

1. Classificação INPE-COM.1-TPT CDU.: 621.38SR:551.7(815.1)		2. Período	4. Critério de Distribuição:
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) SENSORIAMENTO REMOTO ZINCO, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA MORFOMETRIA MAPEAMENTO GEOLÓGICO			interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº INPE-1157-TPT/072	6. Data Novembro, 1977	7. Revisado por <i>Gilberto Amaral.</i> Gilberto Amaral.	
8. Título e Sub-Título SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A MAPEAMENTO GEOLÓGICO, COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E IDENTIFICAÇÃO DE ZONA MINERALIZADA EM ZINCO E CHUMBO NA REGIÃO DE VAZANTE, MG.		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DSR	Código 420	11. Nº de cópias 25	
12. Autoria Flávio Soares do Nascimento Maria Amélia Leite Soares do Nascimento		14. Nº de páginas 157	
13. Assinatura Responsável <i>Flávio Soares do Nascimento.</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas Fez-se um estudo visando a aplicação de Sensores Remotos à prospecção de minerais de zinco e chumbo na Formação Paraopeba do Grupo Bambuí. Foi escolhida a área teste no município de Vazante, no Estado de Minas Gerais. O estudo constou de mapeamento geológico, compartimentação geomorfológica, com base em técnicas quantitativas, e identificação de zonas mineralizadas. Os resultados da pesquisa mostraram que as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências coloridas infravermelho foram eficientes no mapeamento das três unidades litológicas da Formação Paraopeba e identificação das zonas mineralizadas, respectivamente. As transparências multiespectrais I <sup>3</sup> S separaram com maior facilidade os dolomitos, que são as rochas condicionantes de mineralizações de zinco e chumbo. As análises estatísticas dos dados morfométricos obtidos de fotografias aéreas branco e pretas e cartas topográficas, discriminaram as três unidades litológicas da Formação Paraopeba, e permitiram a elaboração de uma compartimentação geomorfológica da área em três unidades distintas: Relevo Cárstico, Relevo de Cristas e Relevo de Colinas.			
17. Observações Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações, aprovada em 01 de julho de 1977.			



Aprovado pela Banca Examinadora  
em cumprimento dos requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre em  
Sensores Remotos e Aplicações

Dr. Luiz Alberto Vieira Dias

Luiz Alberto Vieira Dias  
Presidente da Banca

Dr. Gilberto Amaral

Gilberto Amaral  
Orientador

Dr. Adilson Avansi de Abreu

Adilson Avansi de Abreu  
Membro da Banca  
-convidado-

Dr. Marcel Auguste Dardenne

Marcel Auguste Dardenne  
Membro da Banca  
-convidado-

Geõ. Marx Prestes Barbosa, MSc.

Marx Prestes Barbosa  
Membro da Banca

Geõ. Liu Chan Chiang, MSc.

Liu Chan Chiang  
Membro da Banca

Eng. Agro. Antonio Tebaldi Tardin, MSc.

Antonio Tebaldi Tardin  
Membro da Banca

Flávio Soares do Nascimento

Flávio Soares do Nascimento  
Candidato

Maria Amélia Leite Soares Nascimento

Maria Amélia Leite Soares Nascimento  
Candidato

São José dos Campos, 01 de julho de 1977



## INDICE

	Pag.
ABSTRACT .....	<i>vi</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>viii</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>x</i>
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - OBJETIVOS .....	1
1.2 - JUSTIFICATIVA .....	2
1.3 - LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA .....	3
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
2.1 - GEOLOGIA .....	9
2.1.1 - GRUPO BAMBUÍ .....	9
2.1.2 - ÁREA DE VAZANTE .....	15
2.2 - GEOMORFOLOGIA .....	22
2.2.1 - ÁREA DE VAZANTE .....	22
2.2.2 - TÉCNICAS QUANTITATIVAS E DE AMOSTRAGEM APLICADAS A VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS .....	26
2.2.2.1 - TÉCNICAS QUANTITATIVAS .....	27
2.2.2.2 - VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS .....	30
2.2.2.3 - SISTEMAS DE AMOSTRAGEM .....	39
2.3 - SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES .....	40
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS .....	45
3.1 - MATERIAIS .....	45
3.1.1 - SISTEMAS EM NÍVEL DE AERONAVE .....	45
3.1.1.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS .....	45

	Pag.
3.1.1.2 - TRANSPARENCIAS MULTIESPECTRAIS I <sup>2</sup> S .....	45
3.1.1.3 - TRANSPARENCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAV <u>ER</u> MELHO .....	46
3.1.2 - SISTEMA ORBITAL .....	46
3.1.2.1 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR (CCT'S)..	47
3.1.2.2 - IMAGENS LANDSAT .....	47
3.1.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS E MAPAS GEOLÓGICOS .....	47
3.2 - METODOLOGIA .....	48
3.2.1 - FOTINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA E ANÁLISE ESTATÍSTI <u>CA</u> DE DADOS MORFOMÉTRICOS .....	48
3.2.1.1 - FOTINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA .....	48
3.2.1.2 - COLETA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS MORFO <u>M</u> MÉTRICOS .....	51
3.2.1.2.1 - AMOSTRAGEM EM GRADE .....	51
3.2.1.2.2 - AMOSTRAGEM CIRCULAR .....	55
3.2.1.2.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO .....	56
3.2.1.2.4 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA .....	57
3.2.2 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZA <u>DA</u> DA .....	58
3.2.2.1 - ANÁLISE VISUAL DAS TRANSPARENCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAV <u>ER</u> MELHO .....	58
3.2.2.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS OBTIDOS COM O A NALISADOR I-100 .....	59
3.2.3 - TRABALHO DE CAMPO .....	61
 CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	 63
4.1 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE VAZANTE .....	63
4.1.1 - MAPA GEOLÓGICO .....	63
4.1.2 - FOTINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA .....	66

	Pag.
4.1.2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS .....	68
4.1.2.2 - TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS I <sup>2</sup> S .....	69
4.1.2.3 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR .....	70
4.1.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO E TRABALHOS ANTERIORES .....	73
4.1.3.1 - ESTRATIGRAFIA .....	73
4.1.3.2 - ESTRUTURA E TECTÔNICA .....	75
4.1.3.3 - LITOLOGIA .....	76
4.1.3.4 - DEPÓSITOS MINERAIS E GÊNESE DA MINERALIZAÇÃO .....	77
4.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA COM BASE EM VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS .....	79
4.2.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	79
4.2.1.1 - AVALIAÇÃO DO PODER DISCRIMINATÓRIO DAS VARIÁVEIS .....	79
4.2.1.2 - ANÁLISE DO RELACIONAMENTO ENTRE AS VARIÁVEIS DISCRIMINATÓRIAS .....	90
4.2.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA .....	92
4.2.2.1 - RELEVO CÁRSTICO (UNIDADE A) .....	93
4.2.2.2 - RELEVO DE CRISTAS (UNIDADE B) .....	95
4.2.2.3 - RELEVO DE COLINAS (UNIDADE C) .....	97
4.3 - COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES FOTOGRÁFICOS COM BASE NA REDE DE DRENAGEM .....	100
4.4 - UTILIZAÇÃO DE DADOS DO LANDSAT NA COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA .....	106
4.5 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA .....	111
4.6 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZADA .....	124
4.6.1 - ANÁLISE VISUAL DE TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO .....	124
4.6.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS OBTIDOS COM TRANSPARÊNCIAS INFRAVERMELHO COLORIDAS .....	126

	Pag.
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	128
AGRADECIMENTOS .....	133
BIBLIOGRAFIA .....	135
APÊNDICE A	
APÊNDICE B	
APÊNDICE C	
APÊNDICE D	



### ABSTRACT

A study of Remote Sensing applying to the zinc and lead mineral prospections of the Paraopeba Formation in the Bambuí Group was carried out in the area of Vazante, State of Minas Gerais. This study included geological mapping; quantitative analysis of geomorphological indexes and the identification of both lead and zinc mineralized zones. The results showed that the black and white aerial photographs and the color infrared transparencies were efficient for the mapping of three lithological units of the Paraopeba Formation and for the mineralized zones identification, respectively. The multiespectral transparencies of I<sup>2</sup>S made it easier to separate dolomites, which are the rocks conditioning the zinc and lead mineralization. The statistical analysis of the morphometric indexes obtained from black and white photographs and topographic charts showed significant difference among the three lithological units of Paraopeba Formation which can be defined as Crest, Hilly and Karstic Reliefs.



## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura I.1 - Localização da área .....	4
Figura I.2 - Grupos e Sub-Grupos Climáticos no Brasil, segundo a classificação de Strahler ....	6
Figura I.3 - Diagrama ombrotérmico de Gausсен e Bagnouls .....	8
Figura II.1 - Coluna Estratigráfica, segundo Braun (1968) .....	11
Figura II.2 - Esboço Geomorfológico do Estado de Minas Gerais .....	24
Figura III.1 - Medida de Concavidade e Convexidade ....	53
Figura III.2 - Histograma da Classificação fornecida pelo Sistema Image-100 em Transparências Infra vermelho Coloridas .....	60
Figura IV.1 - Diagrama de Juntas .....	67
Figura IV.2 - Canal 7, com contraste .....	71
Figura IV.3 - Canal 5, com contraste .....	71
Figura IV.4 - Composição Colorida Infravermelho .....	72
Figura IV.5 - Amostras Circulares da rede de drenagem em Relevo Cárstico .....	102
Figura IV.6 - Amostras Circulares da rede de drenagem	

	Pag.
em Relevo de Cristas .....	104
Figura IV.7 - Amostras Circulares da rede de drenagem em Relevo de Colinas .....	107
Figura IV.8 - Amostras Circulares da rede de drenagem extraídas das imagens LANDSAT .....	110
Figura IV.9 - Perfis dos resíduos das variáveis <u>Altitude</u> (A) e <u>Amplitude</u> (B) .....	116
Figura IV.10 - Perfil dos resíduos da variável <u>Densidade</u> de Drenagem .....	117
Figura IV.11 - Mapa de Tendência da variável <u>Altitude</u> ..	118
Figura IV.12 - Mapa de Tendência da variável <u>Amplitude</u> ..	119
Figura IV.13 - Mapa de Tendência da variável <u>Densidade</u> de Drenagem .....	120
Figura IV.14 - Mapa de Tendência da variável <u>Frequência</u> de Rios .....	121
Figura IV.15 - Fotografia Colorida Infravermelho .....	125

## LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela II.1 - Parâmetros para classificação da Textura Topográfica com base nos valores de <u>textura média</u> .....	35
Tabela IV.1 - Análise de Variância dos Índices de <u>Densidade de Drenagem</u> .....	80
Tabela IV.2 - Teste da Menor Diferença Significativa às classes de Densidade de Drenagem .....	81
Tabela IV.3 - Análise de Variância dos Índices de <u>Frequência de Rios</u> .....	81
Tabela IV.4 - Teste da Menor Diferença Significativa às classes de Frequência de Rios .....	82
Tabela IV.5 - Análise de Variância dos Índices de <u>Textura Topográfica</u> .....	82
Tabela IV.6 - Teste da Menor Diferença Significativa às classes de Textura Topográfica .....	83
Tabela IV.7 - Análise de Variância dos Índices de <u>Densidade de Drenagem</u> .....	85
Tabela IV.8 - Análise de Variância dos Índices de <u>Frequência de Rios</u> .....	86
Tabela IV.9 - Análise de Variância dos Índices de <u>Concavidade e Convexidade</u> .....	86
Tabela IV.10 - Análise de Variância dos Índices de <u>Declividade Média</u> .....	87

	Pag.
Tabela IV.11 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Declividade .....	87
Tabela IV.12 - Análise de Variância dos Índices de Altitude .....	88
Tabela IV.13 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Altitude .....	88
Tabela IV.14 - Análise de Variância dos Índices de Amplitude Média .....	89
Tabela IV.15 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Amplitude .....	89
Tabela IV.16 - Coeficientes de Correlação obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade A .....	90
Tabela IV.17 - Coeficientes de Correlação obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade B .....	91
Tabela IV.18 - Coeficientes de Correlação obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade C .....	91
Tabela IV.19 - Coeficientes de Correlação mais elevados entre as Variáveis .....	92
Tabela IV.20 - Dados de Densidade de Drenagem coletados a partir de dois tipos de sensores fotográficos para o Relevo Cárstico .....	100

	Pag.
Tabela IV.21 - Tabela de Análise de Variância entre sensores Fotográficos no Relevo Cárstico ..	101
Tabela IV.22 - Dados de Densidade de Drenagem coletados a partir de dois tipos de sensores para o Relevo de Cristas .....	103
Tabela IV.23 - Tabela de Análise de Variância entre sensores Fotográficos no Relevo de Cristas.	103
Tabela IV.24 - Dados de Densidade de Drenagem coletados a partir de dois tipos de sensores para o Relevo de Colinas .....	105
Tabela IV.25 - Tabela de Análise de Variância Entre Sensores Fotográficos no Relevo de Colinas.	105
Tabela IV.26 - Dados de Densidade de Drenagem obtidos através de imagens LANDSAT para as três unidades geomorfológicas da área .....	108
Tabela IV.27 - Análise de Variância entre as três unidades geomorfológicas da área através dos Índices de densidade de drenagem .....	108
Tabela IV.28 - Teste da Menor Diferença Significativa entre as três unidades geomorfológicas ...	109
Tabela IV.29 - Análise de Variância entre as superfícies de Grau 8 e de Grau 7 para a variável <u>A</u> ltitude .....	111
Tabela IV.30 - Análise de Variância entre as superfícies de Grau 6 e de Grau 5 para a variável <u>A</u> mplitude .....	112

	Pag.
Tabela IV.31 - Análise de Variância entre as superfícies de Grau 7 e de Grau 6 para a variável <u>Den</u> sidade de Drenagem .....	113
Tabela IV.32 - Análise de Variância entre as superfícies de Grau 8 e de Grau 7 para a variável <u>Fre</u> quência de Rios .....	114
Tabela IV.33 - Teste de Student para Zona Mineralizada e Zona não Mineralizada .....	126



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Este trabalho de pesquisa faz parte do Projeto Zinco, que está sendo desenvolvido por uma equipe multidisciplinar do Projeto SERE. Através de estudos geológicos, geomorfológicos e geobotânicos na região de Vazante (M.G.), o Projeto Zinco visa o estabelecimento de uma metodologia para aplicação de dados de Sensoriamento Remoto a nível de aeronave, na prospecção de áreas sujeitas a mineralização de zinco e chumbo no Grupo Bambuí (unidade geológica com elevada potencialidade em minerais não ferrosos). Estes estudos atendem às solicitações do II P.N.D., pois a pesquisa em minerais não ferrosos é prioritária face à crescente demanda do mercado interno e à sua situação deficitária, que pode ser constatada pelo volume de importações desses metais não ferrosos, ou seja, 64.653,2 t. (60% do consumo nacional), e equivalente a US\$ 80.567.267 no ano de 1974 (D.N.P.M., 1975).

#### 1.1 - OBJETIVOS

- Avaliar as fotografias aéreas branco e pretas, transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S e fitas compatíveis com o computador do Sistema LANDSAT, no mapeamento geológico da Formação Paraopeba.

- Testar a aplicabilidade do sistema de classificação automática I-100, como apoio às fotointerpretações geológicas realizadas com os sensores fotográficos.

- Avaliar as transparências coloridas, normais e infravermelho, na discriminação de zonas mineralizadas em zinco e chumbo.

- Testar a aplicabilidade do sistema de classificação automática I-100 na separação de zonas mineralizadas, conhecidas visualmente em transparências coloridas e infravermelho.

- Testar as variáveis morfométricas extraídas de fotografias aéreas branco e pretas e cartas topográficas, na discriminação das unidades litológicas mapeadas.

- Discutir a estratigrafia, estrutura, tectônica, litologia e gênese das mineralizações na região de Vazante, M.G.

- Sugerir uma compartimentação geomorfológica para a área com base na análise de variância e análise de correlação das variáveis morfométricas extraídas das fotografias aéreas branco e pretas e cartas topográficas.

- Verificar qual dos produtos fotográficos (fotografias aéreas branco e pretas ou transparências multiespectrais I<sup>23</sup>) fornecem mais informações sobre a rede de drenagem, para cada unidade litológica mapeada.

- Testar as imagens do sistema LANDSAT, escala 1:250.000, na compartimentação geomorfológica da área, com base na rede de drenagem.

- Analisar a tendência regional das variáveis morfométricas extraídas de cartas topográficas e fotografias aéreas branco e pretas na área.

## 1.2 - JUSTIFICATIVA

A área teste de Vazante foi escolhida por reunir amplas condições para um desenvolvimento do trabalho,

tais como:

- A mineralização está encaixada em rochas da Formação Paraopeba, do Grupo Bambuí, unidade geológica com ampla distribuição geográfica.

- Existe uma notável associação entre espécies vegetais características do cerrado e diferentes tipos de rocha e minério de zinco.

- A mineralização é controlada por fraturas e falhas, que estão refletidas no relevo por uma topografia mais elevada, numa superfície predominantemente plana.

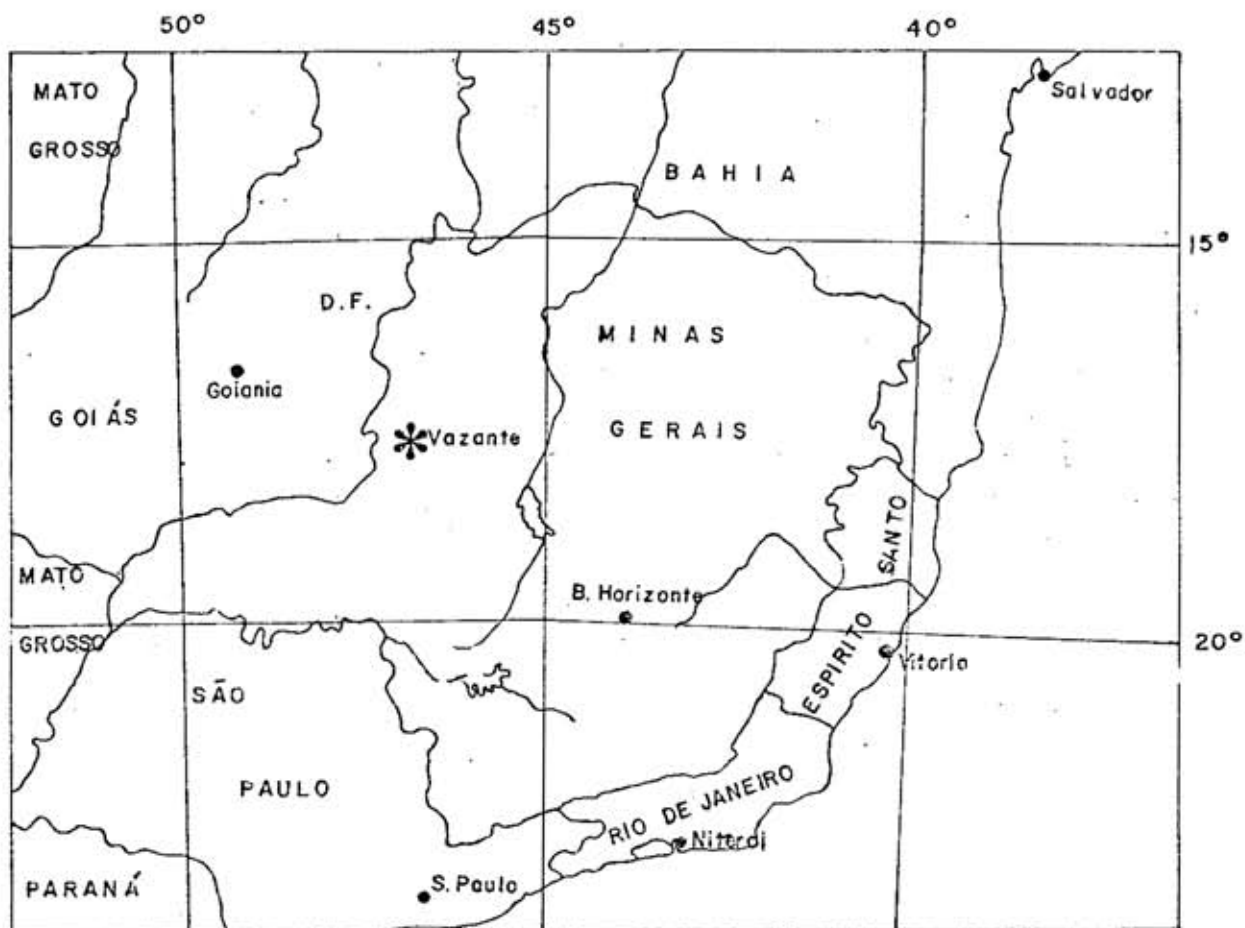
- Além disso, há grande quantidade de fotografias aéreas obtidas com vários tipos de sensores, através da aeronave Bandeirante PP-FCX, do Instituto de Pesquisas Espaciais, nos anos de 1972 e 1975, e bibliografia adequada.

### 1.3 - LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área localiza-se a Noroeste do Estado de Minas Gerais, (Fig. I.1) abrangendo a cidade de Vazante, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, Morros Lapa Nova e das Minas, entre as coordenadas:

Latitude Sul	Longitude Oeste
17°46'15"	46°46'34"
17°49'48"	46°41'26"
18°04'33"	46°52'40"
18°01'08"	46°56'57"

O acesso até a cidade de Vazante pode ser feito através da cidade de Paracatu (Km 516 da rodovia Belo Horizonte - Brasília - BR-040) de onde se segue por 118 km de



\* Área Teste

Escala 1: 11.000.000

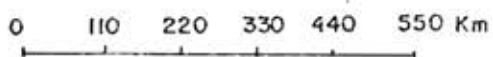


Fig. 1.1 - Localização da Área

estrada de terra perfeitamente trafegável mesmo na estação chuvosa, até a cidade de Vazante. A cidade de Paracatu é servida por aeroporto com pista não pavimentada. Outro acesso até Vazante pode ser feito passando pela cidade de Patos de Minas, seguindo-se por 130 km de estrada dificilmente trafegável na estação chuvosa.

A área encontra-se no domínio das massas de ar Equatoriais e Tropicais, com clima tropical alternadamente úmido e seco, segundo a classificação climática de Strahler (Fig. I.2).

Durante todo o ano, atua a massa de ar Tropical Atlântica (Ta) quente, úmida e com tendência à estabilidade, devido à subsidência superior.

No verão, atua a massa de ar Equatorial Continental (Ec) que, dada a ausência de subsidência, tem um caráter de instabilidade, produzindo precipitações abundantes.

No inverno, atua a massa de ar Equatorial Atlântica (Ea) que, apesar de possuir calor e muita umidade nos seus níveis inferiores, não possui instabilidades provocadoras de chuva devido à existência, nos níveis superiores, de uma inversão de temperatura ou subsidência.

A temperatura média é de 21,4°C, registrando-se as temperaturas mais elevadas nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, e as mais baixas no restante do ano, com um mínimo no mês de julho. Não há variações térmicas pronunciadas durante todo o ano, talvez pela ausência de massas de ar polares na região.

Os valores das amplitudes térmicas diárias mostram grandes variações causadas, talvez, pelo efeito da continentalidade.



Fig. I.2 - Grupos e Sub-Grupos Climáticos no Brasil, segundo a Classificação Climática de Strahler.

Fonte: Monteiro, C.A.F. - Grande Região Sul.

Segundo a classificação de Gausсен e Bagnouls (1953), a estação seca é a sequência dos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, sendo considerado mês seco a quele em que o total das precipitações em milímetros é igual ou inferior ao dobro da temperatura em graus centígrados:  $P \leq 2T$ .

A determinação gráfica da estação seca é feita através da construção do diagrama ombrotérmino (Fig. I.3), onde a superfície de cruzamento das curvas de precipitação e temperatura determinam a estação seca, período do ano em que a água existe em quantidade insuficiente ou mesmo ausente.

A vegetação é de cerrado, ocorrendo variações vinculadas ao relevo, solo e litologia.

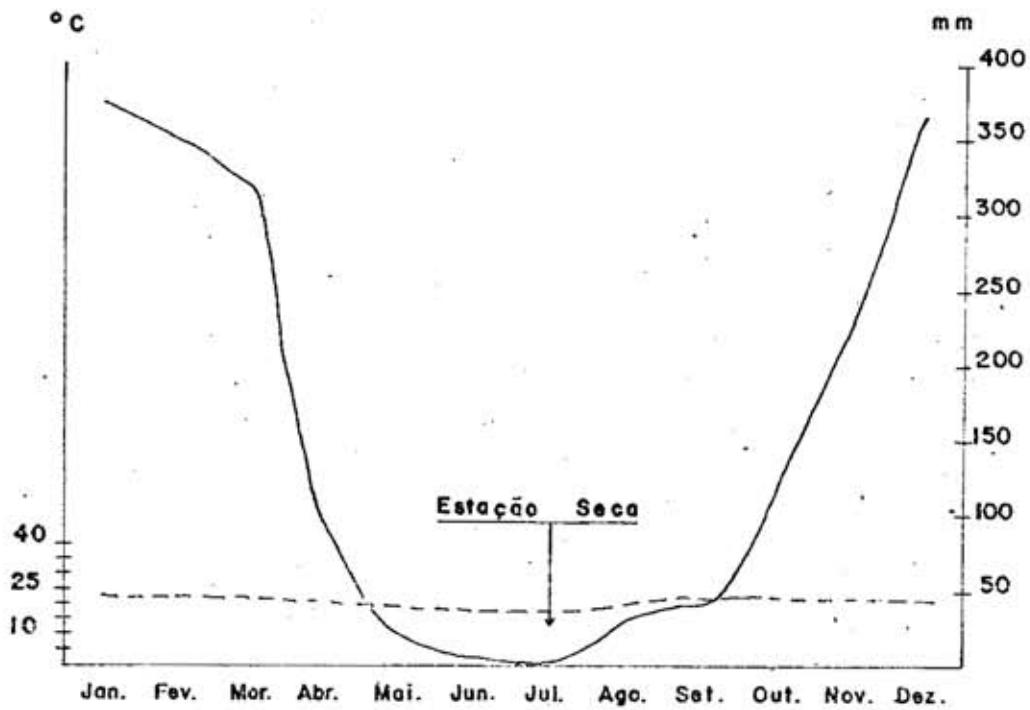
Nas superfícies mais elevadas, com relevo acidentado, o cerrado é ralo, com árvores pouco desenvolvidas e predomínio de gramíneas. A mata galeria acompanha a maior parte dos cursos d'água. Os solos não são bem desenvolvidos, devido à aceleração da erosão nos gradientes mais íngremes, deixando expostas as camadas inferiores do solo em formação. Há predomínio de litossolos.

