — 50	24			14,51 — 16,00	34
50 — 55	0				
55 — 60	34				
Média: 21,00		Média: 1,250		Média: 8,94	
Variância: 136,72		Variância: 0,066		Variância: 6,19	
Desvio padrão: 11,6		Desvio padrão: 0,26		Desvio padrão: 2,48	
$\Sigma\chi^2$ : 125,72		$\Sigma\chi^2$ : 18,47		$\Sigma\chi^2$ : 14,37	

A segunda preocupação foi a de analisar os dados relacionados às diversas formações geológicas. Os dados correspondentes a cada unidade estratigráfica foram considerados como

conjuntos individualizados. A fim de verificar se a influência litológica era significativa no condicionamento da declividade, isto é, propiciando resistência para o surgimento de ângulos em torno de médias e variâncias diferentes, foram empregadas as testagens da média e da variância entre os diversos grupos litológicos.

A tabela 4 assinala os valores da média, variância e desvio padrão para os conjuntos de dados dos diversos grupos estratigráficos, conforme a transformação em raiz quadrada.

TABELA 4. Valores da média, variância e desvio padrão para as diversas formações geológicas, para os dados transformados em raiz quadrada.

Formações geológicas	Média	Variância	Desvio padrão
Nova Lima	8,84	5,50	2,34
Magmáticas	8,59	6,74	2,59
Maquiné	8,19	5,65	2,37
Piracicaba	8,87	4,54	2,13
Itabira	10,61	6,01	2,45
Caraça	11,04	3,73	1,93
Cangas	9,48	3,28	1,81

A fim de analisar as diferenças entre as médias, propôs-se como hipótese de pesquisa o considerar de que há diferença significativa entre os conjuntos de dados relacionados com as diferentes unidades litológicas. Inversamente, a hipótese nula declara que a diferença entre os valores médios é devido à chance e que essa diferença não é significativa. Para esse cálculo, foi aplicado o procedimento descrito por Doornkamp e King (1971, p. 39-40).

Considerando a pequena quantidade de medidas disponíveis para o grupo Caraça e o caso especial das cangas, que representam carapaça de revestimento e não uma formação geológica, os autores acharam conveniente eliminar esses dois conjuntos de dados na análise comparativa entre as formações geológicas. A aplicação do teste *t*, comparando os grupos dois a dois, incidiu sobre os grupos Nova Lima, Piracicaba, Maquiné e Itabira, e para o conjunto das rochas magmáticas, representadas pelas graníticas. A tabela 5 apresenta a matriz composta com os resultados obtidos.

A análise da variância também foi aplicada para testar se há diferença significativa entre os conjuntos relacionados com as formações geológicas acima mencionadas, a fim de verificar

se as amostras foram retiradas da mesma população. Quando as amostras são retiradas da mesma população, os seus valores médios devem apresentar, com toda probabilidade, diferenças em virtude das variações existentes entre os valores dos dados de toda a população. Portanto, a hipótese nula expressa que as amostras são coletadas da mesma população, não havendo diferenças significativas entre elas. Nessa perspectiva, na análise da variância, o importante é verificar se as variações *entre* as médias das amostras é significativamente maior que as variações *internas* das próprias amostras. Na análise da variância, levando ao cálculo dos valores da estatística *F*, o procedimento aplicado foi o descrito por Doornkamp e King (1971, p. 164-168) e Yeates (1974, p. 131-139), entre as obras diretamente vinculadas aos trabalhos geográficos. A tabela 6 apresenta a matriz composta com os resultados obtidos.

TABELA 5. Matriz dos valores *t*, entre os diversos conjuntos de dados.

	Magmáticas	Maquiné	Piracicaba	Itabira
Nova Lima	1,71	3,65	0,16	8,04
Magmáticas		1,90	1,33	7,89
Maquiné			3,09	9,30
Piracicaba				6,96

Verificando o fato de que ao nível de confiança de 99%, o valor tabelado, para o teste *t*, é de 2,57, podemos inferir as seguintes considerações: *a*) a hipótese nula pode ser admitida para alguns grupamentos que, por ordem crescente, são os seguintes: Nova Lima/Piracicaba; Magmáticas/Piracicaba; Nova Lima/Magmáticas; Magmáticas/Maquiné; *b*) a hipótese nula deve ser rejeitada para os demais casos.

Considerando a análise de grupamento da matriz apresentada na tabela 5, pode-se inferir que as rochas componentes dos grupos Nova Lima e Piracicaba, junto com as rochas graníticas do embasamento cristalino, possuem comportamento semelhante no que se refere às declividades das vertentes. As rochas do grupo Maquiné, pelos valores apresentados, podem ser consideradas como unidade individualizada, embora guardando certa similitude com o conjunto anterior. O grupo Itabira, por seu turno, demonstra acentuada individualidade, diversificando-se totalmente dos demais.

Quanto ao teste estatístico *F*, o valor tabelado, ao nível de 99%, para 1 e infinitos graus de liberdade, é de 6,63. Confron-

tando este valor com os resultados inseridos na tabela 6, verifica-se que a hipótese nula pode ser admitida no grupamento Nova Lima/Piracicaba, devendo ser rejeitada nos demais casos. Entretanto, considerando a ordem crescente e a grandeza dos valores, e a aplicação da análise de grupamento, podemos chegar aos mesmos resultados interpretativos relacionados com a aplicação do teste *t*.

TABELA 6. Resultados obtidos pela aplicação do teste *F*, entre as diversas formações geológicas.

	Magmáticas	Maquiné	Piracicaba	Itabira
Nova Lima	10,56	62,74	3,86	92,14
Magmáticas		51,54	13,02	93,00
Maquiné			63,79	156,14
Piracicaba				70,77

#### ANÁLISE DOS PERFIS DE VERTENTES ESCULPIDAS EM ROCHAS DO GRUPO NOVA LIMA

A fim de realizar a caracterização das formas de vertentes, considerando o perfil longitudinal, há a necessidade de identificar as suas unidades que, conforme os trabalhos de Young (1964, 1971, 1972), podem ser conceituadas da seguinte maneira: *segmentos* — são as porções do perfil da vertente, nas quais os ângulos permanecem aproximadamente constantes, o que lhes dá o caráter retilíneo; *elemento convexo* — é a porção da vertente, com curvatura positiva, onde os ângulos aumentam continuamente em direção de jusante; *elemento côncavo* — é a porção da vertente, com curvatura negativa, onde os ângulos decrescem continuamente em direção de jusante.

Levando em conta essa conceituação, foram considerados como convexidades os trechos que não apresentaram diminuição dos ângulos em direção ao sopé, podendo incluir tanto um elemento convexo como uma parcela do segmento. Da mesma maneira, a concavidade foi considerada como a porção da vertente compreendendo os trechos em que não havia aumento das angulosidades em direção do sopé, podendo incluir um elemento côncavo e parcela de segmentos. Devido a dificuldade em se delimitar com precisão as diversas rupturas de declive, indicando as passagens entre as unidades, determinados trechos poderiam ser incluídos tanto nas convexidades como nas concavidades. Todavia, usamos o critério de incluir os trechos

de transição nas parcelas em que melhor se encaixavam, considerando os valores das declividades medidos nos referidos trechos e nos adjacentes.

Servindo como padrões para a análise das formas de vertentes escolhemos dois modelos análogos: o modelo regular ou normal e o modelo proposto por Lester King (1953). O modelo regular ou normal, descrito por Derruau (1965), considera que o perfil típico de uma vertente apresenta uma convexidade no topo e uma concavidade na parte inferior, sendo que ambas estão separadas por um simples ponto de inflexão ou por um segmento (fig. 1). Tais vertentes encontram-se recobertas por