Nas superfícies planas, predomina o cerrado, com árvores de maior porte e menos espaçadas entre si. Aparece a mata seca, de folhas caducas, cor esbranquiçada, e grande quantidade de cactáceas e barrigudas. Predominam latossolos vermelho-escuros e vermelho-amarelos.

\*Paracatu, M.G.

Lat. 17°13'S Long. 46°53'W

600 m. Altitude



\*Utilizaram-se os dados da cidade de Paracatu, por serem os mais próximos da cidade de Vazante.

O período de registros para os dados de precipitação é de 7 a 9 anos, e para os dados de temperatura de jan., fev., mar. e abr. é de 8 anos; para os outros meses é de 9 anos.

Fonte: Relatório Técnico Sobre a Nova Capital da República, 1956 - DASP.

Fig. 1.3 - Diagrama Climatológico de Gausson e Bagnouls



## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - GEOLOGIA

##### 2.1.1 - GRUPO BAMBUÍ

As rochas existentes na área pertencem ao Grupo Bambuí, definido por Rimann em 1917, como Série Bambuí. É constituído por litologias areno-pelítico-carbonáticas.

As divisões estratigráficas propostas para este grupo são diversificadas, devido à grande variação faciológica das sequências sedimentares e também ao tectonismo sofrido por estas rochas, durante o ciclo Brasileiro, com possíveis reativações posteriores.

- Derby (1906) sugere uma divisão para as rochas do Grupo Bambuí, em duas unidades que apresentam diferenças tectônicas e cronológicas.

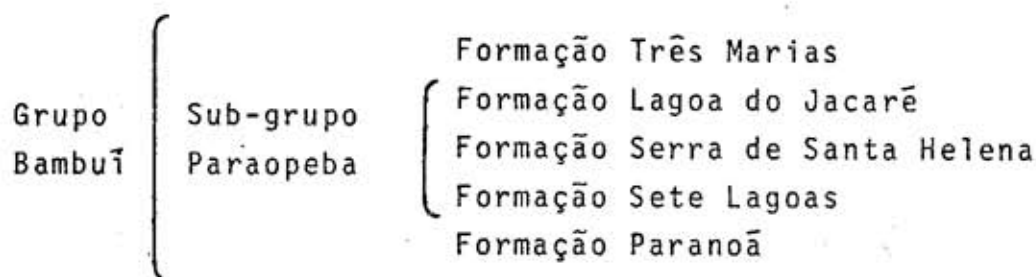
- Freyberg (1932) divide estas rochas em fácies Camadas Gerais e Camadas Indaiá.

- Branco e Costa (1960) propõem a divisão em três formações: Carrancas, Sete Lagoas e Rio Paraopeba, sendo que a Formação Rio Paraopeba subdivide-se em quatro membros: Serra Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Três Marias e Serra da Saudade.

- Barbosa (1965) propõe uma outra divisão para o Grupo Bambuí, em seis formações: Samburá, Paranoá, Sete Lagoas, Serra Gineta, Lagoa do Jacaré e Três Marias.

- Braun (1968) propõe uma nova divisão para o Grupo Bambuí: Formação Paranoã, Paraopeba e Três Marias (Fig. II.1). A divisão proposta por Braun foi considerada como a mais adequada, pois se fundamenta em mapeamento geológico regional.

Recentemente, Amaral et al (1976) redefiniram o Grupo Bambuí com base num mapeamento de 300.000 km<sup>2</sup> (carta geológica ao milionésimo da Folha de Belo Horizonte):



As formações Paranoã e Paraopeba têm características miogeossinclinais. O estilo estrutural é de dobramentos holomórficos, com antifomes e sinformes abertos e acentuadamente assimétricos, à medida que se aproxima do grande cavalgamento do Bordo Ocidental da Bacia Bambuí. Quando existem camadas competentes e incompetentes intercaladas, há flexões e dobras "in chevron" e em caixa (box fold) (Ladeira e Loczy, 1975).

As fácies Sete Lagoas, Santa Helena e Lagoa do Jacaré, representam os termos plataformais da Formação Paraopeba, tendo se depositado quase que inteiramente sobre o Craton Sanfranciscano. Sua atitude é sub-horizontal, encontrando-se dobradas somente nas áreas adjacentes às falhas do tipo "chevron" (Ladeira e Loczy, 1975).

A formação Três Marias, representando a molassa Bambuí, encontra-se na região central da Bacia, pouco deformada, apenas com dobramentos suaves, mas, nos locais afe

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO GRUPO BANDUI  
(BORDO OCIDENTAL)

Segundo Descr. de Braun

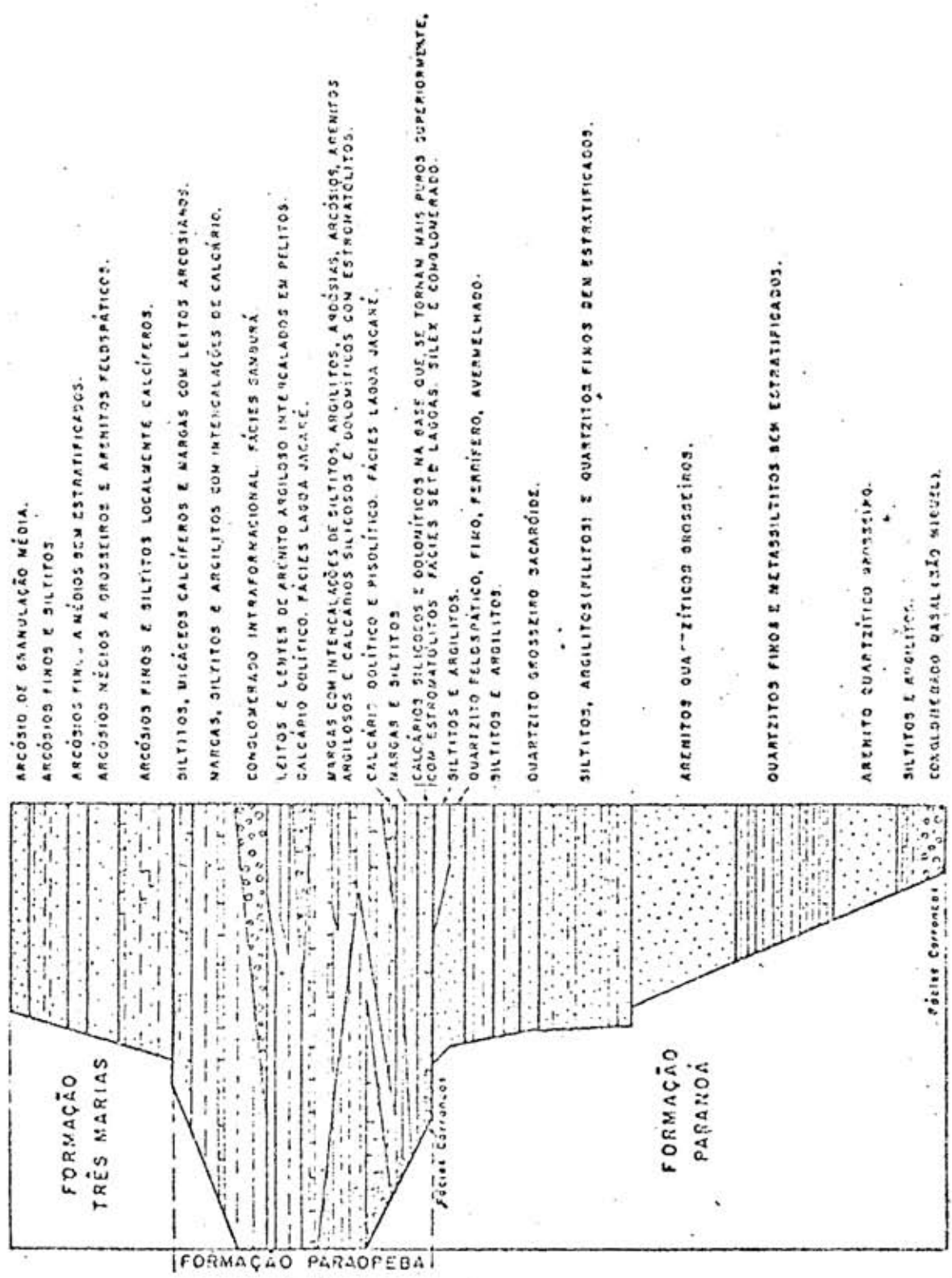


Fig. II.1 - Coluna Estratigráfica, segundo Braun (1968)

tados por falhas, pode mostrar-se mais tectonizada (Ladeira e Loczy, 1975).

Amaral acrescenta, em informações verbais, que a Formação Paranoã e o sub-grupo Paraopeba podem ser depósitos de plataforma, e que a Formação Três Marias não se caracteriza como uma molassa verdadeira.

A idade do Bambuí é controvertida. Amaral (1968 a), usando o método Rb-Sr na região de Vazante encontra, em folhelhos, uma isócrona com  $600 \pm 30$  m.a., que concorda com as análises da composição isotópica do chumbo. Conforme Cassedanne (1968), Cassedanne e Lasserre (1968) determinam a idade de  $810 \pm 35$  m.a. em amostras de galena na região de Vazante. Conforme Marchese (1974), Dardenne et al (1973) descobriram novas ocorrências de estromatólitos colunares, situados na base da Formação Paraopeba, pertencentes ao Grupo *Conophyton*, característicos de terrenos Prê-Cambrianos, sendo inferida uma idade Proterozóica Superior ou Rifeano Médio. Segundo Campanha (1977), Fairchild (1977), em informações verbais, ressalta também a ocorrência de formas de *Conophyton* no Grupo Bambuí, mas alerta para a necessidade de se estabelecer empiricamente, para cada região, a distribuição horizontal e vertical das assembléias de estromatólitos, para possibilitar, então, o seu uso bioestratigráfico. Marchese (1974) atribui uma idade de 1000 a 650 m.a. para o Grupo Bambuí; baseando-se em jazigos de estromatólitos do super-grupo *Gymnosolenida*, do Rifeano Superior (960 a 650 m.a.), descobertos na região oriental de Minas Gerais.

Tectonicamente, o domínio Bambuí caracterizou-se por uma deformação oriunda de tensões tangenciais E-W, que provocaram intensos e extensos falhamentos com dobramentos associados com uma polaridade em ambos os lados, convergindo para o centro da bacia. No lado ocidental, predominam

os cavalgamentos e, no lado Leste, as falhas inversas com dobramentos e fraturamentos associados. Os dobramentos associados são assimétricos. O conjunto de feições deformativas atenua-se progressivamente, no sentido do centro da bacia, até que, nesta região, as camadas se tornam praticamente horizontalizadas ou levemente onduladas (Ladeira e Loczy, 1975). Braun (1968) descreve grandes escamas de empurrão, colocando as rochas mais antigas e mais metamórficas sobre as mais novas e menos metamórficas, indo, à medida que se atenuaram os esforços, passando a falhas inversas, como consequência dos esforços tangenciais das bordas para o centro da bacia.

O metamorfismo nas rochas do Grupo Bambuí é incipiente, sendo mais desenvolvido nas Zonas de Deformação Marginal, definida por Grossi Sad e Ladeira (1968), onde aparece a clivagem ardosiana, em regra fazendo nítido ângulo com o acamadamento, o fato que denota uma deformação, em nível estrutural não profundo, quando comparada com estruturas planares semelhantes de outros grupos como Araxá, Minas, etc. (Ladeira e Loczy, 1975).

Ladeira e Loczy (1975) acreditam na ocorrência de fenômenos de "decollement", durante a fase compressiva, comportando-se a cobertura Bambuí como um lençol, deslizando sobre o craton rígido, e exemplificam a ocorrência na Bacia Salitre - Jacaré - Paraguaçu, de faixas de dobramentos pronunciados, que se alternam com outras camadas subhorizontais. Brito Neves (1971) refere-se aos esforços tangenciais que sofre o Grupo Bambuí, paralelamente ao embasamento que tem uma atuação simplesmente passiva.

Segundo Ladeira e Loczy (1975), as sequências deformadas do Grupo Bambuí, fazem parte da porção média e superior do chamado Geossinclinal Brasília (Almeida, 1968), ou Sistemas do Dobramento Brasília (Ferreira, 1972). O Geos.

sinclinal Brasília teria idade Pré-Cambriana Superior (900 a 570 m.a.), sendo o Grupo Canastra (Barbosa, 1955) o episódio tardio (Almeida, 1971). Angeiras e Da Costa (1971), conforme Ladeira e Loczy (1975) entendem que a evolução do sistema de dobramentos Brasília, incluindo o Grupo Araxá, envolve um ciclo geotectônico, correspondente ao Baikaliano, de duração de 1.500 a 550 m.a..

Kazansky e Terentyev (1969) descrevem, na União Soviética, a Bacia Pericratônica de Yudoma-Maya, na qual encontramos várias características semelhantes ao Grupo Bambuí:

- Sedimentação terrígena-carbonática
- Típica evolução de um miogeossinclinal
- Metamorfismo quase ausente
- Aumento da espessura dos sedimentos à medida que se afasta do Craton
- Existência de extensas falhas de empurrão, orientadas em conformidade com as estruturas dobradas.
- Diminuição na intensidade e frequência dos falhamentos e dobramentos, em direção ao centro da Bacia.
- Os falhamentos se deram durante o ciclo Baikaliano, correspondente ao Brasiliano, com reativação no mesozóico
- Metalogênese de zinco e chumbo, relacionados a falhamentos reativados em rochas carbonáticas de idade proterozóica superior.
- Existência de mineralizações de origem sedimentar
- Grande Controle de fraturas para zonas metalogenéticas, com mineralizações de baixa temperatura.

### 2.1.2 - ÁREA DE VAZANTE

A descoberta de minerais de zinco e chumbo, na região de Vazante, verificou-se em 1954, quando o Sr. Angelo Solis forneceu amostras de calamina e cerussita ao engenheiro A.I. Velasco que, visitando os afloramentos, reconheceu a importância dos depósitos. Posteriormente, as Companhias Níquel Tocantins, do Grupo Votorantim e Mercantil Industrial Ingã, obtiveram concessões para pesquisas, que se transformaram em concessões de lavra, autorizada pelo Governo Federal (DNPM, 1964).

Moraes (1955) descreve as jazidas de zinco e chumbo das Serras Poço Verde e Barroirão, dividindo as ocorrências dos minérios em dois grupos: sulfeto em veios e camadas, e minérios oxidados em depósitos superficiais, provenientes da alteração do primeiro.

Moore (1956), estudando os mesmos depósitos, localiza-os em zonas de brecha de falhas sub-paralelas, ramificantes, que deslocaram as ardósias e dolomitos. As principais mineralizações são compostas em ordem decrescente por calamina, willemita e smithsonita.

Carvalho et al (1962) apresentam, como resultados práticos dos levantamentos aerogeológicos (reconhecimento geológico, aerofotogrametria, fotogeologia detalhada, magnetometria, cintilometria), iniciados em 1956, a ampliação da zona mineralizada, acusada pelo mapa magnetométrico, em concordância com o geológico.

Branco (1962) descreve calcários, dolomitos e folhelhos ardosianos, falhados por um sistema de direção N 50 E, onde se encontram os depósitos de zinco e chumbo. Além desses falhamentos, acrescenta um sistema de fraturas e

falhas de direção NW, com mineralizações hidrotermais de quartzo, e suspeita também de mineralizações primárias de zinco, devido à localização de grande depósito de calamina nos cruzamentos das falhas NE e NW. Sobre as rochas metassedimentares da região, observa-se, localmente, uma granulação mais grosseira, explicada pela proximidade da borda da Baía do Bambuí. Os calcários, localmente, são dolomitizados, explicados por processos tectônicos de falhamento.

Guimarães (1962) identifica as rochas da região como metassiltitos, ardósias, dolomitos e quartzitos. A presença de feldspato detrítico, nestas rochas de fácies grauvaquianas, indica um ambiente de sedimentação de rápida subsidência e transporte a pequena distância. Destaca a predominância de dolomito e falta de calcita, numa situação inversa à que ocorre para as demais regiões do Bambuí (Camadas Gerais), onde os calcários têm no máximo 7% de MgO. O metamorfismo é de caráter dinâmico, como sugerem os minerais tipomorfos da Epizona (hidromicáceos). A idade da gênese do minério é questionável para as mineralizações sulfuradas, promovidas pelo diastrofismo que também gerou o metamorfismo epizonal. A idade rética eojurássica é atribuída aos processos hidrotermais, responsáveis pela alteração dos protominérios sulfurados.

Ladeira et al (1963), em contribuição à geologia de Vazante, observam que os calcários dolomíticos e folhelhos ardósianos variam em direções entre N 40 E e N 50 E, com mergulhos de 25 a 45° para NW. Os falhamentos reversos de direção N 50 E, são paralelos, mineralizados. Mencionam falhamentos também reversos de direção N 40 W. Quanto à gênese do minério, descreve as seguintes fases:

- As fácies grauvaquianas, resultantes da erosão de rochas granito-gnáissicas, foram depositadas numa bacia de



rápida subsidência e sofreram metamorfismo regional de caráter dinâmico, resultando em calcários dolomíticos e rochas ardosianas, além do falhamento N 50 E.

- A brechação favoreceu a mineralização epigenética, constituindo o protominério: Galena, Blenda e Calcopirita.

- Posteriormente, houve estabilidade crustal. Com o enriquecimento supergênico formaram-se a malaquita, azurita, calcosita, covelina, cerussita, smithsonita e zincita.

- Seguiu-se uma nova fase de instabilidade crustal, falhamentos NW e reativação da zona de brecha, facilitando a penetração de soluções hidrotermais (teletermal), rica em óxido de zinco, formando calamina, quartzo neoformado, recristalização da dolomita, venulação do quartzo e calcedônia.

- No último estágio, houve renovação do intemperismo com enriquecimento secundário de zinco e a formação da Hidrozincita e da Willemita.

Cassedane (1966) descreve um novo bióstromo com *colleenias* na região de Vazante e tenta reconstruir um ambiente de formação desses estromatólitos.

Amaral (1968 b) descreve a geologia de Vazante, dividindo-a em quatro unidades estratigráficas: rochas metassedimentares do Grupo Canastra, calcários com intercalações de folhelho da formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, metassiltitos e folhelhos ardosianos da Formação Rio Paraopeba do Grupo Bambuí e depósitos recentes. As rochas da Formação Sete Lagoas têm direção entre N 20 E e N 60 E, mergulho entre 3 e 50°NW. As rochas do Grupo Canastra tem direção concordante com a Formação Sete Lagoas, enquanto que na Formação Rio Paraopeba há grande variação na atitude. O contato

do Grupo Canastra com a Formação Sete Lagoas é por falha inversa ou de empurrão, mergulhando para NW. O contato da Formação Sete Lagoas com a Formação Paraopeba é tectônico, com falhas verticais na porção sul e na parte norte, próximo ao córrego Santa Catarina. O mergulho é para NW e passa a SE, onde as camadas apresentam microdobramentos, sugerindo um arraste por uma falha inversa, com mergulho para NW. Na Formação Sete Lagoas, encontram-se as Serras e Morros que encerram os depósitos de minério. As serras se encontram alinhadas paralelamente às falhas que limitam esta Formação, e possuem uma zona de falha no flanco NW e outra no flanco SE. Tectonicamente, situa-se a região de Vazante como pertencente à zona miogeossinclinal do geossinclíneo Brasília, onde as rochas foram afetadas pelo último evento orogênico do geossinclíneo, datado em 500 m.a.. Porém, acredita o citado autor, que o sistema de falhamento NE e NW da região de Vazante esteja relacionado cronologicamente com os falhamentos NE e NW da região de Patos, e que ocorreram no cretáceo. Os depósitos da Serra Poço Verde encontram-se encaixados em calcários com intercalações de folhelho. Os dolomitos mencionados pelos autores citados anteriormente, são metassomáticos devido à ação de soluções mineralizantes. Os depósitos são constituídos por minério hipogênico e supergênico.

A gênese do minério hipogênico dá-se por concentração primária de elementos nas rochas da Formação Sete Lagoas que, posteriormente, são remobilizados e depositados em zonas de falha, provavelmente relacionados aos eventos tectônicos que afetaram a região no fim do cretáceo.

Os alunos da Escola de Minas de Ouro Preto (1959) foram os primeiros a observar a associação entre a vegetação e a zona mineralizada em Vazante, onde observaram uma notável afinidade entre a *gomphrena* sp (*Amarantácea*) e os blocos de minério oxidado. Além da *gomphrena* existem ou

tros vegetais também típicos da zona de minério, da família das gramíneas. O *Panicum sp* ocorre nas zonas estêreis e o *Heteropogon Villosus*, o *Paspallum trachycoleon* e o *Axonopus Chrysodaectus* são restritos à zona mineralizada (Amaral, 1968 a)

Cassedane (1968), revendo a jazida de Vazante, descobriu e descreve Bióstromos com *collenia*, dolomitos com algas, dolomitos listrados, brecha intraformacional, dolomito cinza sublitográfico e conclui que esses dolomitos descritos sugerem que as rochas carbonáticas depositaram-se numa baía ou alto fundo marinho, com águas pouco profundas, agitadas e quentes. Leves variações morfológicas ou batimétricas, formando enseadas mais tranquilas, são responsáveis pelas variações faciológicas. Acredita que houve deslocamentos do fundo da bacia, relacionados a tremores tectônicos de fraca amplitude, que são mostrados pelas finas lâminas de dolomito e brecha intraformacional. A sedimentação carbonática era perturbada pela chegada de sedimentos argilosos. A presença de grãos pouco arredondados e fragmentos de feldspato envolvidos por limonita, atestam a presença de terra emergsa na vizinhança. O clima durante a sedimentação devia ser quente. A dolomitização dos diversos níveis deve ser, em parte, penecontemporânea com a sedimentação, correspondendo a uma bacia em condições próximas daquelas necessárias para deposição de evaporitos (Carozzi, 1953), onde oncólitos são frequentes e os dolomitos tem um alto teor de magnésio.

Dardenne (1972) descreve três tipos de estromatólitos, onde se encontram os dolomitos com os depósitos de zinco e chumbo da região de Vazante:

- Tipo ondulado com laminações convexas LLH
- Tipo colunar com laminações convexas SH
- Tipo colunar com laminações cilindro-convexas

As condições de conservação destes estromatólitos permitiu a reconstituição do ambiente de sedimentação para cada um deles. Geralmente eles cresceram sobre seus próprios produtos de erosão, indicando uma provável posição inicial da zona de balanço do mar. Em seguida, uma ligeira elevação da zona do mar permitiu o desenvolvimento dos estromatólitos no sentido vertical. Periodicamente, seu crescimento foi interrompido por pequenas variações do nível do mar, correspondendo a intervalos regressivos e transgressivos alternados. Por fim, eles foram cobertos por metassiltitos dolomíticos e dolomitos siltsos cinza escuro, o que traduz uma brusca subsidência do fundo da bacia. Conclui que os recifes algais indicam a existência de um paleorelevo, que se manifestou durante a sedimentação e se constitui o traço mais importante para a compreensão e interpretação das diversas fácies sedimentares que ocorreram na região.

Dardenne (1974), num levantamento geológico na região de Vazante, descreve as litologias encontradas como dolomitos e ardósias. Todos os dolomitos são lenticulares e correspondem a construções estromatolíticas, devidas à ação de algas azuis-verdes, e às fácies associadas, que mostram um ambiente de águas rasas, quentes, frequentemente agitadas, onde fases de emersão e subsidência repetem-se periodicamente, traduzindo instabilidade de fundo de bacia.

Distingue 4 fácies:

- Fácies sublitoral, relativamente mais profunda e redutora, com águas muito calmas, caracterizadas por ardósias pretas, carbonosas, com pirita, e por siltitos cinza a verde carbonatados.

- Fácies sublitoral, de águas rasas com níveis de energia baixo a elevado, representado por dolomitos listrados,

com laminações estromatolíticas; dolomitos cinza com cimento em mosaicos, conglomerados intraformacionais; dolomitos cinza heterogêneos.

- Fácies lagunar, com águas calmas até muito agitadas, evidenciadas por estromatólitos colunares e dolomitos sublitográficos.

- Fácies litoral, oxidante, periodicamente agitada, com dolomitos rosados, ou cinza muito claro, laminações algais, frequentemente silicosos, com níveis de chert intercalados.

A tectônica da região é caracterizada por esforços de Leste para Oeste, que resultam dobramentos mais intensos nos pelitos e suaves nos dolomitos; aparecimento de grandes falhas inversas escalonadas, às vezes, deslocamento de cobertura pelítica, em relação aos dolomitos sotopostos. Após o relaxamento dos esforços compressivos, o alívio das tensões exercidas se traduz em falhas longitudinais de direção N 45 E e N-S e falhas transversais de direção N 40 W. Essas falhas foram reativadas fortemente no Jurássico.