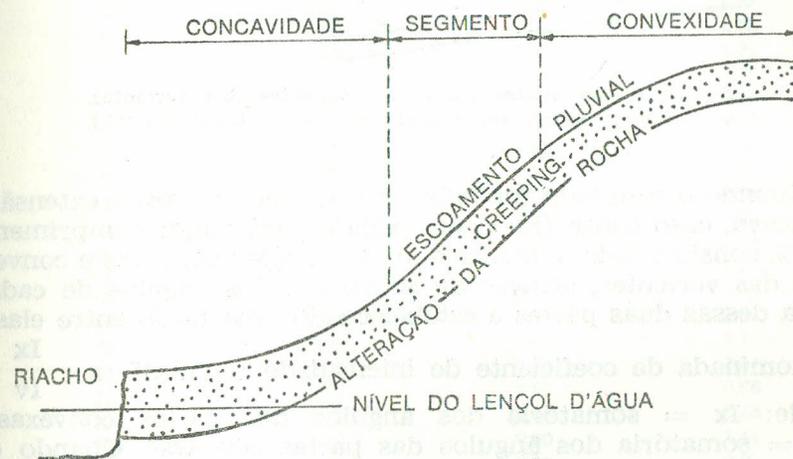


Figura 1. A composição da vertente normal ou regular, conforme apresentada por Derruau (1965). A área pontilhada indica o regolito.

um manto de detritos, relativamente espesso, e não apresentariam ravinamentos. Para Lester King, as vertentes correspondem a modelo totalmente diferente do acima apresentado. Elas constituem-se de um topo convexo, sucedido por uma escarpa retilínea, um segmento retilíneo, que constituiria o talus detrítico, e por um pedimento de concavidade suave (fig. 2).

Para compararmos as vertentes aos modelos análogos apresentados, optamos por duas maneiras de analisá-las: 1. considerando a extensão, no sentido horizontal e a partir da origem interfluvial, das porções côncavas e convexas das vertentes e estabelecendo uma razão entre elas, denominada de coeficiente de comprimento (CL):

$$CL = \frac{L_x}{L_v} \quad \text{onde: } L_x = \text{comprimento de comprimento (CL)}$$

mento das partes convexas;  $L_v$  = comprimento das partes côncavas.

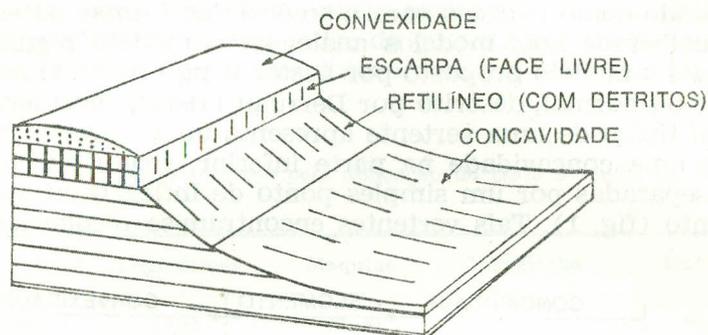


Figura 2. As quatro partes componentes das vertentes, conforme o modelo apresentado por Lester King, em 1953.

Quando o resultado for inferior a 1, predominará a extensão côncava, caso contrário a convexidade terá maior comprimento; 2. considerando a intensidade das porções côncavas e convexas das vertentes, através da somatória dos ângulos de cada uma dessas duas partes e estabelecendo uma razão entre elas,

denominada de coeficiente de intensidade (CI):  $CI = \frac{Ix}{Iv}$

onde:  $Ix$  = somatória dos ângulos das partes convexas;  $Iv$  = somatória dos ângulos das partes côncavas. Quando o resultado do coeficiente de intensidade for igual ao coeficiente de comprimento, as intensidades de ambas as porções serão iguais. Caso seja superior, verifica-se um predomínio da convexidade e se inferior, a concavidade é mais intensa.

Considerando o caráter desses índices, pode-se obter uma razão entre ambos, que exprime a intensidade das porções côncavas e convexas das vertentes. A razão pode ser expressa

como:  $I = \frac{CL}{CI}$ .

Quando os valores obtidos através dessa razão estiverem próximos da unidade, estarão indicando a existência de convexidades e concavidades relativamente iguais na composição da vertente, consideradas as intensidades apresentadas por essas parcelas. Quando os resultados forem inferiores a 1,0, pode-se discernir a existência de maior atuação da intensidade dos trechos convexas, ocorrendo o inverso quando os valores forem superiores ao valor da unidade. Os dados pertinentes ao grupo

Nova Lima, submetidos a esses cálculos específicos, mostraram os resultados inseridos na tabela 7.

TABELA 7. Extensão e intensidade das concavidades e convexidades das vertentes do grupo Nova Lima.

Vertentes	CL	CI	I
1	0,77	0,83	0,93
2	2,08	1,26	1,65
3	2,13	2,82	0,76
4	1,62	1,07	1,51
5	0,68	0,70	0,97
6	0,98	1,05	0,93
7	1,46	1,18	1,24
8	1,35	1,16	1,16
9	1,88	2,36	0,80
10	1,82	1,70	1,07
11	1,27	1,25	1,02
12	0,81	0,85	0,95
13	0,64	0,72	0,89
14	1,12	1,15	0,97
15	1,02	0,98	1,04
16	2,07	1,81	1,14
17	0,74	0,71	1,04
18	0,76	0,72	1,06
19	0,92	0,83	1,11
20	2,26	1,82	1,24
21	3,84	5,27	0,66
22	1,81	2,06	0,88
23	1,27	0,90	1,41
24	2,24	2,30	0,97
25	1,42	1,51	0,94
26	1,00	1,43	0,70
27	0,74	1,26	0,59
28	0,75	0,76	0,99
29	1,39	1,72	0,81
30	1,43	1,81	0,79
31	1,54	1,17	1,32
32	0,63	0,60	1,05
33	1,04	1,16	0,90
34	0,79	0,72	1,10
35	1,13	1,20	0,94
36	1,13	0,45	2,51
37	1,12	1,30	0,86
38	0,93	0,94	0,99
39	0,77	0,96	0,80
40	0,97	1,44	0,89
41	0,49	0,55	0,67
42	0,87	0,93	0,94
43	1,33	1,21	1,10
44	0,77	1,02	0,75

Outra tentativa de abordar o problema foi a de verificar a probabilidade de ocorrência dos diversos tipos de vertentes, considerando o predomínio da característica convexa ou côncava no comprimento ou na intensidade. Combinando tais características, pode-se encontrar os seguintes tipos combinatórios: comprimento convexo e intensidade convexa; comprimento convexo e intensidade côncava; comprimento côncavo e intensidade côncava; comprimento côncavo e intensidade convexa.

Considerando os dados obtidos nos 44 perfis das vertentes do grupo Nova Lima, pode-se verificar a ocorrência maior e igual das vertentes convexas e côncavo-convexas (tipos 1.1, 1.0, e 0.1), conforme a tabela 7, em detrimento das côncavas (tipo 0.0).

TABELA 8. Tipos de vertentes do grupo Nova Lima

Comprimento	Intensidade	Vertentes	%
1	1	13	29,54
1	0	13	29,54
0	1	13	29,54
0	0	5	11,36

1 = Convexidade; 0 = Concavidade

Outra preocupação suscitada foi a de verificar a existência de relações entre os comprimentos das partes convexas e côncavas das vertentes com as suas respectivas intensidades. A representação gráfica das vertentes, considerando os valores dessas duas variáveis (fig. 3), mostrou que a função logarítmica era o relacionamento mais consentâneo. Através de uma calculadora eletrônica programável, HP-25, obtivemos a ajustagem de uma função logarítmica entre os valores do coeficiente de intensidade (no eixo das abscissas) e os do coeficiente do comprimento (no eixo das ordenadas, considerados como  $y$ ), e a equação resultante mostrou ser a seguinte  $y = 1,10 + 1,08 \ln x$ .

O coeficiente de determinação surgiu com o valor de 0,72, enquanto o coeficiente de correlação foi de 0,85. Na figura 3 está representada a curva logarítmica e a posição de cada uma das vertentes consideradas. Verificando os dados, pode-se afirmar que, no caso do grupo Nova Lima, há o seguinte: — quando o valor do coeficiente de intensidade for inferior a 0,68,

provavelmente esse valor será superior ao do coeficiente de comprimento. Nessas circunstâncias, a vertente terá extensões côncavas maiores, mas os setores convexas apresentarão maior intensidade; — quando o valor do coeficiente de intensidade estiver entre 0,68 e 1,61, possivelmente esse valor será inferior ao do coeficiente de comprimento. Nessas circunstâncias, pode ocorrer o caso em que a vertente será côncava tanto no comprimento como na intensidade, quando o valor do coeficiente de comprimento for inferior a 1,00, ou haverá o predomínio da extensão da convexidade na caracterização da vertente, quando o valor do coeficiente de comprimento for superior a 1,00; — quando o valor do coeficiente de intensidade for superior a 1,61, esse valor provavelmente será maior que o do coeficiente de comprimento que, por sua vez, terá valores também superiores a 1,00. Com ambos os coeficientes superando o valor unitário, a vertente será convexa tanto no comprimento como na intensidade.