Thorman et al (1974) fazem uma interpretação estrutural para a região de Vazante, sugerindo a existência de forte deformação compressiva horizontal, além de deformação vertical sugerida em trabalhos anteriores, resultante dos esforços compressivos provenientes da Borda Oeste da Bacia.

Heineck et al (1975), estudando a geologia da área de Vazante, uma das áreas pilotos do Projeto Geoquímica do Bambuí, individualizam três unidades da Formação Parapeba do Grupo Bambuí: unidade basal, constituída por ardósias com intercalações de arenitos, siltitos e argilitos, com direções de N 30-40 E e mergulhos variando de 20° a 45° para

NW. A unidade intermediária é constituída por calcários, calcários dolomíticos, dolomitos calcíferos e brechas sedimentares com intercalações de ardósias, siltitos calcíferos e margas. Esta unidade apresenta direções em torno de N45 E com mergulhos de 20° a 35° para NW. A unidade superior é constituída da base para o topo por ardósias e filitos predominantes, com siltitos, argilitos e arenitos subordinados; ardósias e arenitos intercalados; ardósias, quartzitos e siltitos; quartzitos e filitos intercalados; filitos, ardósias e metassiltitos; ardósias e filitos com quartzitos subordinados. Esta sequência apresenta direções estruturais concordantes com as outras unidades inferiores.

Dardenne (1976), referindo-se aos depósitos minerais da região de Vazante, diz estarem associados a mudanças de fácies de sedimentos argilosos para sedimentos dolomíticos de origem algal, onde a mineralização zincífera está intercalada com dolomitos rosados, que caracterizam um ambiente de sedimentação litoral a supralitoral.

Chen et al (1976) concluem que as análises do conteúdo de zinco dos solos e plantas na região de Vazante, confirmam que o nível de toxidez do zinco na zona mineralizada é o fator que controla a distribuição da vegetação, onde somente as espécies de gramíneas mencionadas anteriormente, juntamente com a *Gomphrena* e *Bauhinia* são menos suscetíveis.

## 2.2 - GEOMORFOLOGIA

### 2.2.1 - ÁREA DE VAZANTE

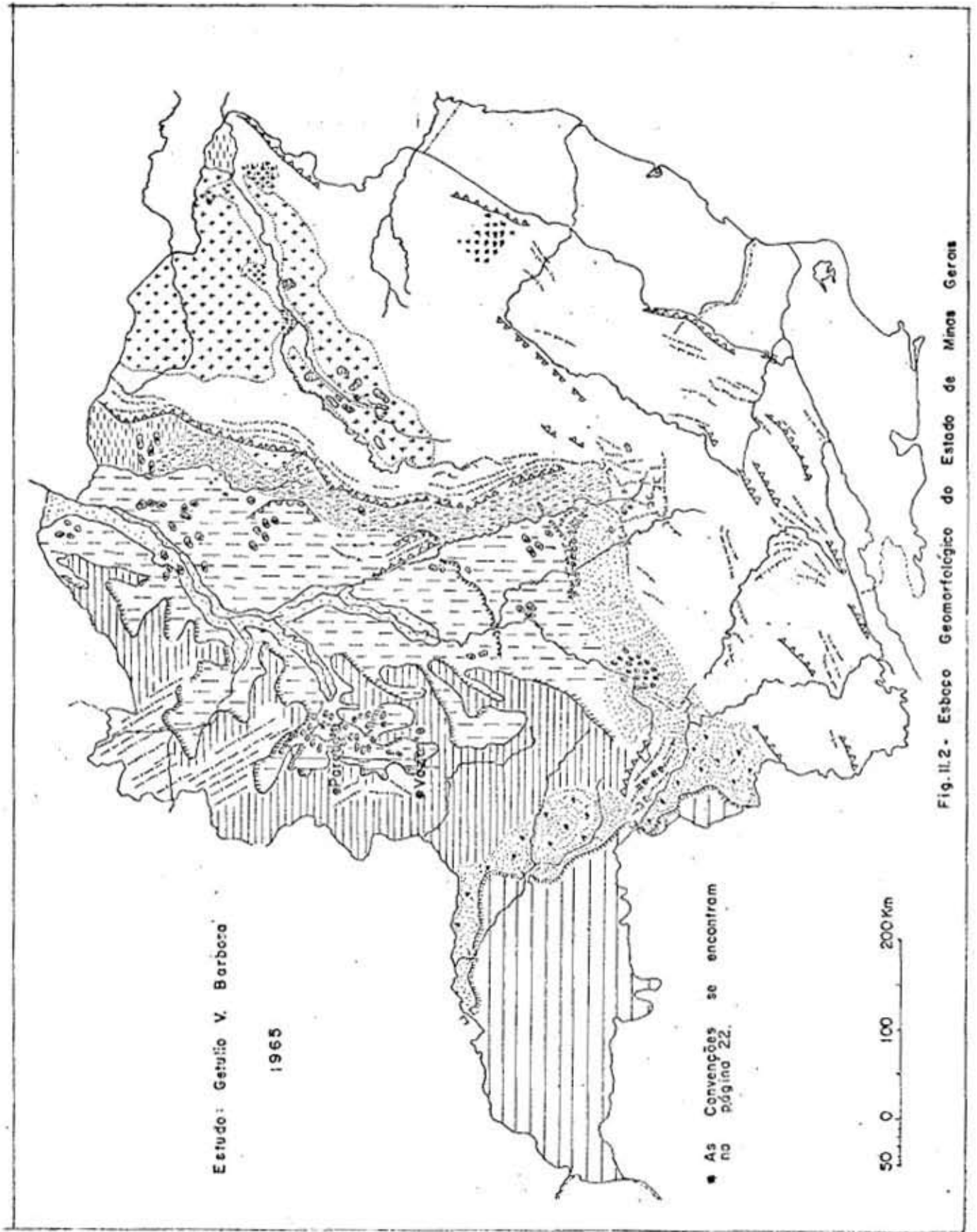
Tricart (1965) faz uma análise classificatória dos fatos geomorfológicos segundo escalas de grandeza por categorias especiais de fatos. Nessa classificação, a área

abrangida por este trabalho está na quarta ordem de grandeza, que corresponde a unidades de centenas de quilômetros quadrados, analisadas do ponto de vista estrutural. São pequenas unidades estruturais dentro de unidades maiores.

Segundo Penteado (1974) é possível distinguir, até certo ponto, topografias nas quais a influência é da estrutura e topografias nas quais a influência maior é do clima. Essas influências entretanto, não se opõem, mas se combinam em proporções variáveis e o resultado são formas mais ou menos estruturais ou esculturais. Entretanto, prevaleça a influência estrutural ou a escultural, ou haja equilíbrio dos dois fenômenos geomorfológicos, a paisagem sempre reflete interação dos processos.

No esboço geomorfológico do Estado de Minas Gerais, elaborado por Barbosa (1965), a região de Vazante se insere nas superfícies estruturais e de aplainamento com rejuvenescimento e escarpas em "glint", na grande unidade dos planaltos sedimentares. De Vazante a Paracatu há um alinhamento de cristas apalacheanas, crêts e hog-backs (Fig. II.2).

Dentro do domínio morfo climático brasileiro, caracterizado por Ab'Saber (1970), a região encontra-se no domínio dos chapadões tropicais, com duas estações, recobertos de cerrados e penetrados por florestas galerias, caracterizado por extensos aplainamentos correspondentes a duas ou mais fases de pediplanação, com relevos residuais (inselbergs). Os planaltos são mantidos por concreções ferruginosas, "cangas", provavelmente terciárias. Essas carapaças, às vezes expostas à superfície, outras vezes situadas abaixo de colúvios e solos, sugerem que a área tem estado sob condições de savana, com ligeiras oscilações para mais ou menos seco, do final do Terciário até a época atual.





\* CONVENÇÕES

MACIÇOS ANTIGOS		Sistemas de serras, colinas e planos alveolares de elaboração úmida
		Frentes de blocos falhados, dobras, falhas e basculantes.
		Cristas apalacheanas, crêts e hog-backs.
		Water gap e wind gap.
		Superfície terciária fundamental do pré-cambriano (área de maior desenvolvimento)
		Depósitos terciários de bacias intramontanas, paleo-playas e enchimentos de vales fósseis.
		Depressões pedimentares semi áridas embutidas em zonas de rejuvenescimento.
		Inselbergs, embutidos, com rock fan.
		Inselbergs, embutidos, reelaborados por processos úmidos.
	PLANALTOS SEDIMENTARES	
		Superfícies estruturais e de aplainamento (mais altas Chapadas) com rejuvenescimento e escarpas em glint.
		Superfícies estruturais e de aplainamento (mais baixas chapadas) da Série Bambuí.
		Áreas de evolução karstiforme em fase de veredas e dolomitamento
		Elevações isoladas, com evolução karstiforme em clima mais seco
ZONAS DE CONTACTO (Depressões)		Depressão de Belo Horizonte tipo periférica
		Sistemas de cuestras, regionalmente desdobradas, dos sedimentos da Série Bambuí
		Relevo cárstico, fóssil e coberto parcialmente em exumação
		Depressão Mineira, tipo periférica, só localmente desenvolvida
		Sistema de cuestras, localmente desdobradas, nos derrames basálticos
		Depressão Espinhaço, com interferência de falhas e subsidência.
		Percées
	Planícies e terraços fluviais holocênicos da Formação Vazante	

Amaral (1968) observou o condicionamento da fisiografia às feições litológicas e estruturais, distinguindo três unidades morfológicas principais, correspondentes às unidades estratigráficas:

- a) planalto das rochas metassedimentares – correspondentes neste trabalho ao relevo de cristas e relevo de colinas.
- b) baixada dos calcários – correspondente ao relevo cárstico.
- c) planície aluvionar.

Com base na classificação de King (1956), reconhece-se, na área de Vazante, a atuação da superfície de aplainamento Sul Americana e o ciclo Velhas; a primeira, relacionada com a nivelação de relevos montanhosos constituídos por quartzitos, e o ciclo das Velhas, com regiões planas do domínio de rochas de fácies carbonáticas.

#### 2.2.2 - TÉCNICAS QUANTITATIVAS E DE AMOSTRAGEM APLICADAS A VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

As formas de relevo e as configurações da drenagem estão sendo estudadas por métodos cada vez mais metódicos. O desenvolvimento de métodos precisos para medir as formas de relevo e os processos, está fornecendo uma quantidade muito grande de dados, que têm de ser analisados por métodos numéricos, a fim de que um comportamento ordenado possa ser discernido a partir da massa de informações (Doornkamp e King, 1971).

### 2.2.2.1 - TÉCNICAS QUANTITATIVAS

- a) Coefficiente de correlação: os coeficientes de correlação são usados para definir o grau em que o comportamento de uma variável afeta o comportamento da outra. Quando ocorre o valor zero, significa que nenhuma correlação existe entre as variáveis. Valores negativos e positivos, indicam, respectivamente, correlação inversa e correlação direta.

Segundo Doornkamp e King (1971), os relacionamentos entre as variáveis de bacias de drenagem tomadas duas ao mesmo tempo, podem ser examinadas pelos métodos de regressão linear e correlação. Este tipo de dado morfométrico, entretanto, apresenta problemas quanto a natureza da relação processo-resposta não é precisamente conhecida. Então, em alguns casos, é extremamente difícil decidir qual seria a variável "resposta" e qual seria a variável "processo". Isso quer dizer que a maioria dos relacionamentos geomorfológicos faz parte de um complexo sistema de interrelações. Em outras palavras, a maioria dos problemas geomorfológicos são problemas de análises multivariadas. Em termos de interação processo-resposta, o coeficiente de correlação pode indicar uma ligação genética entre duas variáveis, ou então, que as duas variáveis (resposta) estão respondendo de maneira similar a uma terceira variável (processo), que pode ou não ser conhecida.

Doornkamp e King (1972) aplicaram o coeficiente de correlação de Pearson para área e número de rios de uma bacia, e obtiveram um  $r = 0,929$ , que demonstra que a área e o número de rios tendem a aumentar juntos. Entretanto, a significância do valor  $r$  depende do número de observações sobre a qual está ba

seado. Quanto maior a amostra, mais próximo o índice de correlação estará do resultado que a análise de toda população forneceria. Foi observado que a correlação entre duas variáveis tende a se aproximar da correlação real da população quando se aumenta o número de amostras. Os testes mostraram que um número de 50 amostras dá resultados bem próximos aos reais.

No estudo de 130 bacias hidrográficas de Uganda, Doornkamp e King (1972) encontraram uma correlação alta entre declividades fortes e densidade de drenagem. Segundo eles, isto pode ser um reflexo do tipo de rocha, pois a área montanhosa de Uganda é formada por quartzitos e filitos.

Gandolfi, Paraguassu e Landim (1970) fizeram um estudo das relações entre vários dados morfométricos de 6 bacias hidrográficas no centro-oeste do Estado de São Paulo. Eles encontraram correlação alta e positiva entre densidades de drenagem e textura topográfica (0,8697) e entre textura topográfica e frequência de rios (0,89). Como os dados foram coletados para bacias hidrográficas de regiões diferentes, os valores de correlação obtidos são bastante significativos. Os autores reconhecem que, se aumentarem a amostragem, os resultados poderão se modificar.

Segundo Cole e King (1969), é importante salientar que um índice baixo de correlação sugerindo a inexistência de correlação entre duas variáveis, é tão importante quanto um alto índice de correlação pois sugere que uma dada linha de investigação pode ser abandonada ou reconsiderada. Onde há razões substantivas e metodológicas para preferir uma definição operacional à outra, é melhor rejeitar a

última do que lançar ambas numa análise multivariada (Evans, 1972).

- b) Análise de Variância: segundo Doornkamp e King (1971), o teste de análise de variância é muito útil e tem muitas aplicações em geomorfologia. Seu propósito principal é testar uma diferença significativa entre amostras. Dessa maneira, sabe-se se duas amostras foram ou não extraídas da mesma população.
- c) Análise de Superfície de Tendência: A análise de superfície de tendência, como qualquer outra técnica de regressão, produz o estabelecimento de uma tendência geral dos dados e de um desvio individual de cada observação em relação a essa tendência. A análise de superfície de tendência visa modelar o fenômeno de interesse de acordo com funções matemáticas, selecionadas para esse fim.

Segundo Doornkamp e King (1972), quanto maior a ordem de superfície de tendência, maior é a acomodação dos dados a ela. Assim, quando a ordem de superfície de tendência aumenta, os desvios tendem a decrescer.

Achamos, no entanto, que, se conhecermos a função matemática do fenômeno, o ajuste pode ser bom, com um polinômio de poucos termos.

Na análise de superfície de tendência, a atenção pode ser focalizada quer sobre a superfície computada, quer sobre os desvios dos valores individuais em relação à superfície. O valor de cada abordagem depende da escala de investigação.

O mapa resultante da análise de tendência dependerá do espaçamento da grade usado na coleta de dados.

Somente uma grande tendência regional será detectada por uma grade de espaços largos. Uma grade com espaçamento pequeno mostrará variações locais que podem ser desvinculadas da tendência regional. (Doornkamp, 1972).

Doornkamp (1972) fez um estudo no sentido de mostrar como a análise de superfície de tendência poderia ser usada para definir a influência de dobras sobre duas superfícies de aplainamento em Uganda. Afirmou que a técnica de análise de superfície de tendência foi estruturada de modo a detectar a tendência geral ou regional de uma variável mapeada em uma área. Segundo ele, há desvios locais da tendência, mas esses desvios podem indicar influências subjacentes controlando a variável.

#### 2.2.2.2 - VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

- a) Densidade de drenagem: segundo Gregory e Walling (1973), "a necessidade de estudar as formas da bacia de drenagem deriva de duas fontes principais: primeiramente, descrever as relações forma versus forma dos sistemas norfológicos, e, secundariamente, analisar as interrelações forma-processo".

Para entender as interrelações nos sistemas morfológicos e nos sistemas processo-resposta, é necessário expressar as características da bacia de drenagem em termos quantitativos. Como a extensão e a densidade da rede de drenagem refletem controles topográficos, litológicos e de vegetação, e porque incorporam também a influência do homem, a densidade da rede é um índice valioso.

A densidade de drenagem tem sido reconhecida como uma característica topográfica de significância fun

damental. Isso se origina do fato de que a densidade de drenagem é um parâmetro sensível que, de várias maneiras fornece um elo entre atributos de forma da bacia e processos, operando ao longo do curso do canal. (Gregory, 1973).

Strahler (1957) reconhecia que um importante indicador da escala linear dos elementos da paisagem é a densidade de drenagem, definida por Horton (1945). A densidade de drenagem é a soma dos comprimentos dos canais dividida pela área da bacia. A divisão de comprimento por área dá um número com a dimensão inversa do comprimento. Em geral, então, com o aumento numérico da densidade de drenagem, o tamanho dos componentes individuais das bacias de drenagem diminui proporcionalmente.

Christofolletti (1974) correlaciona a densidade de drenagem com as vertentes e a amplitude altimétrica dizendo que "quanto maior a densidade de drenagem em uma área com relevo constante, menores e mais inclinadas serão as vertentes; por outro lado, quanto maior a amplitude altimétrica em um área de densidade de drenagem constante, mais longas e inclinadas serão as vertentes".

- b) Frequência de rios: O cálculo da frequência de rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de uma determinada área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água. (Christofolletti, 1974).

Segundo França (1968), o Índice de frequência de rios teve poder de distinguir entre duas bacias hidrográficas em condições de solos diferentes, enquanto o Índice de densidade de drenagem não o fez. Conclui que seus resultados concordam com a sugestão

tão de Horton, no sentido de se empregarem a densidade de drenagem e a frequência de rios quando o propósito é caracterizar quantitativamente redes de drenagem, pois essas características relacionam a composição da rede à área da bacia.

Maxwell (1960), conforme referência de Doornkamp e King (1971), sugeriu que nenhuma das propriedades de bacias hidrográficas são normalmente distribuídas. A tendência dos dados é se aproximar de uma distribuição lognormal.

- c) Textura Topográfica: Smith (1950), conforme citação de Gregory e Walling (1973), definiu razão de textura como o número de crênulas (da curva de nível com o maior número delas), dividido pelo perímetro da bacia de drenagem. Esse índice é calculado pela equação:

$$T = \frac{N}{P}$$

Onde N é o número de crênulas na curva de nível e P é o perímetro da bacia.

As crênulas são uma medida aproximada do espaçamento entre os canais. Como tal, elas se relacionam diretamente com a densidade de drenagem (Leopold et al, 1964).

Com relação à razão de textura, Smith (1950) e Strahler (1957), conforme Gregory e Walling (1973), descreveram valores de densidade de drenagem menores do que 5.00 como grosseira, entre 5.00 e 13.70 como média, entre 13.70 e 155.3 como fina, e maior do que 155.3, como ultra-fina. Valores grosseiros são frequentes em áreas de rochas permeáveis e de baixa intensidade de precipitação. Valores médios



têm sido registrados em grandes áreas de partes úmidas no Centro e Oeste dos Estados Unidos; valores finos têm sido registrados em "bad-lands" em Dakota do Sul (Smith, 1958) e em "bad-lands" de argilas em Perth Canboy, New Jersey, onde Schumm (1956) registrou densidade de drenagem para bacias de segunda ordem, de 313 a 820.

Segundo Freitas (1952), conhecendo-se a densidade de drenagem de uma região, é possível, em termos quantitativos, determinar a textura da topografia, em função da qual pode-se concluir qual o estágio erosivo regional. Existe uma relação logarítmica entre o índice de textura topográfica e a densidade de drenagem, de modo que, tendo-se o valor da densidade de drenagem, pode-se calcular a textura topográfica.

A fórmula de Smith (1950) referia-se a áreas pequenas. Então, Freitas (1952), achando que para se saber o estágio erosivo de uma região seria necessário se saber o valor T de várias áreas locais, sugeriu a seguinte fórmula:

$$T_m = (A N/P) / A$$

onde

$T_m$  = Textura Média

$A$  = Área

$N$  = Número de crênulas da curva de nível com o maior número delas

$P$  = Perímetro da área abrangida pelos raios da curva selecionada

Como se vê, a determinação da textura topográfica, através dessa fórmula é muito trabalhosa, daí a importância que o conhecimento da densidade de drenagem

gem assume na sua determinação, eliminando esse trabalho:

$$\text{Log } y = \text{log } A + B \text{ log } x$$

onde:

y = textura média

A = densidade de drenagem

B = textura topográfica (Smith, 1950)

x = densidade de drenagem média

Através de cálculo para uma área determinada, chegou-se a:

$$\text{log } Tt = 0,219649 + 1,115 \text{ log } Dd$$

onde:

Tt = Textura topográfica

Dd = Densidade de drenagem

França (1968), observando que os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos de fotografias aéreas, estudou as características da razão de textura, considerando o valor N das equações, como sendo o número total de rios da bacia. Além disso, adaptou a classificação de Smith ao Sistema Métrico, transformando o perímetro em quilômetros, conforme a Tabela II.1.

TABELA II.1

PARÂMETROS PARA CLASSIFICAÇÃO DA TEXTURA TOPOGRÁFICA, COM  
BASE NOS VALORES DE TEXTURA MÉDIA

Classe de Textura topográfica	Tm (Smith, 1950) Perímetro em milhas	Tm (França, 1968) Perímetro em Km
Grosseira	abaixo de 4	abaixo de 2,5
Média	4 a 10	2,5 a 6,2
Fina	acima de 10	acima de 6,2

d) Declividade: Os declives são, talvez, o mais importante aspecto da forma da superfície, desde que as superfícies são totalmente compostas de declives e os ângulos de declives controlam a força gravitacional disponível para o trabalho geomorfológico. (Strahler, 1956).

Segundo Evans (1972), a declividade num ponto é definida em termos de um plano tangencial à superfície naquele ponto.

As infinitas variedades de declives e os tipos de perfis de encosta são produzidos pela interação de processos de intemperismo, de escorregamento e erosão, fatores litológicos e tectônicos. (Penteadó, 1974).

Conforme citação de Doornkamp e King (1971), Melton (1957), estudando bacias hidrográficas nos estados do Colorado, Novo México, Utah e Arizona, encontrou que o ângulo máximo de declividade lateral

dos vales se relaciona positivamente com o relevo relativo, e negativamente com a densidade de drenagem e frequência de rios. Encontrou também que as vertentes maiores têm ângulo de declividade menores. Suas conclusões, entretanto, não podem ser generalizadas para outras situações, uma vez que seus dados foram coletados em condições de clima e história de evolução do modelado, bastante peculiares. De fato, a região estudada está compreendida num sistema morfoclimático em que predominam processos morfogenéticos de regiões secas. Com relação à região do Colorado, por exemplo, foi afetada por tectônica de blocos, possui morfologia afetada por testemunhos fósseis do período glacial (Budell, 1963) atualmente sofre erosão eólica, a rede de drenagem é pouco densa, constituindo-se na maior parte, de rios efêmeros (Finch e Trewartha, 1954).

Doornkamp e King (1971) concluem que as declividades estão relacionadas a muitos fatores ambientais e que há necessidade de diversos estudos que auxiliem no esclarecimento desses relacionamentos.

Conforme citação de Doornkamp e King (1971), diversos autores (Gregory e Brown, 1966; Young, 1961; Savigear, 1956) têm tentado estudar o relacionamento entre declividade e geologia local. Os resultados desses estudos sugerem que a história denudacional tem um papel importante na determinação das declividades. Young (1961) sugere que declives de 30 a 40° são o resultado de rápida erosão basal. Disso conclui-se que uma classificação absoluta dos relacionamentos entre rocha e declividade pode ser feita apenas para áreas de história geomorfológica semelhante, e não para áreas que

tenham climas e histórias diferentes. Melton (1957), estudando esse problema, encontrou diferenças significativas para os ângulos de declividade em cada litologia.

- e) Concavidade e convexidade: A convexidade, concavidade ou a reta do perfil da vertente tem sido objeto de controvérsias em geomorfologia; e isso não pode ser resolvido sem análise das amostras grandes e representativas. A convexidade, num ponto, é medida pelo ajuste de uma parábola aos pontos onde a linha de declive atravessa a curva de nível e é expressa em graus/m. Esse método tem a vantagem de abranger comprimentos muito grandes de inclinação, conseqüentemente, suavizando os declives. (Evans, 1972).

Conforme Savigear (1956), a convexidade consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há diminuição dos ângulos em direção jusante. Ele mostrou que um perfil de vertente consiste em uma série de medidas de comprimento, que podem ser divididas em porções retilíneas e curvas, denominadas segmentos de vertentes e elementos de vertente, respectivamente. A unidade de vertente é um termo que envolve tanto segmentos como elementos. Os segmentos de vertente são descritos pelo seu ângulo de inclinação e seu comprimento; o comprimento é aquele ao longo da superfície do terreno; não equivale ao comprimento horizontal. Os elementos de vertentes são caracterizados por sua curvatura, medida com a taxa de variação do ângulo com o comprimento, em graus, por 100 m.

Derruau (1962) 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.

Conforme Christofolletti (1974), Lester C. King (1953), baseando-se em trabalho anterior de A. Wood (1942), propôs um modelo descritivo de perfil. Para ele, a vertente típica apresenta 4 partes: convexidade no topo, face livre ou escarpa retilínea, parte reta com detritos da porção superior da vertente e pedimento suavemente côncavo.