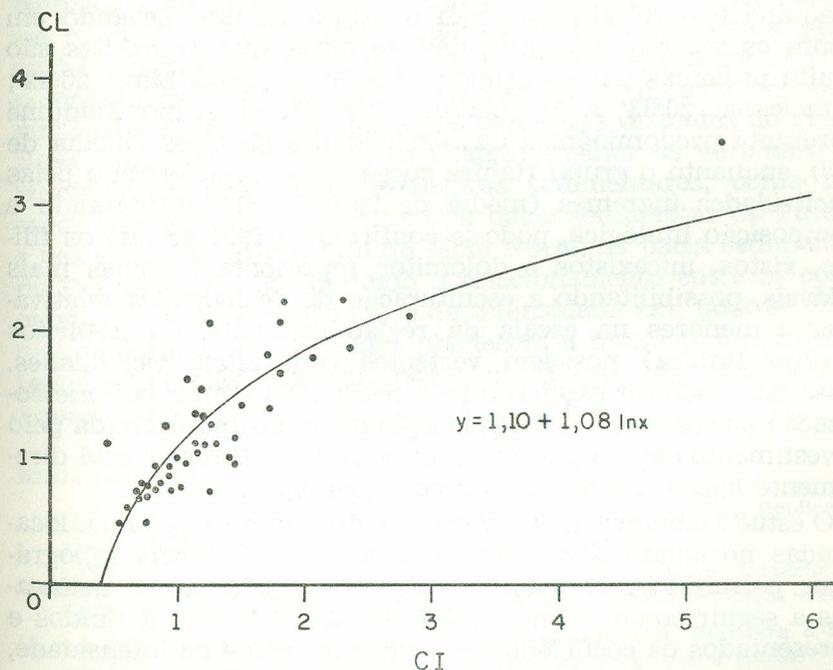


Figura 3. Relacionamento entre os coeficientes de comprimento ( $y$ ) e de intensidade ( $x$ ) e a curva de função logarítmica obtida para as vertentes do grupo Nova Lima, no Quadrilátero Ferrífero (MG).

As cartas topográficas na escala de 1:25.000 mostraram ser documentos viáveis para a análise das declividades de vertentes, permitindo o estabelecimento de perfis relativamente minuciosos. O estudo sobre a declividade das vertentes do Quadrilátero Ferrífero levantou possibilidades para formular algumas considerações finais: *a*) a população composta pelas medições de declividade possuem a função de densidade normal quando os dados são transformados conforme a raiz quadrada, confirmando os resultados obtidos nas investigações realizadas por Nieuwenhuis e Berg (1971); *b*) os valores das médias e a variabilidade dos conjuntos amostrais apresentam características que permitem relacionar e diversificar os aspectos topográficos das formações geológicas encontradas na região; *c*) no Quadrilátero Ferrífero, três conjuntos populacionais podem ser discernidos: o correspondente às rochas do grupo Nova Lima, do grupo Piracicaba e dos afloramentos graníticos; o do grupo Maquiné e o relacionado com o grupo Itabira. Levando em conta os valores absolutos, deve-se notar que as médias são muito próximas para o primeiro conjunto (Nova Lima, 20°42'; Piracicaba, 20°33' e Magmáticas, 19°50'). O grupo Maquiné apresenta predominância das declividades menores (média de 18°), enquanto o grupo Itabira surge como caracterizado pelas declividades íngremes (média de 29°40'); *d*) considerando a composição litológica, pode-se confirmar o fato de que os filitos, xistos, micaxistos e dolomitos representam rochas mais friáveis, possibilitando a esculturação de declividades relativamente menores na escala da região estudada. Os itabiritos (grupo Itabira) possuem vertentes com altas declividades. Esse fato pode ser explicado pela resistência oferecida à meteorização por essas rochas e pela ação mantenedora exercida pelo revestimento das cangas ferruginosas, cuja ocorrência está diretamente ligada à referida formação geológica.