Segundo Christofolletti (1974), o método usado com maior frequência na análise dos perfis de vertentes é dividir as unidades em retilíneas, convexas e côncavas. Esse processo tem o mérito da simplicidade e forneceu bons resultados em muitas pesquisas geomorfológicas, mas há algo de subjetividade no modo pelo qual é aplicado.

- f) Altitude: os métodos de análise altimétrica são de dois tipos principais: aqueles demonstrando a frequência numérica de certos níveis, e aqueles indicando áreas ou comprimentos de planos (cumes, bancos, etc.) em várias altitudes. Os métodos envolvem amostragem com variados graus de objetividade. Embora os métodos difiram, os objetivos são constantes: demonstrar a existência de superfície de erosão ou níveis, e correlacionar níveis de área para área (Clarke, 1966).

Estatísticas instáveis, tais como altitude máxima e altitude mínima são largamente usadas, como por exemplo, na integral hipsométrica (altitude média - altitude mínima/"range" da altitude). Tais índices são influenciados por extremos não representa

tivos; sua instabilidade compõe os problemas da definição operacional. Os próprios extremos podem ser variáveis em relação a mudanças na definição operacional nos quais a coleta de dados é baseada (Evans, 1972).

#### 2.2.2.3 - SISTEMAS DE AMOSTRAGEM

- a) Amostragem Circular: Ray e Fisher (1960) estudaram a significância da densidade de drenagem em relação à litologia, sobre mapas básicos de drenagem, de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com áreas de bacias hidrográficas e áreas de bacias circulares de 10 km<sup>2</sup>. Os autores concluíram que as determinações mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, foram as fornecidas pelas amostras circulares.

França (1968) aplicou a metodologia preconizada por Ray e Fisher para o estudo de solos, obtendo também resultados mais significativos para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares. O autor destacou as seguintes vantagens para o uso de amostras circulares:

- 1) Elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimento de rios são referidas à mesma área circular de 10 km<sup>2</sup>.
- 2) A área de amostragem circular pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger, unicamente, a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

Souza (1975) sugeriu que a área das amostras circulares pode variar conforme a área de ocorrência dos solos, não sendo fixo o valor de 10 km<sup>2</sup>.

Koffler (1976) utilizou amostras circulares de 10, 20 e 100 km<sup>2</sup> no estudo de padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru trabalhando com imagens aerofotográficas e orbitais.

- b) Amostragem em Grade: Evans (1969 b) comenta que, apesar da amostragem em grade ser suspeita, ela dá melhores resultados que as amostragens aleatórias, pois as periodicidades da natureza são muito irregulares para produzirem tendências nas amostragens em grade.

Certamente, o método de grade quadrada é confiável se, de acordo com o teorema de amostragem, a malha for menor do que a metade do menor comprimento de onda da variabilidade presente. Tamanhos de malhas de 20,50 ou 100m são convenientes para estudos de meso-relevo (Evans, 1972).

Conforme Cole e King (1969), uma grade regular é representativa da área sobre a qual ela está superimposta, desde que essa grade se mantenha constante para cada compartimento.

### 2.3 - SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES

O primeiro sensor fotográfico e também o mais difundido é a máquina fotográfica; o primeiro registro de uma fotografia foi obtido por Niepce e Daguerre em 1839 e as primeiras aplicações de fotografias aéreas para mapeamentos foram divulgadas pela Sociedade Internacional de Fotogrametria, em Viena, 1913 (Reeves et al, 1975).



Maxwell, em 1855, foi o primeiro a fazer considerações sobre fotografias coloridas e, somente em 1895, Hairson desenvolveu a separação de três pigmentos, sensíveis às cores azul, verde e vermelho. Em 1924, Mannes e Godowski patentearam o primeiro trabalho sobre camadas múltiplas de filmes coloridos (Reeves et al, 1975).

O desenvolvimento do filme aéreo sensível ao infravermelho foi estimulado pela U.S. Army e National Geographic Society Stratospheric em 1931. Entre 1935 e 1942, foram estudadas as propriedades de reflectâncias espectrais dos alvos naturais, para melhor utilização do filme infravermelho para detectar doenças em comunidades de plantas (Reeves et al, 1975).

As fotografias multiespectrais se desenvolveram com a realização de trabalhos de coleta de dados espectrais dos alvos terrestres, para selecionar bandas espectrais e posteriores gravações de suas assinaturas espectrais. Isto ocorreu na Segunda Guerra Mundial, onde foi possível o conhecimento de características espectrais de alvos naturais e artificiais. Posteriormente, as fotografias multiespectrais foram amplamente utilizadas com outros propósitos, que não somente militares, como o experimento S065, a bordo da Apollo 9 e outros realizados no Laboratório de Aero-métodos da Academia de Ciências da URSS (Reeves et al, 1975).

Evans (1948) conclui que o olho humano pode separar cem vezes mais combinações de cores do que os valores de tons de cinza, permitindo assim uma melhor identificação dos Alvos. Aldrich (1966) conclui que a detecção de objetos com fotos coloridas é maior do que com fotos preto e branco.

Welch (1969) em análise de definição de imagem, constata também que o filme colorido pode ser preferi

do, tomando-se por base a facilidade de detectar e diferenciar pequenos objetos de baixo contraste. Levine (1969) obtém resultados similares quando compara transparências negativas coloridas e negativas branco e preto.

Reeves et al (1975) concluem que as bandas verdes e vermelhas das fotografias multiespectrais produzem melhores contrastes e melhor resolução em fotografias de baixa altitude. Rowan (1972) sugere a utilização das bandas vermelho e infravermelho de fotografias multiespectrais para distinguir litologias, com base no conteúdo de óxido de ferro.

Reeves et al (1975), comparando as fotografias multiespectrais com fotografias coloridas no infravermelho, afirmam que as fotografias multiespectrais acrescentam muito poucas informações úteis, além das observadas nas fotografias infravermelho.

Allum (1970), em experimentos, constata que a água reflete mais na faixa espectral do verde, pouco no vermelho e não reflete no infravermelho. Baseando-se nesta conclusão, Stephens (1976) observou que a variação de tons azul nas fotografias infravermelho, dependia da quantidade de luz verde refletida, podendo assim identificar canais de drenagem e zonas de falha relacionadas a maior umidade.

Stephens (1976) comparou os filmes infravermelho colorido, colorido normal e branco e preto, chegando à conclusão de que o filme infravermelho colorido foi o mais eficiente para mapeamento de feições, tais como: zonas de falha, canais de drenagem e erosão na superfície do terreno.

O grande desenvolvimento da técnica de Sensoriamento Remoto ocorreu com o desenvolvimento de sensores

que detectam radiações eletromagnéticas além da faixa que vai do ultravioleta ao infravermelho próximo, os chamados sensores não fotográficos, que utilizam sistemas de imageamento (scanners) e detectores não convencionais. Como exemplo desses sistemas, tem-se: sistemas no infravermelho, luminescência, laser e radar (Reeves et al, 1975).

Carraro (1972) fez estudos de transmitância espectral na faixa do visível em alvos selecionados em Vazante, M.G., com transparências coloridas normais e infravermelho, nas escalas 1:15.000, 1:30.000, 1:60.000 e 1:90.000, utilizando os espectrofotômetros modelo 450 Perkin Elmer e Modelo SR ISCO. Conclui que a transmitância dos diapositivos diminui com o aumento da altura do voo e a cor se desloca para o azul. A discriminação da rocha mineralizada de rocha estéril somente é possível no filme Aerochrome IR (falsa cor) e na escala 1:30.000 ou maior. Em observações de campo, ele conclui que, apesar de a *Gomphrena sp* ter grande afinidade com o minério de zinco, não se desenvolve extensivamente, deixando de ter resolução espacial suficiente para as escalas 1:30.000 e 1:15.000. Por outro lado, a gramínea *Heteropogon vilosus* Nees, parece ser a mais significativa, por se desenvolver mais extensivamente sobre a zona mineralizada.



## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - MATERIAIS

##### 3.1.1 - SISTEMAS EM NÍVEL DE AERONAVE

Para a coleta de dados de sensores fotogrâficos na região de Vazante, foi utilizada a Aeronave Bandeirante, do Instituto de Pesquisas Espaciais, que sobrevoou a área em diferentes altitudes, nos meses de julho de 1972 e junho e setembro de 1975.

##### 3.1.1.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS

Essas fotografias foram obtidas através da câmara Hasselblad (f = 50 mm), descrita no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al, 1975). Esta câmara se encontrava equipada com o filme plus-X Aerographic com filtro vermelho. O filme foi revelado em transparências 70 mm no Laboratório Fotográfico do Instituto de Pesquisas Espaciais, numa escala de 1:90.000 e ampliadas em cópia de papel para a escala 1:30.000. Foram utilizadas 40 fotografias de 16,5 cm x 16.5 cm cada.

##### 3.1.1.2 - TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS I<sup>2</sup>S

As transparências multiespectrais foram obtidas utilizando-se a câmara I<sup>2</sup>S (International Imaging Systems), com distância focal de 100 mm. Essa câmara encontra-se descrita no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al, 1975).

Foi utilizado o filme branco e preto Kodak Aerographic 2424, sensível à radiação visível e infravermelho. Nas objetivas foram acoplados os filtros de transmitância espectral específica, produzindo imagens nas faixas espectrais do azul, verde, vermelho e infravermelho, tomadas simultaneamente de uma mesma cena.

Os filmes foram revelados e copiados em transparências positivas, na escala original (1:30.000), que contém as cenas das quatro bandas espectrais, em tamanho de 9,4 x 9,4 cm.

### 3.1.1.3 - TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO

Foram utilizadas as transparências 70 mm coloridas, normais e infravermelho, nas escalas 1:15.000 e 1:30.000. Essas transparências foram obtidas a partir da câmara Hasselblad, filme 70 mm, colorido normal Ektachrome MS e colorido infravermelho Aerochrome IR com filtro laranja.

### 3.1.2 - SISTEMA ORBITAL

O sistema LANDSAT, originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), encontra-se bem caracterizado no Manual do LANDSAT (NASA, 1972).

O satélite LANDSAT-1 possui dois tipos de sensores: imageador multiespectral (MSS - Multiespectral Scanner) e um conjunto de três câmaras de televisão (RBV-Return Beam Vidicon), desligado alguns dias após o lançamento.

O imageador multiespectral (Scanner) obtém a imagem da superfície da terra em quatro bandas espectrais, simultaneamente:

- canal 4: 0,5 a 0,6 (verde-laranja)
- canal 5: 0,6 a 0,7 (laranja-vermelho)
- canal 6: 0,7 a 0,8 (vermelho-infravermelho)
- canal 7: 0,8 a 1,1 (infravermelho próximo)

### 3.1.2.1 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR (CCT'S)

Os dados provenientes do MSS e RBV e outras in formações são transmitidos à terra e recebidos pelas esta ções de recepção e gravação. Após a gravação, são processa- dos nas estações de processamento, onde são convertidos em fitas compatíveis com o computador, utilizadas neste trabalho.

A cada quadro (conjunto de 4 imagens) corres ponde um conjunto de duas fitas, no qual estão armazenadas as matrizes digitais representativas dessas imagens. Essas fitas são denominadas CCT (Computer Compatible Tapes), ou fi tas compatíveis com o computador (Palestino, 1976). Foi uti lizada a fita CCT nº 3-230-12-37-45, órbita 178, ponto 25 de 18/08/73, canais 4, 5, 6 e 7.

### 3.1.2.2 - IMAGENS LANDSAT

Foram utilizadas as imagens LANDSAT números E-1391-12374 e E-1373-12373, órbita 178-5, pontos 24 e 25, de 18/08/73 e 31/07/73, respectivamente, nos canais 5 e 7.

### 3.1.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS E MAPAS GEOLÓGICOS

Para a coleta de dados morfométricos foram uti lizadas as Folhas de Arrenegado e Lagamar (SE.23.V-C-VI e SE.23-Y-A-III), do Serviço Geográfico do Exército, na escala 1:100.000, cuja restituição fotogramétrica foi realizada em

1968. Foram consultados os seguintes mapas geológicos:

- Mapa Geológico da Região de Vazante, na escala 1:25.000 (Heineck et al, 1975)
- Mapa Geológico da Região de Vazante, na escala 1:25.000 (Amaral, 1968)
- Mapa Geológico da Região de Vazante, na escala 1:60.000 (Dardenne, 1977 - inédito).

### 3.2 - METODOLOGIA

#### 3.2.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS MORFOMÉTRICOS

Foi realizada a fotointerpretação geológica e a compartimentação geomorfológica numa área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, na escala 1:30.000. A compartimentação geomorfológica foi baseada em análise estatística de dados morfométricos para essa mesma área.

##### 3.2.1.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

A fotointerpretação foi feita utilizando-se papel polyester estável ("overlays"), diretamente sobre as fotografias e transparências. Foram extraídas a rede de drenagem, estradas e outros referenciais geográficos.

A separação das unidades litológicas e os lineamentos estruturais foi feita sobre os mesmos "overlays", que foram montados sem controle cartográfico. A justaposição dos "overlays" foi feita com base na rede de drenagem e estradas. Com o auxílio das Cartas Topográficas Lagamar e Ar



renegado (SGE, 1968), foram traçadas coordenadas geográficas aproximadas, tendo-se como referência confluência de rios, cruzamento de estradas e cidades.

#### Fotografias aéreas branco e pretas

As fotografias aéreas branco e pretas têm uma sensibilidade espectral que vai de 0,36 a 0,72  $\mu\text{m}$ , que coincide aproximadamente com o intervalo de sensibilidade espectral do olho humano. Cada valor de tom de cinza é comparável à densidade (reflectância espectral) do filme, que equivale à resposta de um objeto colorido, como percebido pelo olho humano. Este fato propicia a qualidade dos contrastes tonais e resolução, que são as bases fundamentais para interpretação dessas fotografias.

A fotointerpretação foi feita conforme metodologia convencional e os principais parâmetros utilizados foram: expressão topográfica, padrão de drenagem, lineamentos estruturais, contrastes tonais e vegetação.

#### - Transparências Multiespectrais I<sup>2</sup>S

A fotointerpretação geológica das transparências multiespectrais foi feita utilizando-se mesa de luz e o instrumento "Color Additive Viewer", cuja descrição do sistema se encontra no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al, 1975).

Na mesa de luz foi feita a análise de cada um dos quatro canais, para se escolher o que continha maior número de informações para fotointerpretação geológica. Os canais 3 e 4 (vermelho e infravermelho próximo) foram escolhidos, pois apresentavam melhor contraste na separação de litologias e na identificação

de lineamentos estruturais. Essas informações eram retiradas em papel polyester transparente estável para utilização posterior na confecção do mapa geológico.

A análise das transparências através do "Color Additive Viewer" foi feita utilizando-se os quatro canais referentes às faixas espectrais azul, verde e infravermelho. Os canais referentes às faixas espectrais são superpostos através de lentes. Com a adição dos filtros e o controle da intensidade de luz, simulam-se composições coloridas normais e falsa cor. Essas combinações foram úteis na definição de contatos litológicos difíceis de serem observados em mesa de luz e também para realçar lineamentos estruturais.

#### - Fitas Compatíveis com o Computador (CCT)

As fitas compatíveis com o computador (CCT) foram utilizadas no Sistema I-100. Esse sistema foi desenvolvido pela General Electric Company, com a finalidade de realizar classificação automática das feições contidas em imagens orbitais, fotografias aéreas branco e pretas, coloridas normal e infravermelho, na forma de transparências positivas ou fitas digitalizadas.

A descrição dos componentes do Sistema Image 100, assim como suas funções, encontram-se no Manual de utilização, fornecido pela General Electric Company (1975).

A área de estudo é identificada e delimitada através do cursor no vídeo da unidade console do sistema. Utilizou-se então um dos programas existentes no Sistema, na ampliação da área para escala 1:250.000.

Posteriormente, utilizaram-se os programas de contraste e fizeram-se variações nos filtros e na intensidade de luz existente no painel. As diferentes cenas foram observadas visualmente no vídeo, com a finalidade de auxiliar a fotointerpretação geológica dos sensores fotográficos a nível de aeronave.

### 3.2.1.2 - COLETA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS MORFOMÉTRICOS

A coleta e a análise estatística de dados morfométricos foi feita baseando-se em dois tipos de amostragens: a amostragem em grade e a amostragem circular; o tratamento estatístico utilizado foi a análise de variância unidirecional.

#### 3.2.1.2.1 - AMOSTRAGEM EM GRADE

Os dados foram coletados de carta topográfica e de fotografias aéreas branco e pretas obtidas através da câmara Hasselblad. Em ambos os casos foi utilizada uma grade de 1 cm x 1 cm sobre a área, totalizando 250 células medidadas. Dessas 250 células distribuídas homogeneamente sobre a área, foram sorteadas 28 para cada unidade litológica, através da tabela de números aleatórios.

Foi feita então, a análise de variância para as variáveis coletadas da carta topográfica e para as variáveis coletadas das fotografias aéreas branco e pretas, com o objetivo de verificar quais as variáveis morfométricas que tinham poder discriminatório entre as três unidades litológicas e, assim, sugerir uma compartimentação geomorfológica para a área.

Fez-se também, o cálculo da Menor Diferença Sig

nificativa (M.D.S.), que foi usada como intervalo grupador das classes. Adicionando-se o valor da M.D.S. a cada média, consecutivamente, verifica-se que o resultado da adição supera o valor da média seguinte. Assim, identificam-se os possíveis grupamentos de maneira objetiva, segundo características quantificadas. O valor de M.D.S. é assim obtido:

$$M.D.S. = \left( \sqrt{\frac{2 QM_E}{N}} \right) t_{0,05 \text{ com G.L.}_E} \text{ onde,}$$

M.D.S. = Menor Diferença Significante

Q.M.E = Quadrado Médio do Erro (Tabela IV.1)

t = Valor tabelado de "t"

G.L.E = Graus de Liberdade do Erro (Tabela IV.1)

N = Número de observações em cada tratamento

- a) Variáveis Obtidas através de Carta Topográfica: Os dados foram coletados a partir da Folha Arrenegado, do Serviço Geográfico do Exército, na escala 1:100.000, com curvas de nível de 40 m de espaçamento. Todas as variáveis foram medidas dentro de cada célula de 1cm x 1cm, que determina uma área de 1 km<sup>2</sup> no terreno.
- Altitude Média: essa variável foi medida para verificar o comportamento da altitude em área cujos movimentos tectônicos determinaram mudanças significativas no relevo. É dada pelo somatório das cotas altimétricas dentro de cada célula, dividido pelo número de cotas.
  - Amplitude Relativa: toma-se a cota altimétrica mais elevada e a menos elevada dentro de cada célula, subtrai-se a menor da maior, e tem-se a amplitude re

lativa.

- Declividade Média: A declividade entre dois pontos do terreno é medida pela inclinação da reta que os une com o plano horizontal, podendo ser expressa em ângulos ou em porcentagens. No caso foi medida em ângulo ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \arctg \frac{H}{D}$$

onde:

H = amplitude entre as curvas de nível

D = distância entre as curvas de nível

- Concavidade e Convexidade: Fez-se o perfil topográfico para cada célula, ao longo da linha de maior declive (Figura III.1). Ligou-se o ponto A ao ponto B, determinando o segmento A-B, e o ponto B ao ponto C, determinando o segmento B-C. Traçou-se a normal ao ponto médio de cada segmento e obteve-se o raio (B-O) da circunferência que passa pelos pontos A, B e C.

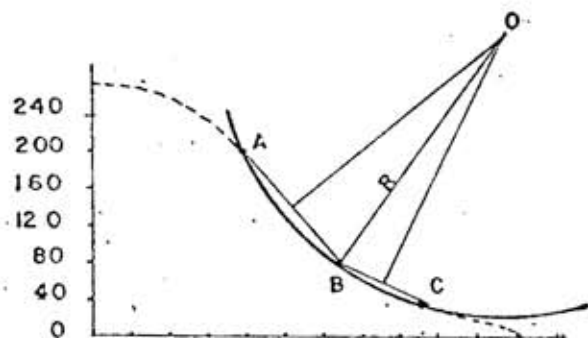


Fig. III.1- Medido da Concavidade e Convexidade

A concavidade ou a convexidade foi determinada pela posição do arco, atribuindo-se um valor positivo à vertente côncava, e negativo à vertente convexa. Quando a vertente era côncavo-convexa, calculou-se a curvatura da parte que era a mais expressiva, isto é, a que continha maior número de segmentos e/ou maior comprimento.

- Densidade de Drenagem: Este índice foi definido por Horton (1932), como a razão entre o comprimento total de rios e a área, sendo expresso pela equação:

$$D = \frac{L_t}{A}$$

onde:

$L_t$  = comprimento total dos rios

$A$  = Área

- Frequência de Rios: Horton (1945) introduziu também o termo "frequência de rios" (F), para expressar quantitativamente o grau ou desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica. A frequência de rios foi definida pela equação:

$$F = \frac{N}{A}$$

onde:

$N$  = Número total de rios

$A$  = Área da bacia

- b) Variáveis obtidas através de Fotografias Aéreas Branco e Pretas: Foi feito um mapa detalhado da drenagem da área, na escala de 1:90.000. As variáveis

medidas foram: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica.

A textura topográfica vai representar o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre, a través da fórmula proposta por Freitas (1952).

### 3.2.1.2.2 - AMOSTRAGEM CIRCULAR

O sistema de amostragem circular foi utilizado na comparação entre as fotografias aéreas branco e pretas e transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S. Como a área recoberta pelas fotografias aéreas branco e pretas não era a mesma que a recoberta pelas transparências multiespectrais, o sistema de amostragem circular foi o melhor sistema de se coletar os dados, pois uma amostra circular pode ser deslocada dentro de uma unidade, sem considerar os limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

Foram tomadas três amostras circulares na unidade A (metassiltitos com lentes de dolomitos), três na unidade C (ardósias com intercalações de metassiltitos) e duas na unidade B (ardósias com filitos e quartzitos intercalados), devido à menor dimensão espacial desta.

A área de cada amostra foi de 5 km<sup>2</sup>, embora Ray e Fisher (1960) considerem ideal a área de 10 km<sup>2</sup>. Neste caso, 10 km<sup>2</sup> seria uma área muito grande em relação à área recoberta pelos dois tipos de sensores.

Foi feita, a seguir a análise de variância para cada unidade, com o objetivo de verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre dados de drenagem

obtidos de fotografias aéreas branco e pretas e de transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S e, assim, verificar se um dos produtos fotográficos daria maior quantidade de informações que outro para cada unidade litológica fotointerpretada.

- a) Transparências Multiespectrais I<sup>2</sup>S: as variáveis coletadas das transparências multiespectrais foram: densidade de drenagem e frequência de rios, sendo que os comprimentos dos rios foram medidos com curvímetro e régua de precisão.
- b) Fotografias Aéreas branco e pretas: as variáveis coletadas nesse tipo de amostragem para as fotografias aéreas branco e pretas foram as mesmas que as coletadas nas transparências multiespectrais: densidade de drenagem e frequência de rios, para possibilitar uma comparação entre os dois produtos fotográficos com base nessas duas características.
- c) Imagens LANDSAT: essas mesmas variáveis (frequência de rios e densidade de drenagem) foram medidas em amostras circulares com área de 5 km<sup>2</sup> nas imagens LANDSAT, na escala 1:250.000. Por ser um sensor de nível orbital, a análise de variância entre as três diferentes unidades não foi feita junto com os sensores fotográficos.

O objetivo dessa análise foi verificar se o sensor LANDSAT poderia discriminar as três unidades litológicas fotointerpretadas, já que os sensores fotográficos possibilitaram essa discriminação.

### 3.2.1.2.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Fez-se a análise de correlação utilizando-se o coeficiente de Pearson, para todas as variáveis considera



das discriminatórias, ou seja, densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica (de fotografias aéreas branco e pretas) e altitude, amplitude e grau de dissecação (de carta topográfica).

A análise de correlação foi feita para 28 amostras sorteadas através da Tabela de Números Aleatórios, com o objetivo de verificar o grau de relacionamento entre elas, para melhor caracterizar cada unidade chegando assim, a uma compartimentação do relevo.

As variáveis da carta topográfica e das fotografias aéreas branco e pretas foram analisadas juntas, já que se sabe que todas são discriminatórias.

#### 3.2.1.2.4 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A análise de superfície de tendência é um método de análise de regressão múltipla tridimensional, que permite construir analiticamente uma série de superfícies teóricas, ajustadas através do método dos mínimos quadrados (Gerardi e Sanches, 1975).

O objetivo do processo de análise de superfície de tendência é descrever matematicamente a forma de uma série de superfícies que caracterizem a tendência geral dos valores observados.

Foi utilizado um programa de "Trend Surface Analysis", que fornecia como saída, ajustes de superfícies de até oitavo grau. O programa foi usado para as variáveis discriminatórias, num total de 299 amostras para as variáveis coletadas de carta topográfica, e 250 amostras para as variáveis coletadas de fotografias aéreas branco e pretas. Essas amostras foram coletadas através de uma grade, cujas

células tinham 1cm x 1cm, definindo no terreno, uma área de 1 km<sup>2</sup>, numa distribuição homogênea de pontos.

Como o computador ajusta superfícies de grau 1 a 8, os valores computados e residuais de y são diferentes para cada superfície ajustada. Assim, tem-se 8 superfícies, das quais se deve escolher uma que melhor represente a distribuição do evento estudado, ou seja, a cada variável.

Os parâmetros mais importantes na escolha de melhor superfície de ajuste são: porcentagem da soma total dos quadrados, variância, número F, coeficiente de correlação e verificação interna em S (Amaral, 1976).

Davis (1973) propõe que seja feita análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, para verificar se esse aumento é estatisticamente significativo. Se o resultado do valor F for significativo, o polinômio de ordem maior deverá ser mantido; se F não for significativo, nada foi ganho com o ajuste de polinômio de grau maior.