O estudo das formas das vertentes do grupo Nova Lima, localizadas no Quadrilátero Ferrífero, através de perfis topográficos, permitiu a formulação de algumas considerações, delineadas a seguir como: *a*) na análise dos dados foram definidos e apresentados os coeficientes de comprimento e de intensidade, que mostraram ser significantes para a análise de vertentes; *b*) considerando os tipos de vertentes conforme as combinações das características convexas e côncavas apresentadas pelos coeficientes de comprimento e de intensidade, observamos maior probabilidade de ocorrência das vertentes conve-

xas, convexas-côncavas e côncavo-convexas. Em geral, predominam as vertentes em que as partes convexas possuem maior extensão e intensidade, em diversos de seus trechos; *c*) nas rochas metamorfizadas do grupo Nova Lima há pouca probabilidade de ocorrência das vertentes em que predominem as concavidades tanto no comprimento como na intensidade; *d*) a tendência para o predomínio das convexidades, nas vertentes do grupo Nova Lima, pode ser considerada como resultante da atuação dos processos morfogenéticos em regiões quentes e úmidas. As áreas de rochas cristalinas, quando submetidas ao referido sistema morfoclimático, são caracterizadas como possuidoras de vertentes com predominância convexa. Na literatura geomorfológica sobre as regiões brasileiras, tornou-se generalizado a utilização de termos como "meia laranja" e "mar de morros" para designar as formas de relevo e as paisagens morfológicas típicas da fachada atlântica, no Brasil de Sudeste, como podem ser exemplificados pelos trabalhos de Ab'Saber (1966) e Libault (1971); *e*) relacionando-se os perfis obtidos nas vertentes com os propostos pelos modelos análogos, verifica-se haver maior ajustamento com o modelo de vertente normal ou regular. O modelo proposto por Lester King não se ajusta aos perfis das vertentes do grupo Nova Lima, embora possa se adaptar melhor às vertentes esculpadas em áreas com estruturas sedimentares, como nas escarpas do planalto Basáltico da bacia sedimentar do Paraná e nas escarpas do planalto do Meio Norte, na bacia sedimentar do Parnaíba; *f*) considerando o relacionamento entre os coeficientes de comprimento (*y*) e de intensidade (*x*), pode-se dizer que as formas das vertentes obedecem a uma correlação existente entre eles, descrita por uma função logarítmica cuja equação é a seguinte:  $y = 1,10 + 1,08 \ln x$ .

BIBLIOGRAFIA

- Ab'Saber, A. N. (1966), O domínio dos mares de morros no Brasil. Publicação Avulsa do IGEOG — USP, *Geomorfologia* (2): 1-16.
- Barbosa, G. V. (1960), *O manto de alteração no sudoeste do Quadrilátero Ferrífero*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Barbosa, G. V. e Rodrigues, D. M. (1965), O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Boletim Mineiro de Geografia*, 6 (10/11): 3-35.
- Christofoletti, A. (1974), *Geomorfologia*. Editora Edgard Blücher e Editora da USP, São Paulo, 150 p.
- Christofoletti, A. e Tavares, A. C. (1976), Relação entre declividade de vertentes e litologia na área do Quadrilátero Ferrífero (MG). *Notícia Geomorfológica* (no prelo).

- Christofolletti, A. e Tavares, A. C. (1976), Análise de perfis de vertentes esculpidas em rochas do grupo Nova Lima (Quadrilátero Ferrífero, MG). *Notícia Geomorfológica*, 16 (31): 41-56.
- Derruau, M. (1965), *Précis de Géomorphologie* (4ª ed.). Masson et Cie., Paris.
- Doorkamp, J. C. e King, C. A. M. (1971), *Numerical analysis in Geomorphology*. Edward Arnold, Londres, 372 p.
- Dorr II, John V. N. (1969), Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey Professional Paper*, nº 641-A, 110 p.
- Door II, J. V. N. e outros (1959), Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil. *Publicação Especial* nº 1, do Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 120 p.
- Guild, P. W. (1960), Geologia e recursos minerais do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Memória* nº 1, do Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 217 p.
- King, L. C. (1953), Canons of landscape evolution. *Geol. Soc. America Bulletin*, 64: p. 721-732.
- Krumbein, W. C. e Graybill, F. A. (1965), *An introduction to statistical models in Geology*. McGraw-Hill Book Co., Nova York.
- Libault, A. (1971), Pão de açúcar e mar de morros. *Bol. Paulista de Geografia* (46): 3-28.
- Nieuwenhuis, W. C. e Berg, J. A. van der (1971), Slope investigations in the Morvan (Haut Folin area). *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 20 (4): 161-176.
- Rodrigues, D. M. (1966), Condições climáticas de Minas Gerais. *Boletim Mineiro de Geografia*, 7 (12): 3-35.
- Tricart, J. (1961), Le modelé du Quadrilátero Ferrífero au Sud de Belo Horizonte, Brésil. *Annales de Géographie*, (379): 255-272.
- Serebrenick, S. (1962), O clima do vale do rio Doce. *Revista Brasileira de Geografia*, 24 (2): 257-267.
- Yeates, M. (1974), *An introduction to quantitative analysis in human Geography*. McGraw-Hill Book Co., Nova York.
- Young, A. (1964), Slope profile analysis. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 5, p. 17-27.
- Young, A. (1971), Slope profile analysis: the system of best units. In: *Slopes: form and processes*. Institut of British Geographers, Publicação especial nº 3: 1-13.
- Young, A. (1971), *Slopes*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 288 p.