### 3.2.2 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZADA

Foi realizada a análise visual e análise estatística de dados obtidos com o analisador I-100 numa área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>, onde se encontram as mineralizações conhecidas de zinco e chumbo.

#### 3.2.2.1 - ANÁLISE VISUAL DAS TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO

As transparências coloridas normais e infravermelho (70 mm) foram interpretadas em mesa de luz, com este reoscópio de bolso. Essas transparências recobrem uma área

mais restrita; que abrange os Morros Lapa Nova e das Minas, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

A fotointerpretação geológica foi feita baseando-se principalmente nas diferenças de cores e análise este reoscópica.

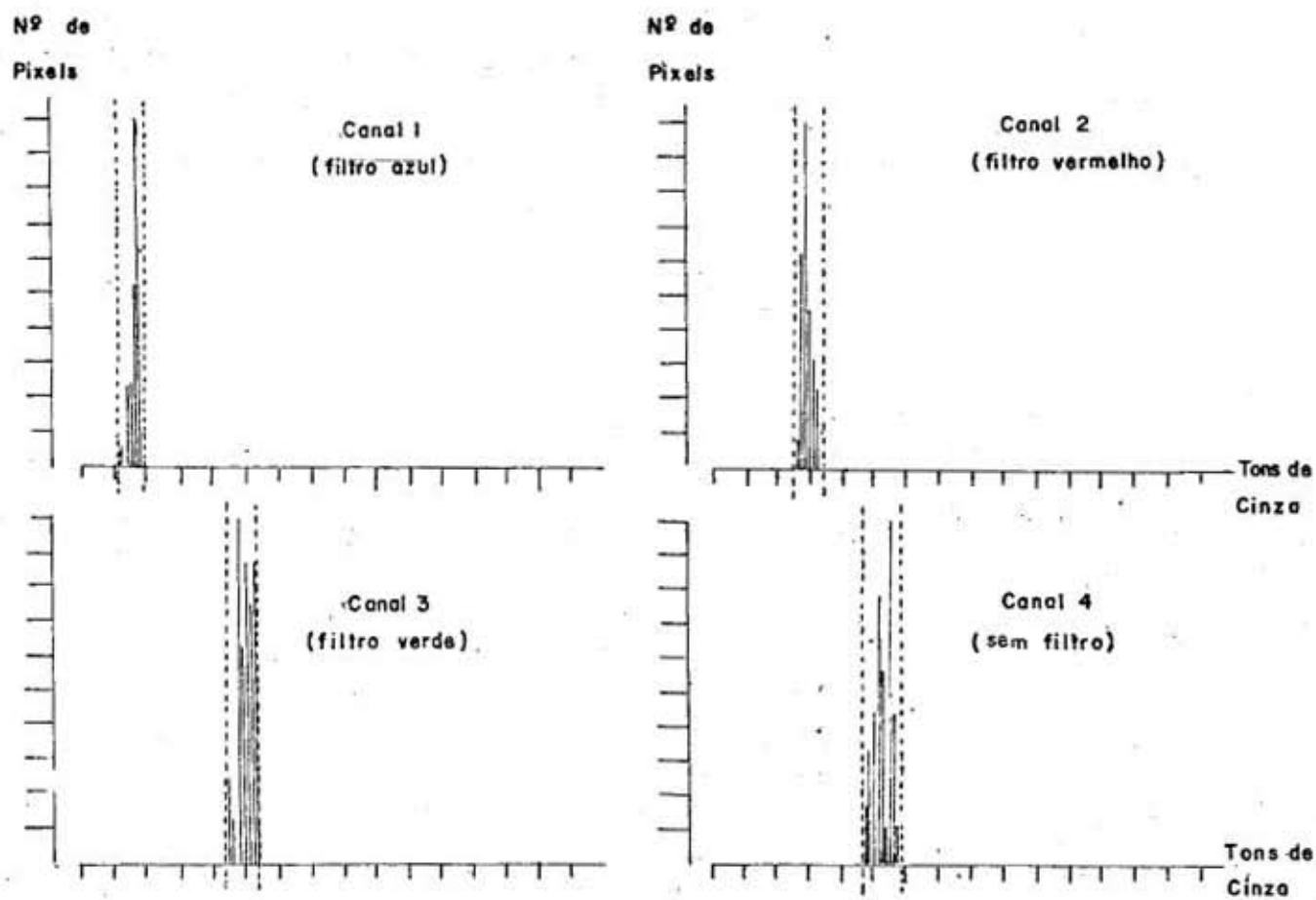
### 3.2.2.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS COM O ANALISADOR I-100

As transparências coloridas infravermelho foram utilizadas no sistema I-100, onde foi feita a classificação automática, para verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre as zonas mineralizadas, já separadas visualmente.

As tonalidades contidas nas transparências foram separadas por diferentes filtros do "Scanner" e armazenadas na memória nos seus respectivos canais; no canal 1, com filtro azul, canal 2, com filtro vermelho, canal 3, com filtro verde e no canal 4 não foi utilizado filtro.

As áreas selecionadas através do cursor abrangiam 36 pixels cada uma e eram conhecidas previamente por análise visual, como áreas mineralizadas e áreas não mineralizadas. Foram utilizados os programas "Single Cell Signature Acquisition" e "One Dimensional Histogram Display/Modification", existentes no Sistema I-100. A classificação é feita pelo sistema. Os histogramas das áreas classificadas são mostrados no Terminal Gráfico, possibilitando modificações necessárias, numa interação homem-máquina para uma melhor classificação. Os resultados obtidos são fornecidos através da impressora em forma de histogramas (Figura III.2).

Foram obtidos 32 histogramas com informações



Canal	Limite		Delta	Pico	Média	Variância
	Inferior	Superior				
1	10	15	6	17	13,2	0,8
2	21	27	7	13	23,5	1,9
3	36	42	7	8	39,7	3,0
4	38	46	9	9	42,1	4,7

Área de Treinamento = 36 pixels  
 Área Alarmado = 11.780 pixels

Fig. III.2- Histograma da Classificação fornecida pelo Sistema I-100, em transparências infravermelho Colorido

de tons de cinza versus número de pixels, sendo 16 para áreas mineralizadas e 16 para áreas não mineralizadas. Com os histogramas foi feita análise de variância das médias de tons de cinza obtidas para cada canal, a fim de confirmar a separação de zonas mineralizadas observadas visualmente.

### 3.2.3 - TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado em 15 dias e constou de descrições geológicas e geomorfológicas. Procuraram-se locais que contivessem maior quantidade de informações, como perfis perpendiculares às direções das camadas, afloramento de rochas, testemunhos de sondagens, etc.

Os pontos eram localizados nas fotografias aéreas e lançados em "overlays" ou no mapa geológico fotointerpretado. As descrições eram feitas em cadernetas de campo.

Para cada ponto foram feitas medidas de: altitude, atitude de camada das rochas, eixo de dobras e outras orientações estruturais. Foram descritos 139 pontos (Apêndice A), que se encontram no Trabalho de Campo em Vazante, Estado de Minas Gerais (Nascimento et al, 1976).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE VAZANTE

##### 4.1.1 - MAPA GEOLÓGICO

A fotointerpretação geológica e o trabalho de campo na região de Vazante, permitiram a elaboração de mapa geológico da área (Apêndice B).

Foram individualizadas três unidades da Formação Paraopeba, do Grupo Bambuí, sugeridas por relações de campo, onde se observou uma variação faciológica com posteriores deslocamentos e dobramentos causados por esforços compressivos que atuaram na área.

A unidade que ocupa toda porção oriental da área, é representada por uma sequência predominantemente pelítica, constituída por ardósias com pequenas intercalações de metarenitos, metassiltitos e metargilitos.

As ardósias se apresentam em cores variáveis. Em alguns casos, parece depender do grau de alteração, pois as ardósias quando frescas são cinza, e quando sujeitas a um grau mais intenso de intemperismo, se tornam amareladas, observando-se, ainda, ardósias róseas, verdes e pretas, carbonosas.

O metargilito tem cor verde clara, e restringe-se aos fundos dos vales. Nos locais mais altos, aparece o metassiltito vermelho escuro, bem duro, em finas camadas, que às vezes sobressaem no relevo. Associado ao metassilti

to, numa mudança transicional, encontra-se um metarenito centimétrico, de cor marrom escura. Nas proximidades do Ribeirão Santa Catarina, logo após a confluência com o Córrego Barroquinha, aparece um metassiltito rítmico, com cores verde clara e vermelho escuro com microfalhas.

Esta unidade, apresenta direções de acamamento e foliação variando de N 20 E a N 85 E (com maior frequência em N 60 E), com mergulhos de 11 a 75° para NW. Por se constituir de rochas com propriedades plásticas, apresenta dobramentos intensos e bem pronunciados. Os falhamentos e fraturamentos não são tão frequentes como nas unidades que lhe seguem, porém, são concordantes e mostram três direções preferenciais: N 10 E, N 70 W e E-W. Os falhamentos transversais são proeminentes, como é o caso do falhamento em que se encontra o Córrego Palmital.

A unidade que ocupa a faixa central da área, numa largura média de 3,5 km, é constituída por metassiltitos com lentes de dolomitos. Os dolomitos acompanham uma faixa de direção NNE, são descontínuos e se diferenciam de Leste para Oeste, como observado em perfis realizados nestas direções: a Oeste, observam-se dolomitos cinza laminados, e outras vezes listados; mais a Leste, encontram-se dolomitos rosados com intercalações de metassiltitos verdes. Continuando na mesma direção, encontram-se dolomitos cinza descritos por Cassedanne (1968), como sublitográficos e também dolomitos com estromatólitos. A sedimentação pelítica nesta unidade, quando nas proximidades de zonas de falhas se encontra filonitizada. No centro norte da área, encontram-se pequenas elevações de direção NE, constituídas por metassiltitos rítmicos, de cores marrom claro e marrom escuro, em níveis milimétricos. Intercala-se um metassiltito calcífero, placoso, de cor cinza escuro.



Nesta unidade, ocorrem as mineralizações de zinco e chumbo, relacionadas à falha de direção N 50 E, onde se alinham o Morro Lapa Nova, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre e o Morro das Minas.

Os dolomitos apresentam dobras suaves, por serem rochas maciças, com os eixos apresentando direções próximas a N e N 45 W. O acamadamento varia entre N 20 E e N 80 E, com predominância em N 60 E, com excessão do Morro das Minas, onde houve inflexão e a direção é de N 05 W. O mergulho vai de 15 a 75° para NW, sendo que os mergulhos mais fortes estão nas proximidades das falhas. Os falhamentos e fraturamentos se encontram em duas direções preferenciais; uma variando entre N-S e N 50 E, e outra entre N 40 W e E-W.

A falha longitudinal de direção NE, atravessa toda a área mapeada. Ao Sul da área ela limita a unidade predominantemente pelítica com a unidade pelítico-carbonática, numa escarpa de falha bem delineada. Volta a aparecer encoberta no vale do Córrego Barroquinha e paralela à falha das Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, sofrendo inflexão também para Oeste, próximo ao Morro das Minas. No centro norte da área, a falha longitudinal localiza-se também nas proximidades da unidade em que predominam os pelitos, seguindo em direção NE, sofrendo inflexão para o Norte, nas proximidades do vale do Rio Escurinho.

Os falhamentos transversais, com direções N 40 W e E-W, são posteriores aos falhamentos NE, pois os últimos se encontram deslocados. O principal falhamento transversal de direção E-W, desloca o Morro Lapa Nova para Oeste, afastando-o da Serra Poço Verde, como sugere Amaral (1968). Outros fraturamentos transversais com direções N 40 W são encontrados formando bocainas nas Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

A unidade que ocupa o Centro Ocidental e Noroeste da área é representada por rochas areno-pelíticas, constituída por ardósias, metassiltitos, metargilitos nos locais mais dissecados e intercalações de quartzitos e filitos, constituindo serras com escarpas íngremes. A ardósia é de cor creme a rósea, intercalando-se com metargilito branco. Ardósias carbonatadas cinza escuro aparecem em espessuras métricas. O metassiltito marrom escuro forma pequenas serras, em forma de "hog-backs". O quartzito que se intercala com o filito cinza claro é branco, com alguns pontos vermelhos e fraturas preenchidas por veios de quartzo.

As direções de acamamento e foliação variam de N 20 E a N 70 E, com mergulhos entre 17 e 70° para NW. As variações nas direções das estruturas se devem aos falhamentos sofridos ao Norte do Córrego Barrocão. Os dobramentos que são bem representados por crenulações de direção N-S, predominam nas intercalações dos quartzitos e filitos, devido à plasticidade dos filitos. Os falhamentos longitudinais possuem direções próximas a N-S e N 40 E, e os transversais E-W e N 30 W.

O diagrama de juntas foi obtido com medidas de 32 fraturas e apresenta duas direções preferenciais e perpendiculares: N 15 E e N 75 W (Figura IV.1) para as rochas da Formação Paraopeba, na região de Vazante. Portanto, a tectônica da região reflete os esforços exercidos de Leste para Oeste em direção ao craton do São Francisco.

#### 4.1.2 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

Com as fotografias aéreas branco e preto e transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S, foi possível a separação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba na região de Vazante. A análise das imagens contidas nas fitas

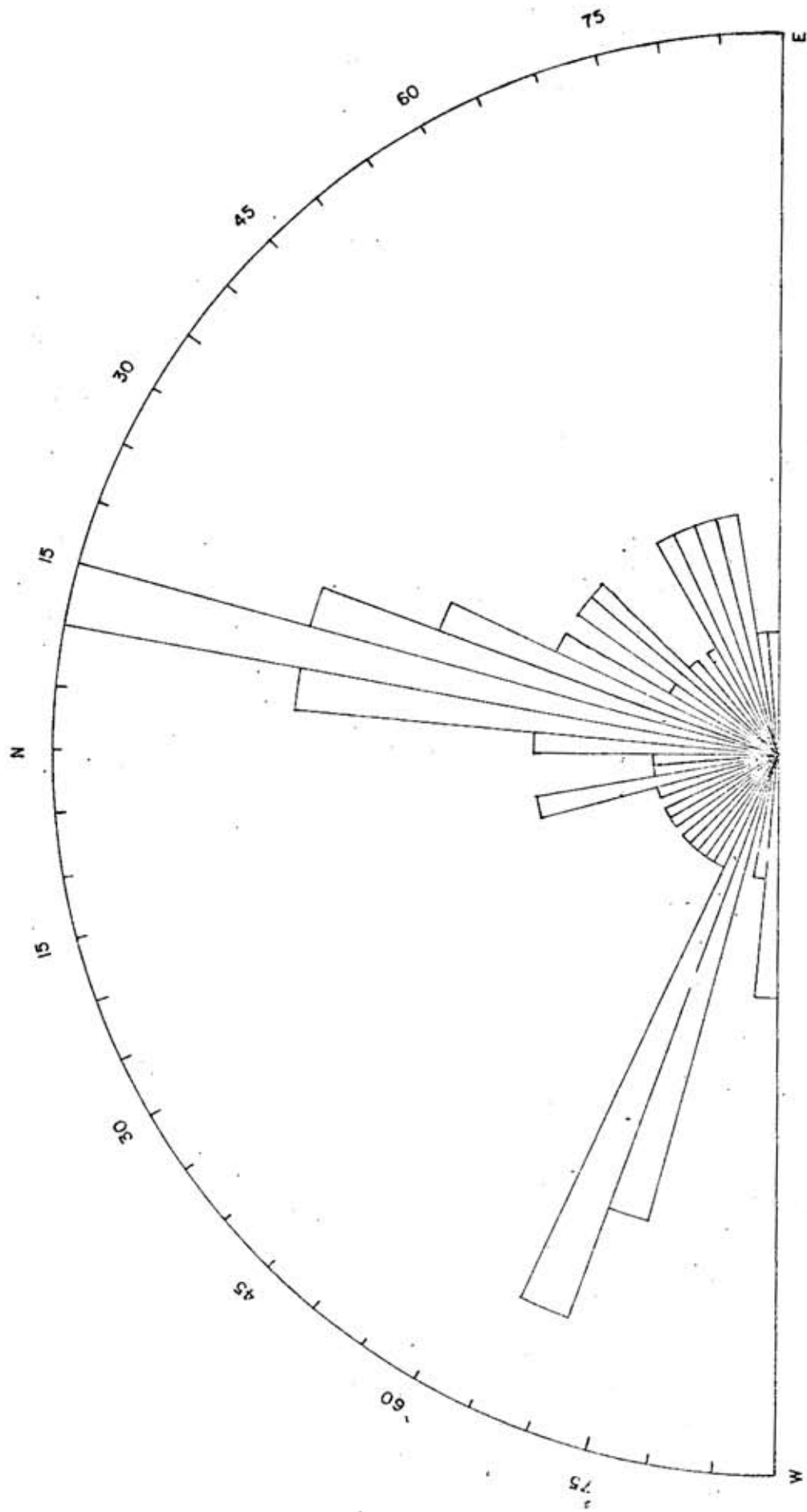


Fig. IV.1.- Diagrama de Juntas

CCT's, mostradas através do Sistema Image-100, auxiliou as interpretações estruturais por fornecerem uma visão global da área mapeada.

#### 4.1.2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS

Os tons de cinza mais escuros, de menor reflectância espectral na faixa do vermelho, predominam em litologias pelítico-carbonáticas, que possuem solos vermelhos espessos, com cobertura vegetal mais densa e árvores mais desenvolvidas. Para os tons de cinza mais claros, de maior reflectância na faixa do vermelho, predominam as rochas arenopelíticas (ardósias, metassiltitos, quartzitos e filitos), com pouca ou quase nenhuma cobertura de solo, e vegetação predominantemente de cerrado ralo (árvores pouco desenvolvidas e gramíneas).

A análise estereoscópica permitiu um maior grau de detalhamento no traçado da drenagem e uma melhor visualização das estruturas (direções e mergulhos das camadas, sinclinais, etc), através das diferenças de altitude relativa e também o realce de suaves diferenças texturais. Isto possibilitou observar que para rochas impermeáveis (filitos e ardósias), a densidade de drenagem aumenta em relação às rochas carbonáticas, onde a drenagem superficial é mais escassa. Nestas rochas observou-se ainda, dolinas e drenagem intermitente na sua maior parte.

As rochas mais resistentes à erosão (quartzitos) são evidenciadas no relevo. O tectonismo sofrido por estas rochas (falhamentos) é mostrado por contatos bruscos no relevo.

#### 4.1.2.2 - TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS I<sup>2</sup>S

A utilização de transparências multiespectrais em levantamentos aerofotográficos, deve ser precedida de um trabalho de campo preliminar, a fim de se escolher as combinações filme/filtro a serem utilizadas, pois estas combinações devem ser adequadas na separação de unidades litológicas.

O melhor contraste observado entre vegetação, solo e água ocorreu na faixa espectral do vermelho (0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ).

Os diferentes tipos de rocha foram discriminados devido principalmente a diferenças geobotânicas. A faixa espectral correspondente ao infravermelho próximo, que possui alta reflectância para as plantas, acentuou o contraste entre vegetação mais desenvolvida e menos desenvolvida. Como exemplo constatamos que na unidade constituída por metasiltitos e dolomitos, a separação dos dolomitos foi possível devido à alta reflectância na região do infravermelho oferecida pela vegetação mais exuberante que recobre estas rochas.

As estruturas geológicas, principalmente os falhamentos, são acentuadas quando se utiliza o "Color Additive Viewer", pois os filtros de contraste e a variação na intensidade de luz, realçam lineamentos relacionados a zonas de maior umidade ou a mudanças bruscas de vegetação. Como exemplo de falhamentos relacionados a zonas de maior umidade, citamos o Córrego Barroquinha, enquanto que nas serras Poço Verde e Sucuri, encontram-se zonas de falha que se relacionam a mudanças bruscas de vegetação.

#### 4.1.2.3 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR (CCT's)

A análise das informações de nível orbital (LANDSAT), utilizando o sistema Image-100, foi muito importante para as interpretações estruturais da região. O contato por falhamento entre as unidades litológicas são marcantes, bem como a identificação de estruturas circulares ou semi-circulares. Estas feições são mais visualizadas devido ao encaixe da drenagem à estrutura, que tem uma origem tectônica desenvolvida possivelmente, pelos esforços compressivos que sofreram estas rochas, originando dobras de arrasto.

As mineralizações de zinco e chumbo, controladas por fraturas e falhas, aparecem com uma topografia mais elevada, numa superfície predominantemente plana. Esse aspecto foi bem evidenciado quando se utilizou o programa que realça o contraste no canal 7 (0.7 a 1.1  $\mu\text{m}$ )-(Figura IV.2). Esse canal tem importância na identificação de ressaltos topográficos, devido ao efeito de sombra causado pelo ângulo de iluminação solar.

O canal 5 (0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), com o programa de contraste, facilita a identificação das unidades litológicas, sem contudo precisar os contatos entre as mesmas, devido à alta reflectância radiométrica dos solos com pouca cobertura vegetal que se encontra nas unidades pelíticas e arenopelíticas (Figura IV.3)

A composição colorida infravermelho foi composta pelos canais 5 (com filtro azul), 6 (com filtro verde) e canal 7 (com filtro vermelho). Esta composição foi feita na tentativa de delimitação das unidades, porém a alta reflectância radiométrica dos solos desprovidos de vegetação no canal 5, também mascarou o contraste entre as unidades (Figura IV.4).



Fig. IV.3 - Canal 5 com contraste. Sistema I-100. A unidade geológica constituída por metassiltitos com lentes de dolomito é individualizada no centro da fotografia. Observam-se também estruturas semi-circulares.

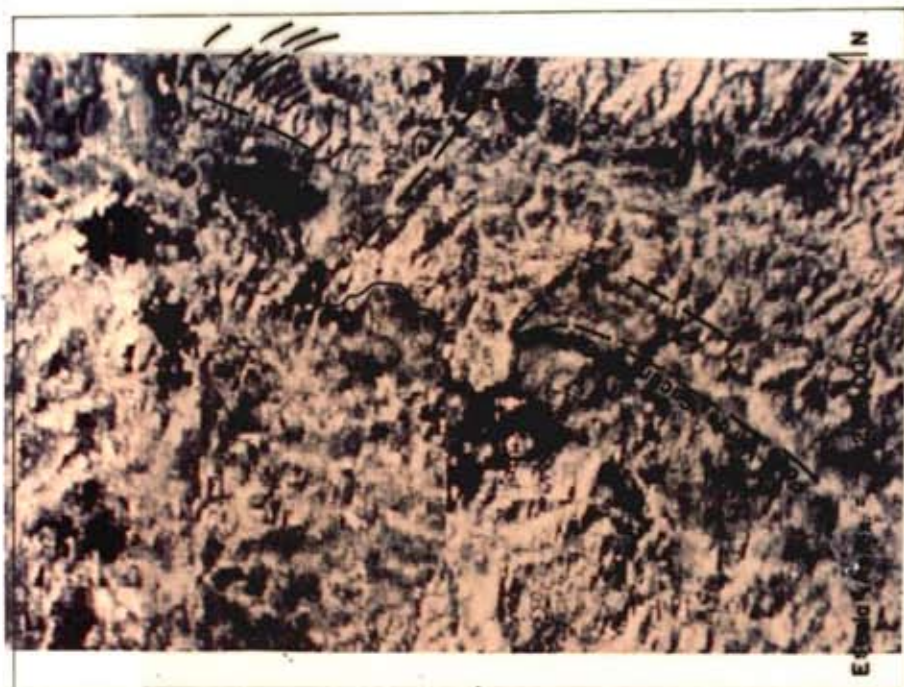


Fig. IV.2 - Canal 7 com contraste. Sistema I-100. Destaca-se o falhamento NE nas Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Preto, com mineralizações em zinco.

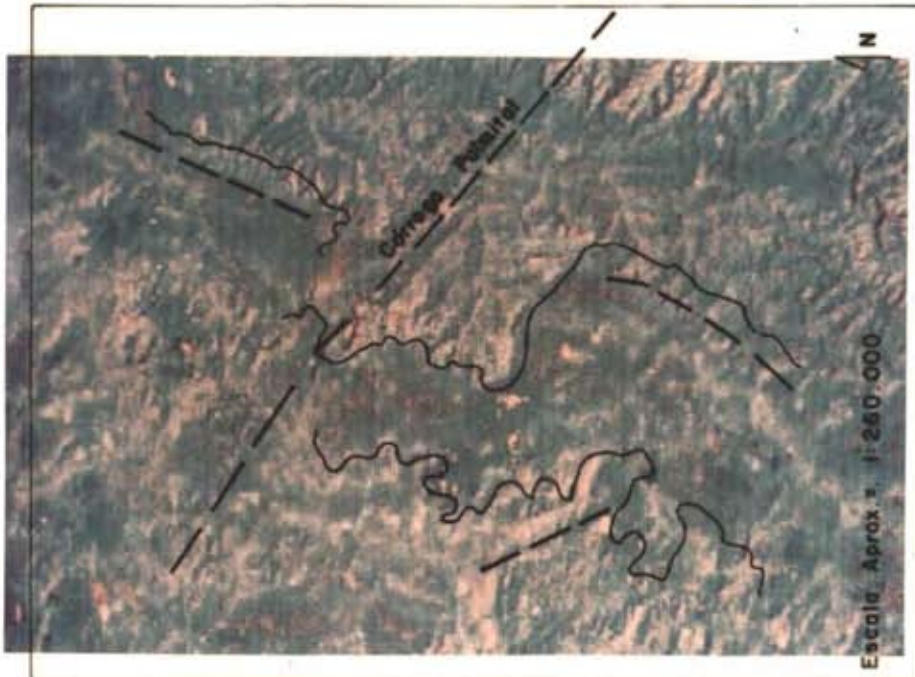


Fig. IV.4 - Composição Colorida Infravermelho. - Sistema I-100. Destaca-se um grande falhamento de direção NW no Córrego Palmitei.



#### 4.1.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO E TRABALHOS ANTERIORES

Baseando-se numa análise bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos na região, no trabalho de campo da área mapeada e em observações de campo regionais, nos propomos a uma discussão da estratigrafia, estrutura, tectônica, litologia e gênese das mineralizações na região de Vazante.

##### 4.1.3.1 - ESTRATIGRAFIA

Costa e Branco (1960) correlacionam as formações calcárias da região de Vazante com os calcários conhecidos em Sete Lagoas, baseando-se num perfil geológico da rodovia Belo Horizonte-Brasília. Jaime Branco (1962) correlaciona as ardósias e folhelhos ardosianos que recobrem os calcários de Sete Lagoas com os mesmos metassedimentos da região de Vazante, localmente com granulação mais grosseira. Amaral (1968 b) separa os metassedimentos da região de Vazante em dois; correlaciona os metassedimentos a Oeste da faixa calcária, denominada Formação Sete Lagoas como pertencentes ao Grupo Canastra, e as ardósias e folhelhos ardosianos a Leste da mesma faixa, como Formação Rio Paraopeba. Braun (1968) reúne as rochas aflorantes na região como pertencentes à Formação Paraopeba, que englobaria o que ele denominou de Fácies Sete Lagoas, e os metassedimentos, baseando-se num mapeamento regional de 100.000 km<sup>2</sup> que engloba a borda ocidental da bacia Bambuí. Dardenne (1974) considera as rochas da região, também como pertencentes à Formação Paraopeba e a divide em quatro fácies, citadas na revisão bibliográfica. Thorman (1974) considera as rochas da região como pertencentes à Formação Paraopeba, e a divide em três unidades, sem precisar a posição estratigráfica das mesmas, devido à existência de falhas de acamamento entre elas. Heineck et al (1975) dividem as rochas da região em três unidades da For

mação Paraopeba, sendo a unidade mais antiga, a dos pelitos situados a Leste da unidade intermediária que é pelítico-carbonática e a mais nova situada a Oeste, sendo constituída por metassedimentos areno-pelíticos.

Considerando a importância do trabalho de mapeamento regional para as correlações estratigráficas no Grupo Bambuí, torna-se aceitável para os geólogos que desenvolveram trabalho na região de Vazante, denominarem as rochas encontradas, como pertencentes a Formação Paraopeba ou Sub-Grupo Paraopeba, como sugerem Amaral et al (1976). Porém, encontram-se também litologias nas proximidades de Vazante, possivelmente pertencentes à Formação Paranoá. São as mesmas rochas citadas por Braun (1968), para a região de Paracatu, mencionadas por Amaral (1968 b) como metassedimentos do Grupo Canastra (posteriormente retificadas em informações verbais e englobadas no Sub-Grupo Paraopeba por Amaral et al, 1976). Foram descritas por Thorman (1974) como unidade C da Formação Paraopeba, englobadas na unidade areno-pelítica definida por Heineck (1974), e também neste trabalho.

Essas litologias são quartzitos intercalados com filitos e filitos cinza grafitosos com pirita, que se estendem nas proximidades Oeste e Norte de Vazante, passando por Vazamor, e seguindo para Paracatu e encontram-se mapeadas por Dardenne (1977). No entanto, seria necessário um mapeamento mais detalhado em toda a faixa ocidental do Grupo Bambuí, para definir não só a posição estratigráfica destas rochas, como reconstituir o paleoambiente de sedimentação para compreender as variações litológicas locais existentes nessa unidade.

O empilhamento estratigráfico das três unidades da Formação Paraopeba para a região de Vazante é sugerido, baseando-se na possível reconstituição paleogeográfica

da região. Inicialmente a sedimentação marinha foi essencialmente pelítica, o que Dardenne chamou de fácies sub-litoral, representadas por ardósias cinza. A existência de um alto fundo, sugerido por Cassedanne (1968) e Dardenne (1972), condicionou posteriormente a precipitação dos sedimentos pelítico-carbonáticos, representados pelos metassiltitos e dolomitos, descritos por Cassedanne (1968) e Dardenne (1972, 1974), onde reconstituíram as fácies e ambientes correspondentes à formação dos diversos dolomitos encontrados na região, onde fases regressivas e transgressivas são explicadas por movimentos locais de fundo de bacia. A sedimentação pelítica também é concomitante a essa fase, representada por ardósias avermelhadas, róseas e intercalações de metarenitos e metassiltitos. A última fase é representada por uma subsidência da bacia (Dardenne, 1972), onde predominam ardósias cinza e verde, carbonatadas.

#### 4.1.3.2 - ESTRUTURA E TECTÔNICA

Todos os estudos realizados na região de Vazante, são unânimes em afirmar que as rochas da região foram afetadas por esforços de Oeste para Leste, em direção ao craton do São Francisco, porém as interpretações estruturais são diversas.

As direções de acamamento e clivagens são, em geral, para NE, sofrendo inflexões, em alguns locais, como no Morro das Minas. Thorman (1974), acredita em uma forte deformação compressiva horizontal, sugerida por estas inflexões, que modificam o comportamento regional.

Essas inflexões ocorrem também ao Norte da área, próximo ao vale do Rio Escurinho, e possivelmente estão relacionadas ao mesmo fenômeno verificado no grande falhamento de empurrão que coloca as rochas do Grupo Araxá so

bre rochas do Grupo Bambuí, onde Salomão e Ladeira (1973) se referem a sinuosidades locais no "front" desse grande falhamento.

Amaral (1968 b) afirma que as rochas da região foram dobradas pelo último evento orogênico que afetou o Geossinclíneo Brasília e correlaciona cronologicamente os sistemas de falhamentos NE e NW com os mesmos da região de Patos de Minas, de idade cretácea. Guimarães (1962), Cassedanne (1968) e Dardenne (1974) acreditam numa idade tardi-Bambuï para os falhamentos NE, que foram reativados no Jurássico, segundo Guimarães (1962) e Dardenne (1974). Dardenne (1974) menciona também a existência de falhamentos longitudinais NE e transversais NW, também reativados no Jurássico e de idade tardi-Bambuï.

#### 4.1.3.3 - LITOLOGIA

Para as rochas carbonáticas da região, a caracterização litológica é controvertida. Moore (1955) chama de dolomitos as rochas carbonáticas das Serras do Poço Verde e Barrocão; Branco (1962) fala de calcários localmente dolomitizados por processos tectônicos de falhamento. Guimarães (1962) chama a atenção para a predominância de dolomita e pouca calcita, em Vazante, colocando numa situação inversa do que ocorre nas demais regiões do Bambuí (Camadas Gerais). Amaral (1968) encontra calcários na Serra Poço Verde e quanto aos dolomitos, diz serem metassomáticos, devido à ação de soluções mineralizantes. Cassedanne (1968), acredita que as dolomitizações das rochas carbonáticas da região sejam em parte penecontemporânea à sedimentação, baseado em análises químicas, inclusive em rochas carbonáticas não afetadas por falhamentos. Dardenne, em informações verbais, afirma que a dolomitização é sin-diagenética, e classifica todas as rochas carbonáticas como dolomitos. Amaral (1976) diz que

a dolomitização está associada à mineralização, citando como argumentos a frequência de dolomitização em rochas permeáveis, onde se observa uma relação quase linear entre os teores de MgO, Pb e Zn dessas rochas, e a composição isotópica de estrôncio, que indica a remobilização a partir de outras rochas.

Verificando os argumentos citados pelos autores, possivelmente existiu uma dolomitização penecontemporânea à sedimentação, podendo ter ocorrido também durante a diagênese, com circulação de soluções mineralizantes e magnesianas, procurando as rochas mais permeáveis, e outra dolomitização posterior relacionada à reativação tectônica, que sofreram as rochas nessa área.

#### 4.1.3.4 - DEPÓSITOS MINERAIS E GÊNESE DA MINERALIZAÇÃO

Os depósitos minerais se encontram na base da sequência litológica, em que predominam os dolomitos rosados, e ao longo da zona de falha de direção NE nos morros Lapa Nova, das Minas e Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

O corpo de minério apresenta ao longo de sua faixa, uma série de zonas de estricção com larguras variáveis, da ordem de centímetros até cerca de 60 metros. A mineralização vai até a profundidade de 90 metros sob a superfície atual (Guimarães, 1962). O dolomito se apresenta com impregnação difusa de zinco em ambos os lados do corpo principal do minério, e encerra teores de décimos a 1% de ZnO (Guimarães, 1962).

Amaral (1968 b), estudando as mineralizações da Serra Poço Verde, descreve as mineralizações hipogena e supergênica. A mineralização hipogena, ou primária, originou

como minerais de minério, apenas a blenda e a galena. A mineralização supergênica ou secundária, aparece cimentando os depósitos eluvionares nas fendas de dissolução ou cimentando o material superficial da zona de falha longitudinal e transversal. São dezessete os minerais secundários identificados: prata nativa, cobre nativo, calcosina, covelina, alcantita, zincita, cuprita, smithsonita, cerussita, malaquita, auricalcita, hidrozincita, brochantita, linarita, piromorfita, Willemita, e hemimorfita (Amaral, 1968).

Os depósitos da região de Vazante, assim como em outras regiões mineralizadas no Grupo Bambuí, estão sendo classificados por muitos autores como do tipo "Mississippi Valley".

Robertson (1963), Guimarães (1962) atribuem à mineralização primária, uma origem hidrotermal, denominada por Beurlen (1974), como epi-exogenética. Cassedanne (1972) e Dardenne (1974) acreditam numa origem sin-sedimentar, denominada por Beurlen como epi-endogenética. Amaral (1968) considera que a gênese do minério hipógeno tenha se dado por concentração primária dos elementos nas rochas da Formação Sete Lagoas, com posterior remobilização e deposição em zonas de falha. Portanto, considerando a fase inicial de concentração também estaria classificado como epiendogenética, segundo Beurlen (1974).

Beurlen (1974), estudando as mineralizações do Grupo Bambuí, distingue quatro fases, que estão de acordo com os estudos realizados anteriormente para a região de Vazante:

- Fase sin-sedimentar
- Fase da diagênese tardia e diastrofismo do Grupo Bambuí

- Fase de remobilização no ciclo cárstico pré-Urucuia
- Fase dos processos de cimentação-oxidação e concentração eluvial.

#### 4.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA, COM BASE EM VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

##### 4.2.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A elaboração de uma compartimentação geomorfológica para a área (Apêndice C) foi possível através de uma avaliação do poder discriminatório das variáveis e da análise do relacionamento entre as variáveis discriminatórias.

##### 4.2.1.1 - AVALIAÇÃO DO PODER DISCRIMINATÓRIO DAS VARIÁVEIS

O objetivo da análise morfométrica era verificar se as diferentes unidades litológicas (A, B e C), poderiam ser discriminadas através das variáveis morfométricas e assim, propor uma compartimentação geomorfológica para a área. Isso foi feito através da análise de variância, para as variáveis extraídas das fotografias aéreas branco e pretas e para as variáveis extraídas de carta topográfica.

Foram analisados os comportamentos somente das variáveis discriminatórias para cada unidade; as variáveis que não foram discriminatórias foram abandonadas, visto que o objetivo dessa análise era justamente a separação das três unidades litológicas e a elaboração de uma compartimentação geomorfológica através das variáveis morfométricas discriminatórias.

VARIÁVEIS EXTRAÍDAS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS

As variáveis extraídas de fotografias aéreas branco e pretas foram: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica, cujos resultados encontram-se nas Tabelas IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, IV.5 e IV.6.

Pelos resultados da análise de variância, que demonstram o poder discriminatório de cada variável, e pelos testes de Menor Diferença Significativa (M.D.S.), que permitem a criação objetiva de classes que podem agrupar e ordenar partes componentes do sistema segundo características quantificadas, constata-se que as três variáveis: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica, permitem a discriminação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba, a um nível de significância de 0,01.

TABELA IV.1

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	181,41	90,71		
Erro	81	180,08	2,22	40,86**	4,82
TOTAL	83	361,49	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960



TABELA IV.2

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE DENS. DE DRENAGEM

VALOR DA M.D.S (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
0,05	<u>0,92</u>	<u>2,85</u>	<u>4,52</u>

FONTE: Steel and Torrie, 1960.

TABELA IV.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	3632,64	1816,32		
Erro	81	5312,50	65,59	27,69**	4,82
TOTAL	83	8945,14	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.4

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
5,71	<u>2,71</u>	<u>10,61</u>	<u>18,82</u>

TABELA IV.5

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE TEXTURA TOPOGRÁFICA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	745,43	372,72		
Erro	81	776,53	9,59	38,87**	4,82
TOTAL	83	1521,96	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.6

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE  
TEXTURA TOPOGRÁFICA

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
2,81	<u>1,67</u>	<u>5,45</u>	<u>8,97</u>

FONTE: Steel and Torrie, 1960

$$M.D.S. = \left( \sqrt{\frac{2 QM_E}{N}} \right) \cdot t_{0,05 \text{ com G.L.E.}}$$

M.D.S. = Menor Diferença Significativa

Q.M.<sub>E</sub> = Quadrado Médio do Erro

t = Valor tabelado de "t"

G.L.E. = Graus de Liberdade do Erro

N = Número de observações em cada tratamento

FONTE: Steel and Torrie, 1960

### VARIÁVEIS EXTRAÍDAS DE CARTA TOPOGRÁFICA

As variáveis extraídas de carta topográfica foram: densidade de drenagem, frequência de rios, altitude, amplitude e declividade, concavidade e convexidade, cujos resultados encontram-se nas Tabelas IV.7, IV.8, IV.9, IV.10, IV.11, IV.12, IV.13, IV.14 e IV.15.

Pelos resultados da análise de variância para os dados de carta topográfica, tem-se que as variáveis discriminatórias foram: altitude e amplitude, conforme Tabelas IV.12 e IV.14 e as variáveis não discriminatórias foram: densidade de drenagem, frequência de rios e concavidade e convexidade, conforme Tabelas IV.7, IV.8 e IV.9.

Quanto à variável declividade, o resultado da análise de variância, na Tabela IV.10, demonstrou que existem diferenças significativas entre as unidades. O cálculo da M.D.S., entretanto, agrupou numa mesma classe as unidades B (ardósias com filitos e quartzitos intercalados) e C (ardósias com intercalações de metassiltitos) - Tabela IV.11. Essa variável, portanto, foi considerada não discriminatória.

Quanto à densidade de drenagem e frequência de rios (Tabelas IV.7 e IV.8), essa análise pode ser compreendida através de Ricci e Petri (1965): "as cartas topográficas correntes, são, na maior parte dos casos, desenhadas de modo a obter um conjunto homogêneo; o desenhista, especialmente por razões de estética cartográfica, conserva todos os elementos da rede hidrográfica quando esta é pouco densa, e suprime alguns, ou grande parte dos cursos de água, quando a rede é densa. Assim, a densidade de drenagem mantém-se constante, e muitos indícios de significado geológico, ficam, portanto, perdidos".

Quanto à variável concavidade e convexidade, observa-se através das fotografias aéreas e no campo, que as vertentes da unidade C (ardósias com intercalações de metassiltitos) são convexas no topo e côncavas nas bases; as vertentes da unidade B (ardósias com filitos e quartzitos intercalados) são irregulares, com alternância de abruptos rochosos e degraus cobertos de solos, e na unidade A (metassiltitos com lentes de dolomitos), o relevo é predominantemente plano. No entanto, através da análise estatística dos dados (Tabela IV.17), não se confirmou tal observação. Um dos problemas talvez tenha sido na própria tomada de medidas. Devido ao tamanho regular da malha escolhida para se medir essa variável, e tendo-se em vista que a distribuição das formas é variável, esse tipo de amostragem em grade não é adequado para esse índice. Ora os dados coletados numa célula se referem a todo perfil de vertente, ora apenas a um segmento, ou ainda, a vários perfis de vertentes. Para esse índice, portanto, a amostragem em grade não foi satisfatória. Essa medida deveria ser feita ao longo do perfil de cada vertente. Isso, no entanto, fugiria do sistema de amostragem em grade, utilizado para as outras variáveis.

TABELA IV.7

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	0,09	0,05		
Erro	81	33,10	0,40	0,13	4,82
TOTAL	83	33,19	-		

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.8

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

FONTES DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	1,50	0,75		
Erro	81	56,82	0,70	1,07	4,82
TOTAL	83	58,32	-		

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.9

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE CONCAVIDADE E CONVEXIDADE

FONTES DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	5,45	2,73		
Erro	81	393,62	4,82	0,57	4,82
TOTAL	83	399,07	-		

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.10

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DECLIVIDADE MÉDIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	1099,63	549,82		
Erro	81	2413,13	29,79	18,46**	4,82
TOTAL	83	3512,76	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01  
FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.11

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE DECLIVIDADE

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	C	B
3,85	4,07	9,11	12,91

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.12

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE ALTITUDE

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	165495,24	82747,62		
Erro	81	174828,57	2158,38	38,34**	4,82
TOTAL	83	340323,81	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.13

TESTE DE MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE ALTITUDE MÉDIA

VALOR D M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	C	A	B
32,78	<u>685,43</u>	<u>745,71</u>	<u>795,00</u>



TABELA IV.14

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE AMPLITUDE MÉDIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	T <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	83657,15	41828,58		
Erro	81	144057,14	1778,48	23,52**	4,82
TOTAL	83	227714,29	-		

\*\*Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA IV.15

TESTE DE MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE AMPLITUDE

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	C	B
29,76	<u>27,14</u>	<u>70,0</u>	<u>104,29</u>

4.2.1.2 - ANÁLISE DO RELACIONAMENTO ENTRE AS VARIÁVEIS DISCRIMINATÓRIAS

Num estudo sobre o relacionamento entre número de canais e tipos de rochas em 130 bacias de terceira ordem, extraídas de 8 regiões morfológicamente distintas de Uganda, King e Doornkamp (1971), concluem que altos níveis de correlação ocorrem quando a análise é confinada a um só tipo de rocha, e não a vários tipos de rochas.

Assim também foi feita a análise do relacionamento entre as variáveis para a região de Vazante. Das 250 amostras coletadas para toda a região, foram sorteadas 28 para cada unidade litológica, e calculou-se o coeficiente de correlação entre todas as variáveis discriminatórias: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica (de fotografias aéreas branco e pretas), e altitude, amplitude e grau de dissecamento (de carta topográfica) Os resultados encontram-se nas Tabelas IV.16, IV.17 e IV.18.

TABELA IV.16

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PARA A UNIDADE A

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DIS.
D. DRENAGEM	1,00					
T. TOPOGRAF.	0,99	1,00				
FREQ. RIOS	0,88	0,87	1,00			
ALTITUDE	-0,27	-0,26	-0,18	1,00		
AMPLITUDE	0,22	0,22	0,14	0,18	1,00	

TABELA IV.17

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS  
MORFOMÉTRICAS PARA A UNIDADE B

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DIS.
D. DRENAGEM	1,00					
T. TOPOGRAF.	0,99	1,00				
FREQ. RIOS	0,70	0,71	1,00			
ALTITUDE	0,16	0,15	0,05	1,00		
AMPLITUDE	0,21	0,21	0,06	0,72	1,00	
G. DISSEC.	-0,15	-0,15	-0,04	-0,99	-0,72	1,00

TABELA IV.18

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS  
MORFOMÉTRICAS PARA A UNIDADE C

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DIS.
D. DRENAGEM	1,00					
T. TOPOGRAF.	0,99	1,00				
FREQ. RIOS	0,42	0,42	1,00			
ALTITUDE	0,38	0,38	0,50	1,00		
AMPLITUDE	0,26	0,26	0,22	0,57	1,00	
G. DISSEC.	-0,38	-0,38	-0,50	-0,99	-0,57	1,00

UNIDADE A = Metassiltitos com lentes de dolomitos

UNIDADE B = Ardósias com filitos e quartzitos interca  
lados

UNIDADE C = Ardósias com intercalações de metassiltitos

Analisando-se esses resultados, tem-se que os coeficientes de correlação mais elevados são:

TABELA IV.19

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO MAIS ELEVADOS ENTRE AS VARIÁVEIS

VARIÁVEIS	UNIDADES		
	A	B	C
Dens. Drenagem x Text. Topográfica	0,99	0,99	0,99
Dens. Drenagem x Freq. de Rios	0,88	0,70	0,42
Altitude x Amplitude	0,18	0,72	0,57
Altitude x Grau de Dissecamento	-0,99	-0,99	-0,99

Para as três unidades, o coeficiente de correlação entre altitude e grau de dissecamento foi de -0,99, portanto, uma correlação alta, inversa. Isso indica que as duas variáveis possuem o mesmo comportamento para as três unidades. Portanto, a variável grau de dissecamento, que é inversamente derivada da altitude, pode ser rejeitada. O mesmo acontece entre a densidade de drenagem e textura topográfica, onde se optou pela densidade de drenagem.

4.2.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA

A avaliação do poder discriminatório das variáveis e a análise do relacionamento entre elas, permitiu chegar-se a uma compartimentação geomorfológica para a área que, nessa ordem de grandeza, vincula-se diretamente ao comando das estruturas, como pode ser observado no Apêndice C.

Entretanto, prevaleça a influência estrutural ou a escultural, ou haja equilíbrio dos dois fenômenos geomorfológicos, a paisagem sempre reflete interação de processos (Penteado, 1974).

#### 4.2.2.1 - RELEVO CÁRSTICO (UNIDADE A)

Litologicamente essa unidade é constituída de metassiltitos com lentes de dolomitos, que se sobressaem na topografia plana.

O melhor exemplo do relevo ruiforme é o das dolomitas, carbonatos duplos de cálcio e magnésio. Na teoria, elas são menos solúveis do que o calcário, pois contêm carbonato de magnésio, mas por serem muito porosas, sofrem intensamente o ataque das águas (Derruau, 1966).

Na região de Vazante, observa-se que essas lentes de dolomitos possuem escarpas rochosas nuas, abruptas e crivadas de lapiãs.

Essa unidade, definida como Relevo Cárstico, apresenta baixa densidade de drenagem (0,92 km/km<sup>2</sup>, conforme Tabela IV.2), com a maioria dos rios de natureza temporária, devido à alternância de períodos chuvosos e de seca acentuada, e à própria natureza das rochas.

Na estação seca, alguns rios superficiais vão diminuindo o débito pela perda de água através de fissuras localizadas em seu leito, ou desaparecem inteiramente. Um exemplo típico é o Córrego Barrocão que durante a estação seca desaparece totalmente, deixando seu leito pavimentado de detritos. Os cursos subterrâneos são alimentados pela infiltração, ressurgindo em vários tipos de fontes, das quais são

exemplos típicos a Lagoa do Poço Verde e Lagoa do Sucuri, que permanecem com água durante o ano todo.

O Ribeirão Santa Catarina e os córregos Barroquinha e Água Doce são os que assumem maior importância devido a sua natureza de rios perenes e por controlar o nível do lençol freático. O Ribeirão Santa Catarina, além do grande volume de água que contém, é alimentado durante o seu curso por fontes e lagoas mantidas por cursos de água subterrâneos. Além disso, não atravessa regiões de grandes fissuramentos.

A frequência de rios dessa unidade (2,71 rios/km<sup>2</sup>, conforme Tabela IV.4) é baixa com relação às demais unidades. É que os rios perenes e longos, em área de morfologia cárstica (como o Ribeirão Santa Catarina, por exemplo), não possuem afluentes pequenos (de primeira ordem), que são os que mais contribuem para um aumento na frequência de rios e na capacidade geradora de novos cursos d'água.

Essa unidade apresenta valores intermediários de altitude média (745,71, conforme Tabela IV.13). Analisando-se as fotografias aéreas e através de observações de campo, essa unidade parece ser a menos elevada com relação às demais, aqui definidas. Mas através da análise dos valores médios de altitude para toda a região, constatou-se que, no conjunto, ela não é a mais deprimida. É que no contato entre essa unidade e a unidade C (Relevo de Colinas, constituído de ardósias com intercalações de metassiltitos), há uma inversão da topografia. Realmente a unidade A aparece mais baixa do que a unidade C. Esse aspecto é evidenciado por uma escarpa contínua e bem delineada, que separa as duas unidades.

Quando o relevo mostra fraca dependência à re

sistência das litologias envolvidas, ele pode corresponder a uma escarpa de falha, pois se resultasse somente da ação erosiva isolada, as rochas mais duras manteriam as elevações, enquanto as planícies e os vales corresponderiam às formações mais moles. Se as rochas mais resistentes ocupam áreas mais rebaixadas, enquanto as moles ressaltam na topografia, tal situação é favorável a uma escarpa de falha.

A amplitude média é de 27,14 m (Tabela IV.15), portanto, uma amplitude pequena quando comparada com as outras unidades, indicando que não há grandes desníveis na área, exceto onde aparecem as lentes de dolomitos.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis, verificou-se que entre densidade de drenagem e frequência de rios, o coeficiente de correlação foi de 0,88 (Tabela IV.16). Como os rios são longos, com pouca ramificação, um aumento no número de rios implica no aumento do comprimento dos rios e, conseqüentemente, haverá um aumento da densidade de drenagem. Daí o alto grau de correlação entre essas duas variáveis para essa unidade.

#### 4.2.2.2 - RELEVO DE CRISTAS (UNIDADE 3)

Litologicamente essa unidade é constituída por ardósias com filitos e quartzitos intercalados.

Caracteriza-se por uma densidade de drenagem de 2,85 km/km<sup>2</sup>, conforme Tabela IV.2. Trata-se, portanto, de um índice médio com relação às demais unidades.