#### RESUMO

Este trabalho mostra, na primeira parte, as relações entre as declividades de vertentes e a litologia da área do Quadrilátero Ferrífero. Os dados sobre declividade foram obtidos através de perfis sobre folhas topográficas na escala de 1.25.000. A primeira preocupação foi estabelecer a função de normalidade dos dados, realizando a transformação conforme a raiz quadrada. A análise dos dados, de acordo com as várias formações geológicas, mostra que há comportamento similar entre os grupos Nova Lima e Piracicaba, incluindo também as rochas graníticas e magmáticas. Os grupos Maquiné e Itabira devem ser considerados como dois grupos perfeitamente distintos. Na segunda parte, analisam-se os perfis de vertentes do grupo Nova Lima

e, considerando os trechos convexos e côncavos das vertentes, os autores propuseram os seguintes índices:

$$\begin{aligned} \text{— relação do comprimento} &= \frac{\text{comprimento dos elementos convexos}}{\text{comprimento dos elementos côncavos}} \\ \text{— relação de intensidade} &= \frac{\text{somatória dos ângulos dos elementos convexos}}{\text{somatória dos ângulos dos elementos côncavos}} \\ \text{— relação de composição} &= \frac{\text{relação do comprimento}}{\text{relação de intensidade}} \end{aligned}$$

A análise dos dados mostra a predominância de vertentes compostas por elementos convexos e côncavos, ou somente por convexidades (tabela 7). A figura 3 mostra uma relação entre a relação de intensidade (considerada como  $x$ ) e a relação do comprimento (considerada como  $y$ ), expressa pela fórmula de função logarítmica igual a:  $Y = 1,10 + 1,08 \ln X$ .

#### ABSTRACT

*Slope profile analysis in the Quadrilátero Ferrífero area (Minas Gerais, Brazil).* This study deals with the relations between the slope declivities and lithological outcrops in the Quadrilátero Ferrífero area, in the first part. The data about declivities were obtained using the profile analysis on topographic sheets with 1:25.000. The first aim was to discern the normality function of the data, doing a square root transformation. The analysis of the data, according the various geologic formations, shows that there is a similar behaviour between Nova Lima and Piracicaba Groups, and including also the granitic rocks, about the slope declivities. The Maquiné Group and Itabira Group may be considered as having distinct individualities. In the second part, the study deals with the slope profiles in the outcrops of the Nova Lima Group and, considering the convexity and concavity reaches in the slopes, we proposed the following indices:

$$\begin{aligned} \text{length ratio} &= \frac{\text{length of convex elements}}{\text{length of concave elements}} \\ \text{strength ratio} &= \frac{\text{of the angles of convex elements}}{\text{of the angles of concave elements}} \\ \text{composition ratio} &= \frac{\text{length ratio}}{\text{strength ratio}} \end{aligned}$$

The data analysis shows the predominance of slopes composed by convex and concave elements, or only by convexities (table 7). The figure 3 shows a relation between the strength ratio (considered as  $x$ ) and length ratio (considered as  $y$ ), expressed by the following formula of the logarithmic function:  $Y = 1,10 + 1,08 \ln X$ .