Os quartzitos são muito resistentes pela homogeneidade, natureza dos grãos e pelo fissuramento que reduz o escoamento superficial. Sua composição silicosa torna-os rochas menos solúveis. Eles constituem, pois, as cristas e

arestas mais elevadas no meio dos filitos.

No alto curso do Córrego Barrocão, observa-se um controle estrutural da drenagem pelos lineamentos de quartzitos. Os rios, na sua maioria, correm paralelos à estrutura; alguns, entretanto, a cortam perpendicularmente. Além disso, observa-se um pronunciado desenvolvimento de vales condicionados à remoção rápida das rochas menos resistentes, como os filitos e ardósias. O índice médio de densidade de drenagem, portanto, é devido ao reduzido escoamento superficial nos quartzitos e ao aumento da densidade nos filitos.

O índice de frequência de rios foi de 10,61 rios/km<sup>2</sup> (Tabela IV.4), portanto, um índice também médio com relação às demais unidades. É que onde há um maior desenvolvimento de vales condicionados às rochas menos resistentes, observa-se um aumento no número de canais de primeira ordem, que são os que mais contribuem para um aumento na frequência de rios. Por outro lado; não se observa o desenvolvimento de drenagem sobre os quartzitos, devido à resistência oferecida por esse tipo de rocha. Portanto, nessa região, onde há diferenças nos tipos de rochas quanto à resistência, a frequência de rios caracteriza-se por um valor médio.

As altitudes médias são as mais elevadas entre todas as unidades (795,0 m, conforme Tabela IV.13), pois os quartzitos, por serem mais resistentes à erosão, mantêm a topografia num nível mais elevado. Por serem mais resistentes à erosão, e por se acharem intercalados com filitos, o ataque da erosão é maior nos filitos que, sendo menos resistentes, vão sofrendo um maior desgaste pelos agentes erosivos. Isso ocasiona uma grande amplitude média para essa unidade (104,29 m, conforme Tabela IV.15), com degraus de escarpas rochosas nuas correspondentes aos quartzitos, e solos



mais espessos, correspondentes aos filitos.

O coeficiente de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios para essa unidade foi de 0,70 (Tabela IV.17). É que nessa unidade há um aumento no número de canais de primeira ordem, mas isso não implica no aumento do comprimento dos rios. Portanto, um aumento no número de rios não corresponde a um aumento no comprimento deles. Isso faz com que haja uma diminuição no coeficiente de correlação com relação à unidade anterior.

O coeficiente de correlação entre altitude e amplitude foi de 0,72 (Tabela IV.17); o mais elevado entre todas as unidades. Essa é a unidade que topograficamente se acha mais elevada, e cujos valores de amplitude média também são os mais elevados, resultando num coeficiente de correlação alto. As cristas paralelas de quartzito, que mantêm a topografia num nível mais elevado, são também as responsáveis pelos altos valores de amplitude, pois dão vertentes íngremes, em formas de degraus com grandes desníveis entre o topo e a base.

Esse índice foi um dos fatores principais para se definir um relevo de cristas, desde que o paralelismo das cristas corresponde às rochas duras, e os vales, ou seja, as partes mais baixas, correspondem às rochas tenras.

#### 4.2.2.3 - RELEVO DE COLINAS (UNIDADE C)

Litologicamente essa unidade é constituída de ardósias com intercalações de metassiltitos.

Os dois índices obtidos a partir das fotografias aéreas branco e pretas foram os mais elevados entre as três unidades.

Assim, a densidade de drenagem foi de 4,52 km/km<sup>2</sup> (Tabela IV.2). Isto se deve à baixa permeabilidade desse tipo de rocha, responsável pelo alto coeficiente de escoamento superficial.

No contato entre essa unidade e a correspondente ao relevo cárstico, observa-se que os canais de drenagem são profundos e múltiplos, com vertentes inclinadas e recortadas pela erosão dos canais.

Mais a Leste, observa-se que os vales são mais largos e a carga dos rios é mais grosseira, pavimentando os fundos dos vales, impedindo, assim, a erosão do leito rochoso subjacente. Com isso, o excesso de energia disponível é usado no alargamento dos vales, ficando os leitos rasos e abertos.

Predomina o padrão dendrítico, característico de terrenos impermeáveis, e que indica falta de controle estrutural, com excessão do Córrego Palmital e do córrego paralelo a ele, mais ao Norte. No restante da área, a drenagem se caracteriza por rios principais longos e afluentes curtos, com grande número de canais de primeira ordem, principalmente na região de contato com a unidade adjacente.

A frequência de rios foi de 18,82 rios/km<sup>2</sup>, conforme Tabela IV.4, portanto, um coeficiente elevado com relação às demais unidades. Essa frequência de rios elevada deve-se ao fato de haver grande número de canais de primeira ordem nessa unidade, pois, de todos os canais dentro de uma bacia de drenagem, são os canais de primeira ordem que fornecem a maior quantidade para o comprimento total da rede de drenagem, apesar do fato do comprimento médio dos canais de primeira ordem ser menor do que os de outra ordem (King e Doornkamp, 1971). Isso implica que o que falta no

comprimento dos canais de primeira ordem, é suprido pelo número de canais.

No conjunto, essa unidade apresenta as menores altitudes médias da região (685,43 m, conforme Tabela IV.13). O relevo encontra-se bastante dissecado pela grande quantidade de rios esculpindo rochas de baixa resistência à erosão.

As amplitudes médias de 70,0 m (Tabela IV.15), são mais representativas no contato entre essa unidade e a adjacente, de relevo cárstico, já que no restante desta área observou-se, em trabalho de campo, que as amplitudes entre os fundos de vales e os interflúvios tendem a decrescer em direção ao nível de base do vale do Rio Paracatu.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis, observou-se o mais baixo coeficiente de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios (0,42 conforme Tabela IV.18). Portanto, o que está influenciando o coeficiente de correlação é o número de canais de primeira ordem. Como eles são muito numerosos nesta unidade, e como são de pequena extensão, vão contribuir pouco para um aumento na densidade de drenagem (comprimento dos canais/área). Entretanto, sua contribuição vai ser grande no aumento da frequência de rios (número de rios/área).

De fato, Melton (1958), segundo Strahler (1964), conclui que um aumento na frequência de rios não implica necessariamente num aumento da densidade de drenagem. Duas bacias podem ter a mesma densidade de drenagem, porém diferentes frequências de rios e vice-versa.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis altitude e amplitude, verificou-se um coeficiente de correlação de 0,57 (Tabela IV.18), portanto, um coeficiente médio.

com relação às demais unidades. Esse coeficiente médio é explicado pelo fato de haver grande amplitude e altitudes elevadas na região de contato, e uma diminuição das altitudes e das amplitudes mais a leste, em direção ao nível de base do Rio Paracatu. Essa diferença pode ser atribuída ao fator estrutural (escarpa de falha), que provocou um levantamento das bordas dessa unidade.

#### 4.3 - COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES FOTOGRÁFICOS COM BASE NA REDE DE DRENAGEM

A comparação entre os sensores foi feita através da análise de variância, com o objetivo de verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S e, assim, verificar qual dos produtos fotográficos daria maior quantidade de informações para cada unidade de fotointerpretada.

Da unidade A (Relevo Cárstico), foram extraídas três amostras circulares, cujos dados e resultados encontram-se nas Tabelas IV.20 e IV.21.

TABELA IV.20

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE SENSORES FOTOGRÁFICOS PARA O RELEVO CÁRSTICO

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I <sup>2</sup> S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
A <sub>1</sub>	1,01	1,02
A <sub>2</sub>	0,51	2,02
A <sub>3</sub>	0,75	0,90

TABELA IV.21

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE SENSORES  
FOTOGRAFICOS NO RELEVO CÂRSTICO

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	1	0,46	0,46		
Erro	4	0,88	0,22	2,09	21,20
TOTAL	5	1,34	-		

Pelo teste F (distribuição devida a Fisher), fica estabelecida a hipótese nula (H<sub>0</sub>), de que os dois tipos de sensores dão a mesma quantidade de informações na unidade de relevo cárstico, pois o F<sub>tab.</sub> é maior do que o F<sub>calc.</sub>.

Porém, analisando-se visualmente as amostras da unidade A (Relevo Cárstico), na Figura IV.5, verifica-se que as fotografias aéreas branco e pretas fornecem maior quantidade de informações.

É que essa unidade, por ser bastante plana, permite um traçado mais detalhado da rede de drenagem, através do uso do estereoscópio para as fotografias branco e pretas.

A fotografia multiespectral mostrou-se menos eficiente na extração da rede de drenagem. Por outro lado, ela é mais eficiente na diferenciação das lentes de dolomito, por exemplo, por apresentar uma vegetação mais exuberante, portanto maior reflectância na região do infravermelho.

Os dados e resultados da unidade B (Relevo de Cristas), encontram-se nas Tabelas IV.22 e IV.23.

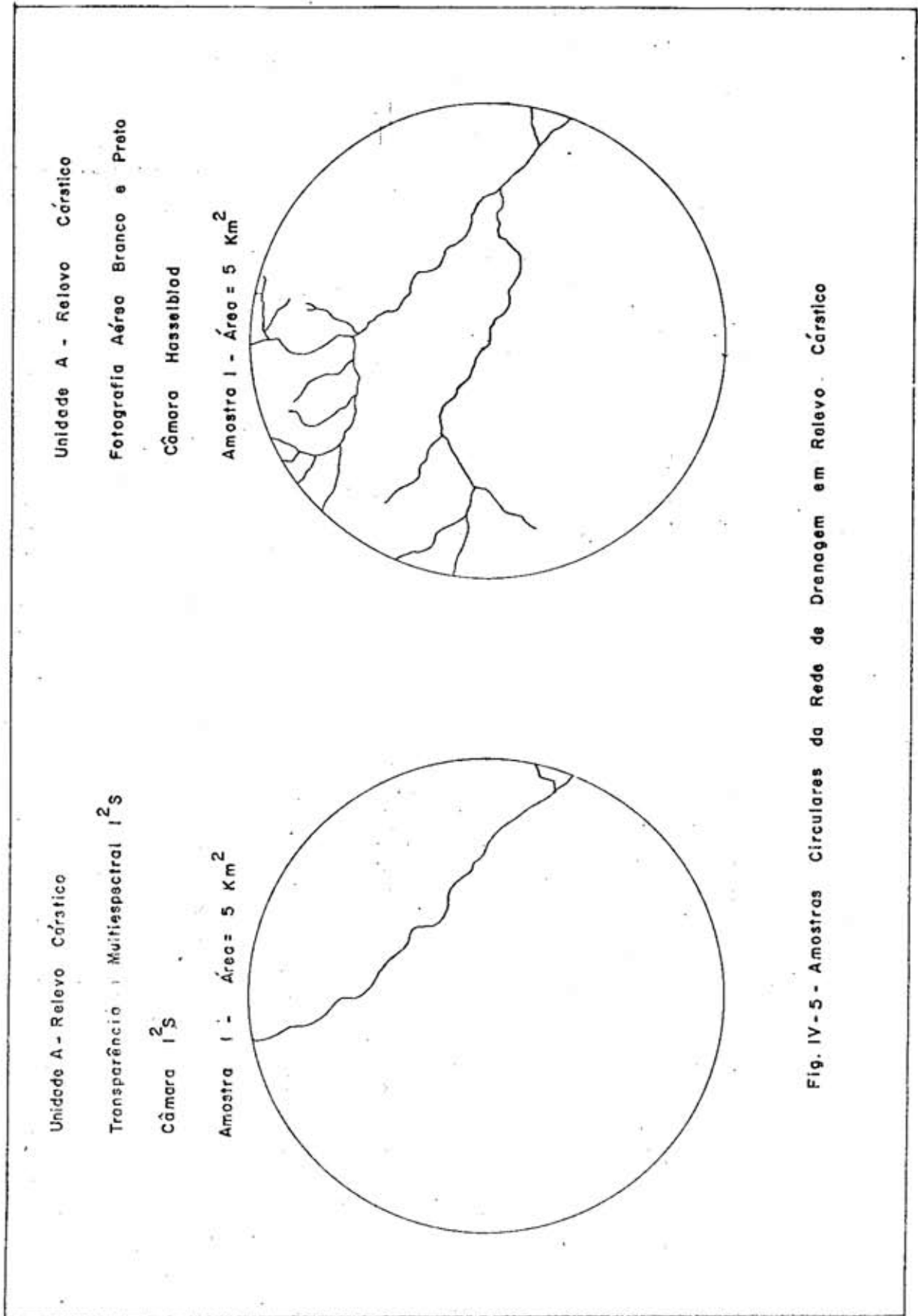


Fig. IV-5 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo Cárstico

TABELA IV.22

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE SENSORES PARA O RELEVO DE CRISTAS

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I <sup>2</sup> S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
B <sub>1</sub>	9,76	8,77
B <sub>2</sub>	11,10	8,81

TABELA IV.23

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE SENSORES FOTOGRÁFICOS NO RELEVO DE CRISTAS

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	1	2,69	2,69	6,11	98,50
Erro	2	0,88	0,44		
TOTAL	3	3,57	-		

Através do Teste F, fica estabelecida a hipótese nula (H<sub>0</sub>) de que os dois tipos de sensores dão a mesma quantidade de informações para a unidade B, de Relevo de Cristas, pois o F<sub>tab.</sub> foi maior do que o F<sub>calc.</sub>

Analisando-se visualmente a Figura IV.6, entre tanto, nota-se que as transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S, fornecem maior quantidade de informações quanto à densidade de drenagem do que as fotografias aéreas branco e pretas. Isso porque nas fotografias aéreas branco e pretas, a drenagem

Unidade B - Relevo do Cristas

Transparencia 2 Multiespectral 1S

Câmara 1<sup>2</sup>S

Amostra 1 - Área = 5 Km<sup>2</sup>



Unidade B - Relevo do Cristas

Fotografia Aérea Branco e Preto

Câmara Hasselblad

Amostra 1 - Área = 5 Km<sup>2</sup>



Fig. IV.6 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo do Cristas



gem é traçada através da mata galeria. No canal 4 das transparências multiespectrais entretanto, a rede de drenagem pode ser traçada através do próprio curso d'água, que nessa faixa apresenta baixa reflectância, aparecendo com cor escura, permitindo um traçado mais detalhado de seu curso.

Os dados e resultados da unidade C (Relevo de Colinas), encontram-se nas Tabelas IV.24 e IV.25.

TABELA IV.24

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE SENSORES PARA O RELEVO DE COLINAS

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I <sup>2</sup> S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
C <sub>1</sub>	10,96	11,81
C <sub>2</sub>	11,25	12,22
C <sub>3</sub>	11,00	10,49

TABELA IV.25

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE SENSORES FOTOGRÁFICOS NO RELEVO DE COLINAS

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	1	0,28	0,28		
Erro	4	1,68	0,42	0,66	21,20
TOTAL	5	1,96	-		

Pelo teste F (distribuição devida a Fisher), fica estabelecida a hipótese Nula ( $H_0$ ) de que os dois tipos de sensores dão a mesma quantidade de informações para a área de Relevo de Colinas, pois o  $F_{calc.}$  foi menor do que o  $F_{tab.}$

Analisando-se visualmente as amostras dessa unidade (Figura IV.7), nota-se que realmente não há grandes diferenças entre as fotografias branco e pretas e as multispectrais I<sup>2</sup>S quanto à densidade de drenagem. O único aspecto que indica uma diferença é que na fotografia multiespectral, o traçado da rede de drenagem é mais detalhado, o que é evidenciado através da quantidade de curvas apresentadas ao longo do canal principal.

Nessa unidade, os canais são bem marcados na topografia e possuem mata galeria que os acompanha desde os canais de pequena ordem até os principais. Esse aspecto facilita a identificação da rede de drenagem tanto em um tipo de fotografia quanto em outro: através das transparências multiespectrais, a drenagem pode ser traçada através dos cursos d'água, que apresentam baixa reflectância no infravermelho, e através das fotografias branco e pretas, tem-se evidenciados os entalhamentos dos canais, devido ao princípio da estereoscopia.

#### 4.4 - UTILIZAÇÃO DE DADOS DO LANDSAT NA COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A análise das amostras circulares extraídas do sensor orbital LANDSAT, teve como objetivo constatar a divisão do relevo em três unidades distintas, verificando, assim, qual o nível de detalhe a que se pode chegar através das imagens LANDSAT em geomorfologia.

Unidade C - Relevo de Colinas

Fotografia Aérea Branco e Preto

Câmara Hasselblad

Amostra 1 - Área: 5 Km<sup>2</sup>



Unidade C - Relevo de Colinas

Transparencia Multiespectral I<sup>2</sup>S

Câmara I<sup>2</sup>S

Amostra 1 - Área: 5 Km<sup>2</sup>



Fig. IV-7 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo de Colinas

Os dados coletados e os resultados obtidos en contram-se nas Tabelas IV.26 e IV.27.

TABELA IV.26

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM OBTIDOS ATRAVÉS DE IMAGENS  
LANDSAT PARA AS TRÊS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA

AMOSTRAS	RELEVO CARSTICO (UNIDADE A)	RELEVO DE CRISTAS (UNIDADE B)	RELEVO DE COLINAS (UNIDADE C)
1	0,90	1,40	2,12
2	0,37	1,70	2,15
3	0,00	-	1,80

TABELA IV.27

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS TRÊS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS  
DA ÁREA ATRAVÉS DOS ÍNDICES DE DENSIDADE D: DRENAGEM

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (Nível 0,01)
Tratamentos	2	4,0	2,0		
Erro	5	0,52	0,18	20,0**	13,27
TOTAL	7	4,52	-		

\*\* Significante ao nível de 0,01

Tem-se assim, que há diferenças significativas entre as unidades geomorfológicas. Foi feito, então, o teste da Menor Diferença Significativa (M.D.S.), cujos resulta

dos encontram-se na Tabela IV.28. Esse teste permitiu verificar se existiam unidades que podiam ser agrupadas ou se cada uma formava uma classe separadamente.

TABELA IV.28

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE AS TRÊS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

UNIDADES		M.D.S.
A 0,42	B 1,55	1,16
A 0,42	C 2,02	1,04
B 1,55	C 2,02	1,16

Os resultados mostraram que as unidades que podem ser discriminadas das imagens LANDSAT são a de Relevo Cárstico (A) e a de Relevo de Colinas (C). A unidade correspondente ao Relevo de Cristas (B), grupa-se tanto com a unidade A quanto com a unidade C, portanto, ela não pôde ser discriminada.

Portanto, o que se conseguiu separar através das imagens orbitais, foi uma área com alta densidade de drenagem, correspondente ao Relevo de Colinas e uma área de baixa densidade de drenagem, correspondente ao Relevo Cárstico. Isso é bem evidenciado nas amostras circulares da Figura IV.8.

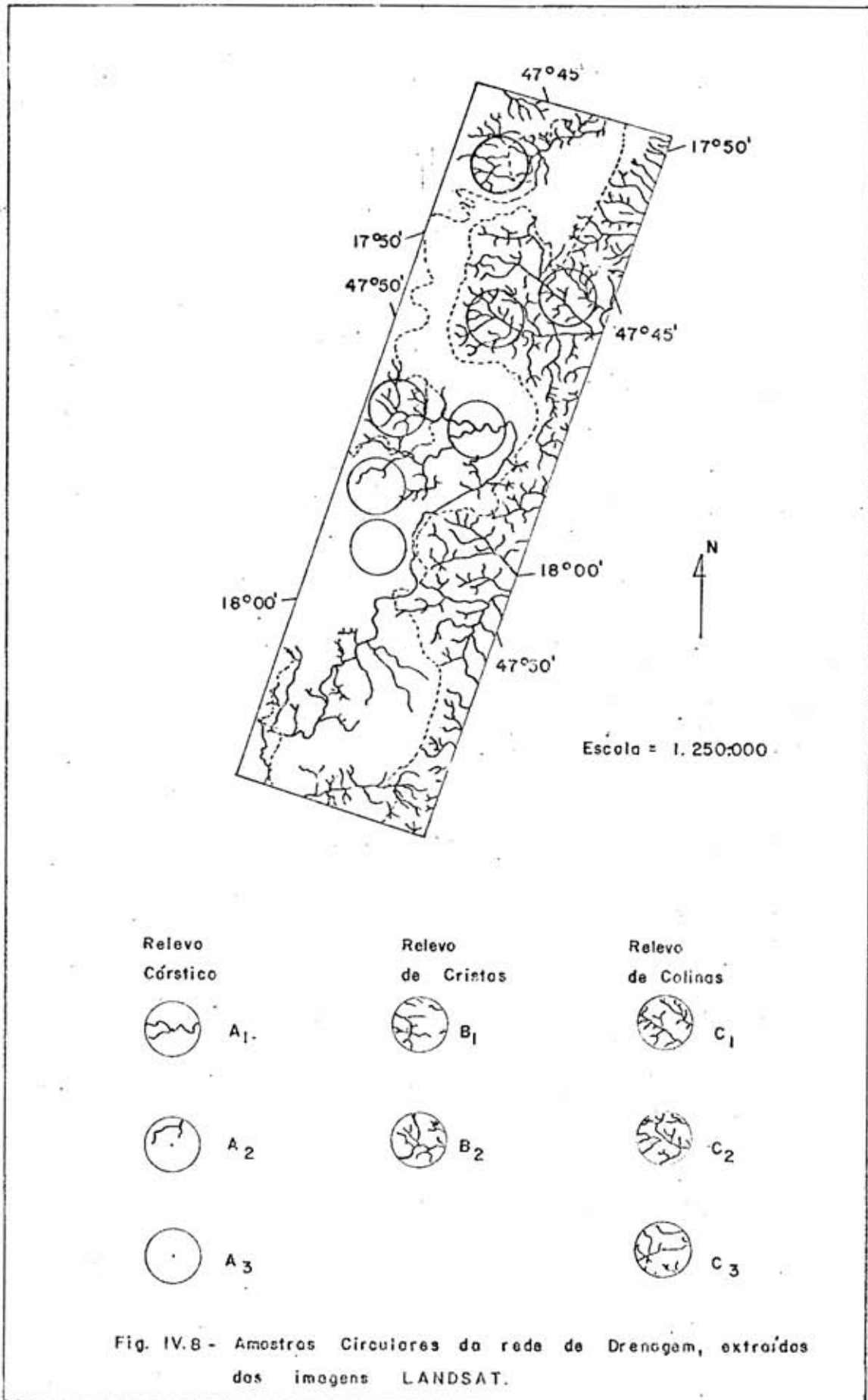


Fig. IV.8 - Amostras Circulares da rede de Drenagem, extraídas dos imagens LANDSAT.

#### 4.5 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A escolha da melhor superfície de ajuste foi feita segundo o método de Davis (1973), em que ele propõe que seja feita análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, verificando, assim, se há diferenças significativas entre as superfícies de grau maior e de grau menor.

Foi feita, então, a análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, desde o grau 1 até o grau 8. Os resultados encontram-se nas Tabelas IV.29, IV.30, IV.31 e IV.32, que representam apenas a escolha da melhor superfície de ajuste.

TABELA IV.29

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 8 E DE GRAU 7 PARA A VARIÁVEL ALTITUDE

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 8	837528,03	44		
Desvio do Polinômio de Grau 8	196441,82	254	773,39	
Regressão do Polinômio Grau 7	826919,64	35		
Desvio do Polinômio de Grau 7	207049,51	263		
Regressão devido ao aumento do Grau 7 para o Grau 8	10608,39	9	1178,71	1,52

$$F_{\text{tab.}} = 2,34$$

$F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$ , portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.

TABELA IV.30

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 6 E DE GRAU 5 PARA A VARIÁVEL AMPLITUDE

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 6	204834,36	35		
Desvio do Polinômio de Grau 6	495130,78	263	1882,62	
Regressão do Polinômio de Grau 5	171405,86	27		
Desvio do Polinômio de Grau 5	528559,34	272		
Regressão devido ao aumento do Grau 5 para o Grau 6	33428,5	8	4178,56	2,21

$$F_{\text{tab.}} = 2,51$$

$F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$ , portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.



TABELA IV.31

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 7 E  
GRAU 6 PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 7	515,19	35		
Desvio do Polinômio de Grau 7	772,83	213	3,62	
Regressão do Polinômio de Grau 6	450,40	27		
Desvio do Polinômio de Grau 6	837,61	222		
Regressão devido ao aumento do Grau 6 para o Grau 7	64,79	8	8,09	2,23

$$F_{\text{tab.}} = 2,51$$

$F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$ , portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.



resíduos. Desses perfis escolheu-se um para cada variável, como exemplo (Figuras IV.9 e IV.10).

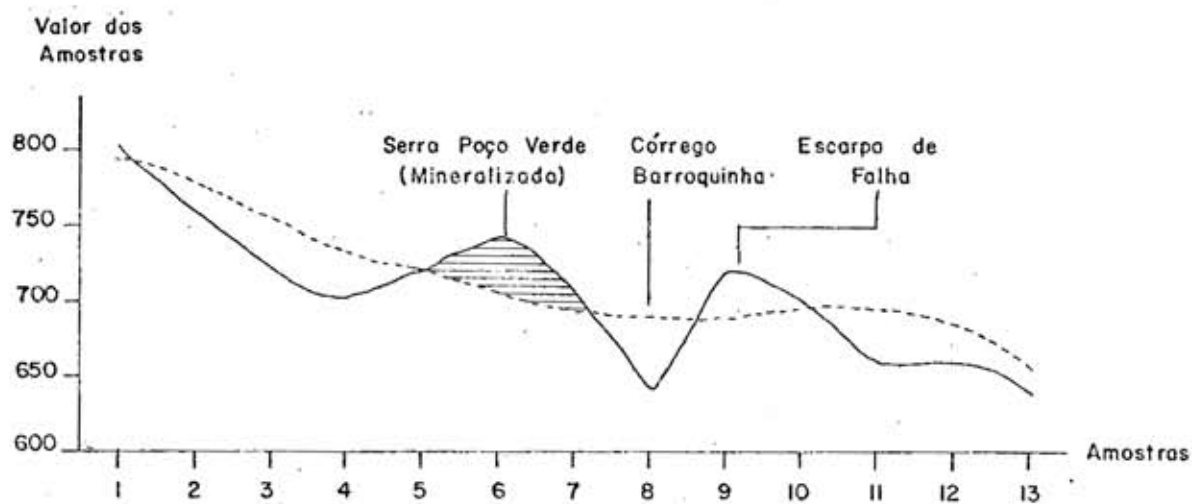
Os mapas de superfície de tendência para cada variável são mostrados nas Figuras IV.11, IV.12, IV.13 e IV.14.

O comportamento de cada variável será discutido a seguir:

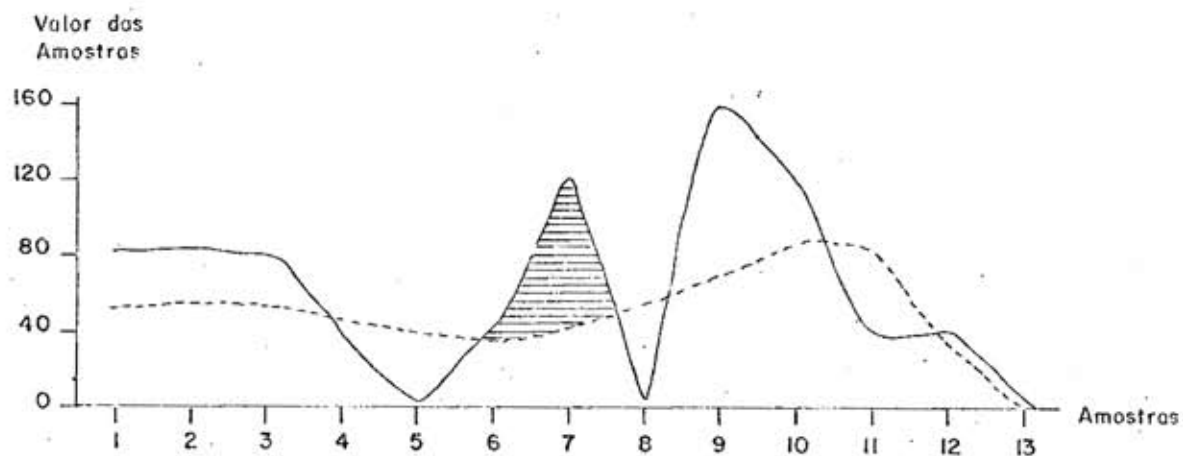
ALTITUDE: Observou-se que, para a variável altitude, todos os resíduos foram positivos na zona mineralizada, isto é, a superfície observada era sempre mais elevada do que a superfície computada (Figura IV.9.A). Isto quer dizer que a zona mineralizada se comporta de maneira anômala com relação aos resíduos observados para a unidade correspondente ao Relevo Cárstico. Este fato é atribuído aos ressaltos topográficos que as Seras Poço Verde, Súcuri e Ouro Podre apresentam numa superfície predominantemente plana. Em outros perfis observou-se que na unidade de Relevo Cárstico, os resíduos positivos correspondem a dolomitos aflorantes à superfície numa cota mais elevada do que observado regionalmente para essa unidade.

A escarpa de falha que limita o Relevo Cárstico do Relevo de Colinas, é outro aspecto de importância na análise do perfil da Figura IV.9.A. Na célula correspondente à amostra número 9, nota-se uma elevação da superfície observada, que não corresponde a uma elevação da superfície computada. Isso acontece justamente devido à presença da escarpa de falha, com as rochas mais resistentes ocupando áreas mais rebaixadas, e as rochas mais tenras ocupando áreas mais elevadas.

Logo a seguir, há uma diminuição da superfície obser



A (Superfície de grau 7)



B (Superfície de grau 6)

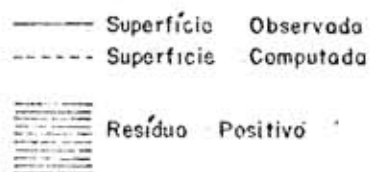


Fig. IV.9 - Perfis dos Resíduos das Variáveis Altitude (A) e Amplitude (B)

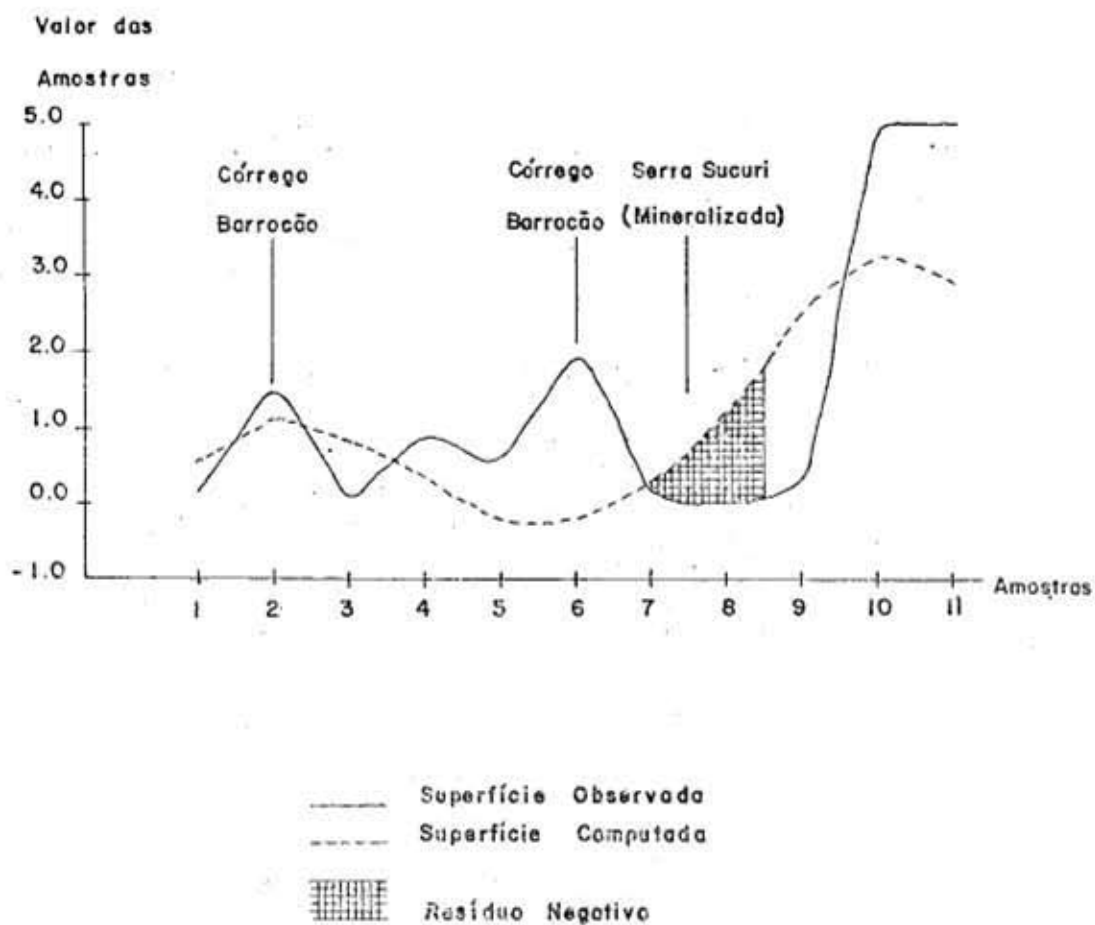
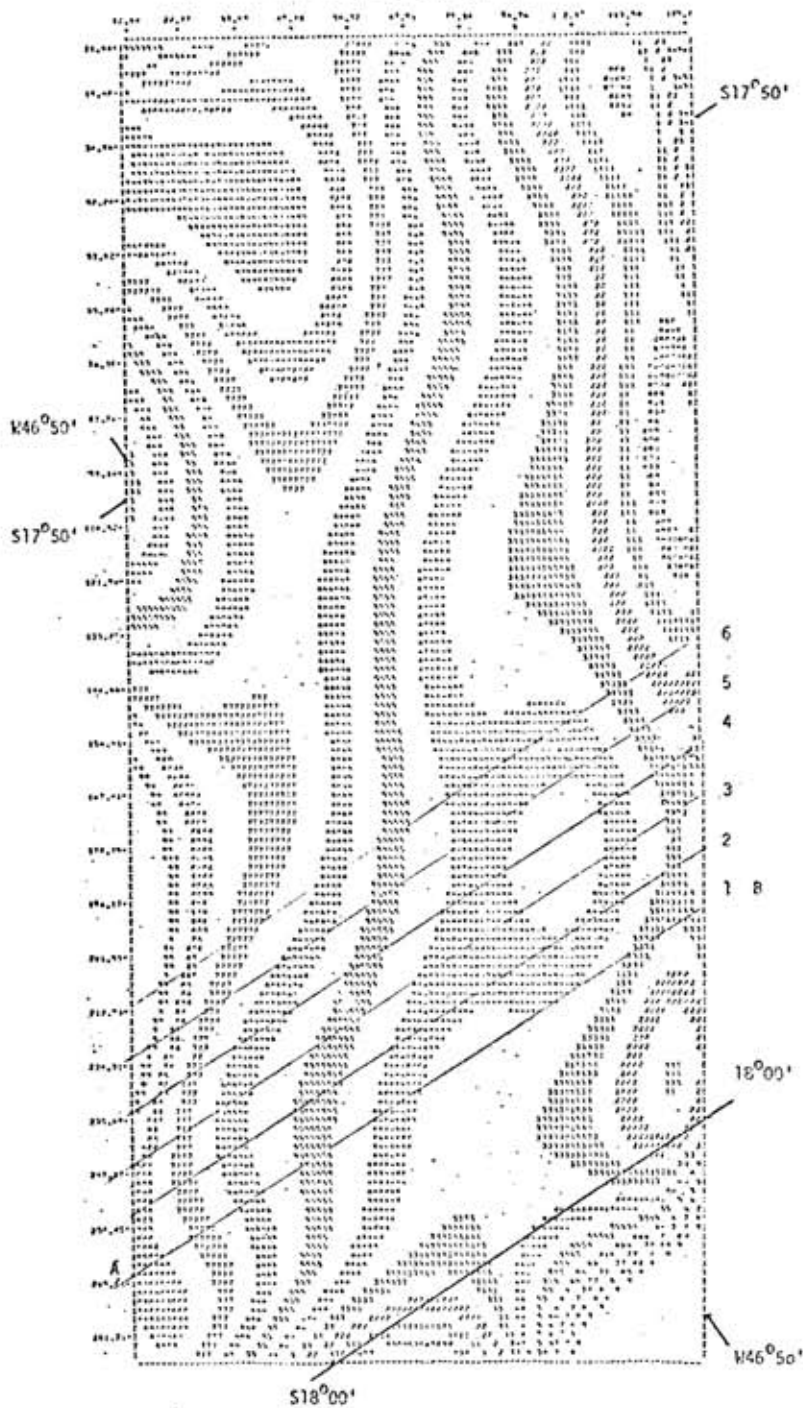


Fig. IV.10 - Perfil dos Resíduos da Variável Densidade de Drenagem (Superfície de grau 6)

## ALTITUDE Superfície de Grau 7



**LEGENDA DO MAPA**

Símbolo	Valor Máximo
0	612.0
	624.0
1	636.0
	648.0
2	660.0
	672.0
3	684.0
	696.0
4	708.0
	720.0
5	732.0
	744.0
6	756.0
	768.0
7	780.0
	792.0
8	804.0
	816.0
9	828.0
	Atem

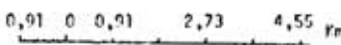
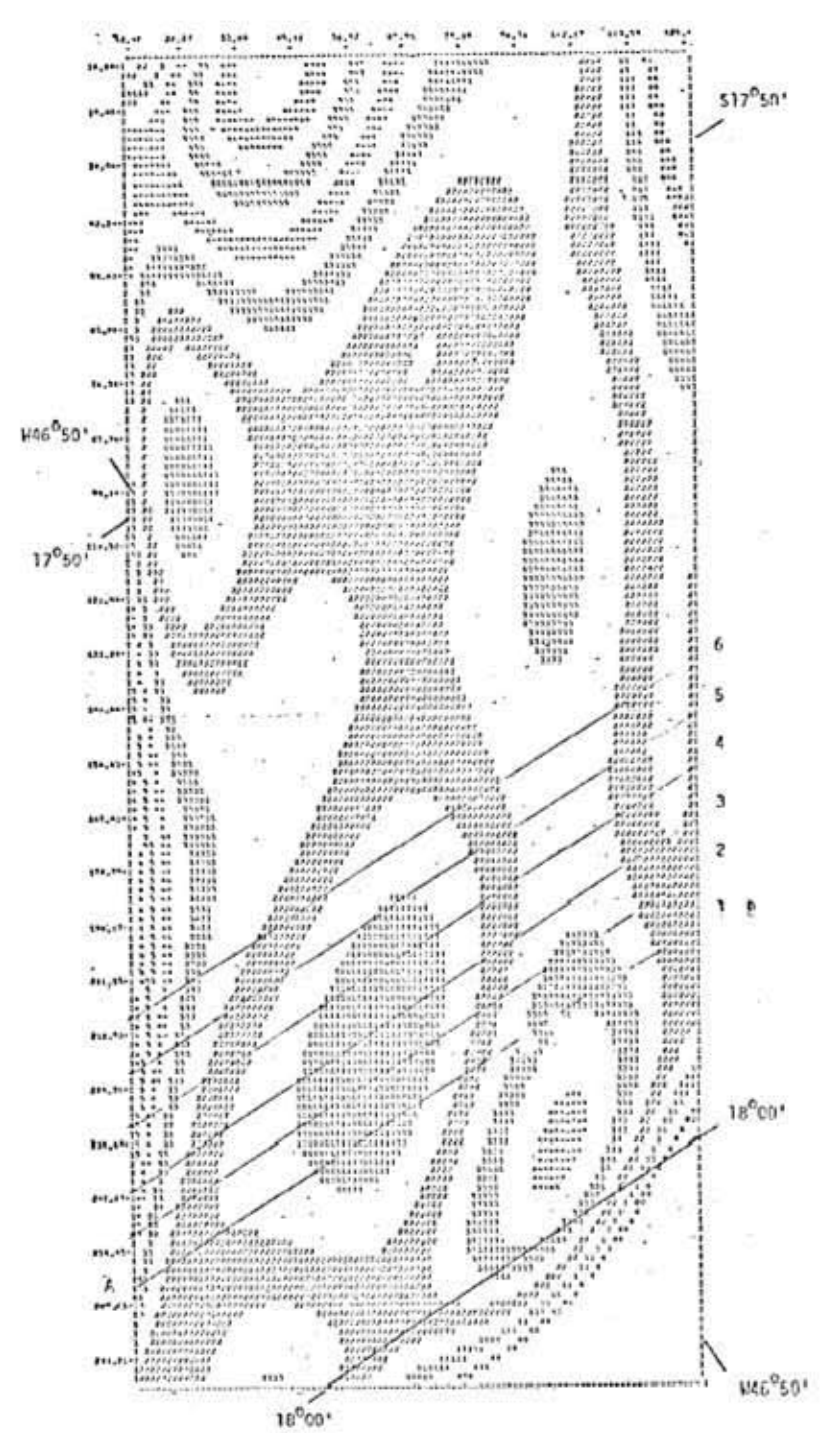


Fig. IV.11 - Mapa de Tendência da Variável Altitude.

Superfície de Grau 6



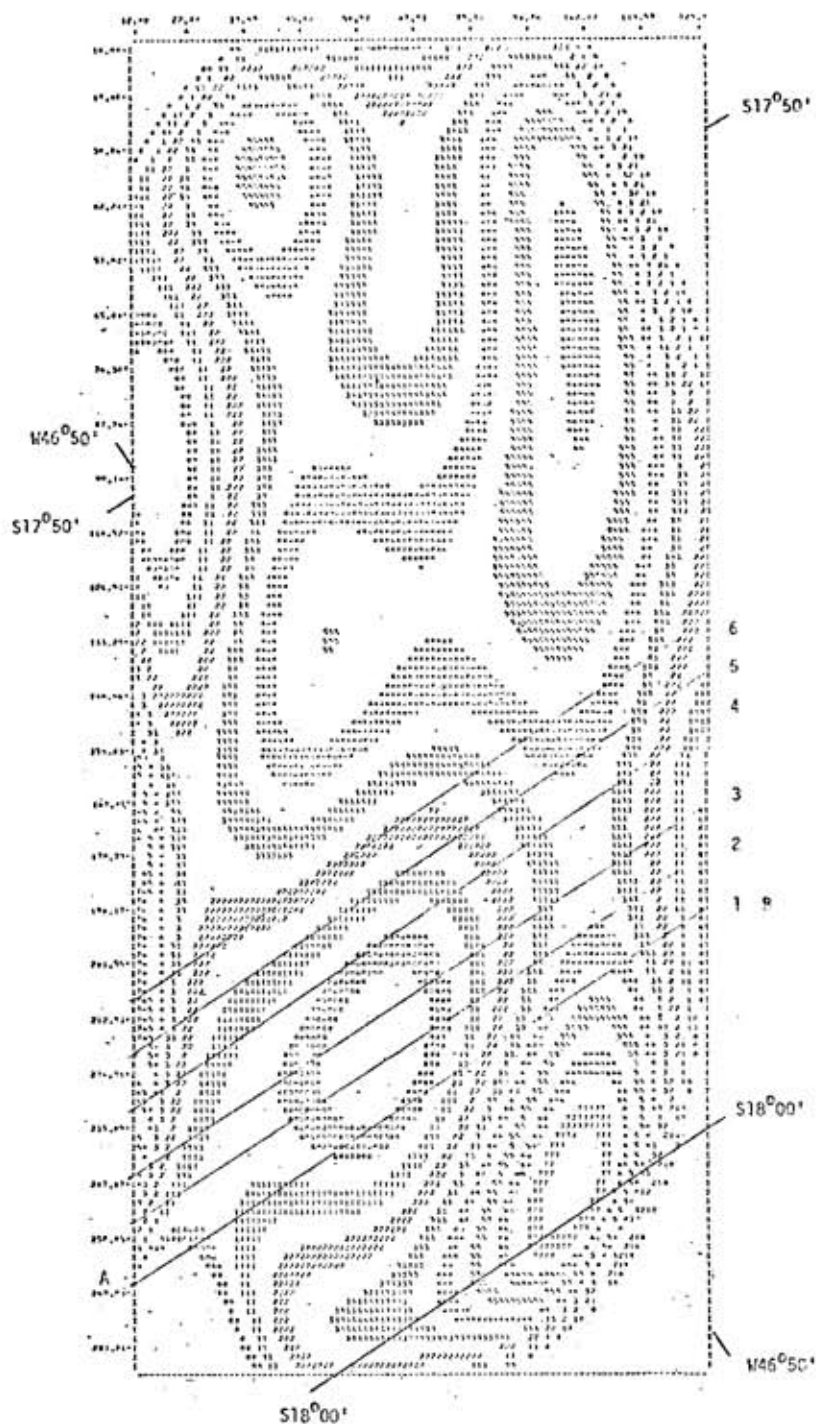
LEGENDA DO MAPA

Símbolo	Valor Máximo
0	12.0
1	24.0
2	36.0
3	48.0
4	60.0
5	72.0
6	84.0
7	96.0
8	108.0
9	120.0

0, 1, 2, 3, 4 km

Fig. IV.12 - Mapa de Tendência da Variável Amplitude.

DENSIDADE DE DRENAGEM - SUPERFÍCIE DE GRAU 6



LEGENDA DO MAPA

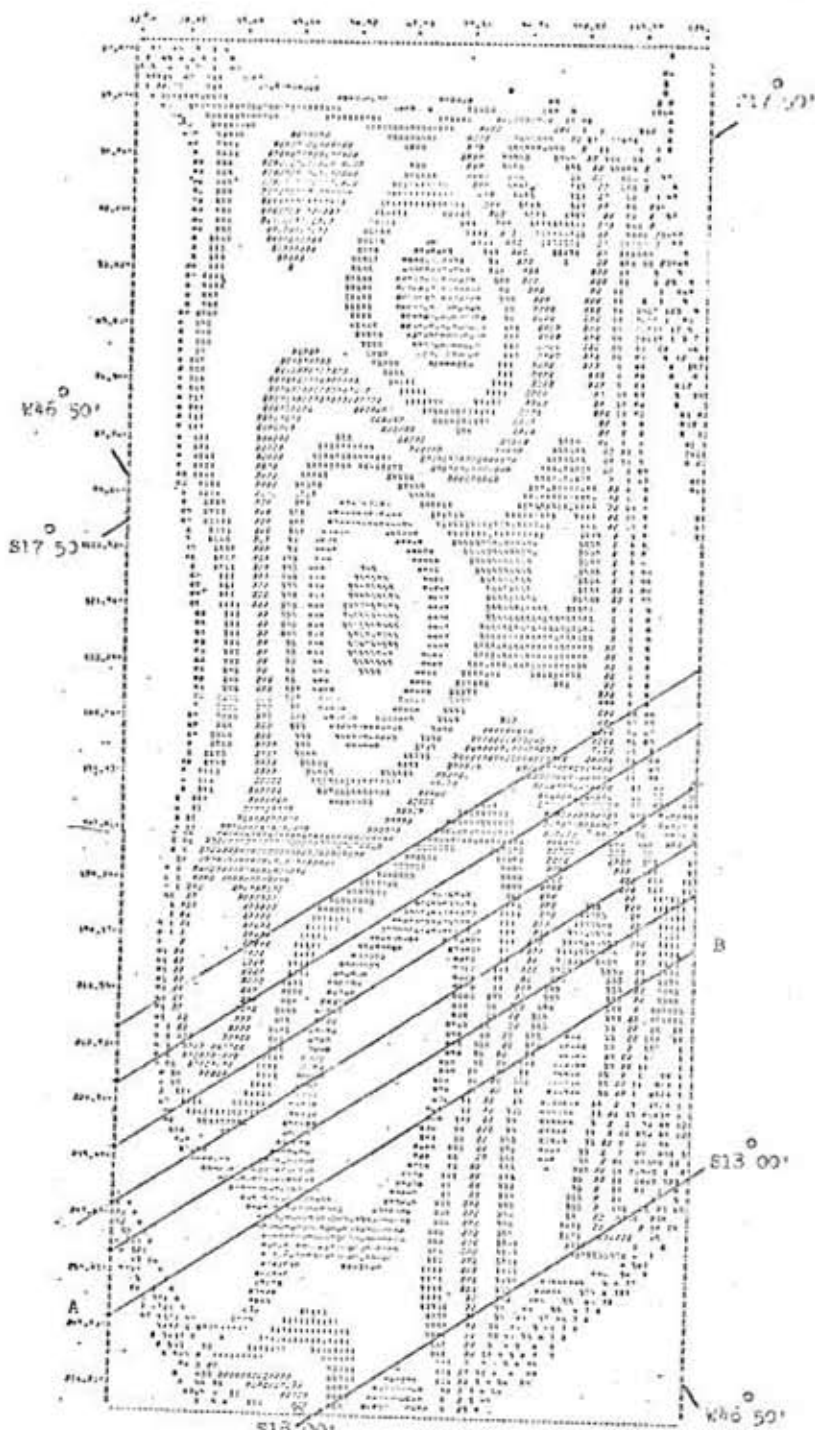
Símbolo	Valor Máximo
0	0,40
	0,80
1	1,20
	1,60
2	2,00
	2,40
3	2,80
	3,20
4	3,60
	4,00
5	4,40
	4,80
6	5,20
	5,60
7	6,00
	6,40
8	7,00
	7,60
9	8,00

0,91 0 0,91 2,73 4,55 Km

Fig. IV.13 - Mapa de Tendência da Variável Densidade de Drenagem.



FREQUÊNCIA DE RIOS - SUPERFÍCIE DE GRAU 8



LEGENDA DO MAPA  
 Símbolo Valor Máximo

0	3.0
	6.0
1	9.0
	12.0
2	15.0
	18.0
3	21.0
	24.0
4	27.0
	30.0
5	33.0
	36.0
6	39.0
	42.0
7	45.0
	48.0
8	51.0
	54.0
9	57.0
	Atém

0.91 0 0.91 1.82 2.73 3.64 4.55 Km

Fig. IV.14 - Mapa de Tendência da Variável Frequência de Rios.

vada com a superfície computada ocupando as cotas mais elevadas. Isso confirma o abaixamento geral dessa unidade de Relevo de Colinas em direção ao vale do Rio Paracatu.

Outro fato a ser analisado no mapa de tendência (Figura IV.11), é o nítido abaixamento das cotas altimétricas de NW para E e SE e de W para E. Esse aspecto também vem confirmar a observação de que a unidade correspondente ao Relevo Cárstico não é a mais deprimida com relação às demais, como se tem a impressão nas fotografias aéreas ou mesmo no campo.

A unidade referente ao Relevo de Cristas é perfeitamente individualizada regionalmente através do comportamento dessa variável, com as mesmas altitudes na parte NW e W da região, cujos valores acham-se representados no mapa de tendência com os símbolos 9 e 8.

AMPLITUDE: Para a variável amplitude, observou-se que todos os resíduos também foram positivos na zona mineralizada, o que pode ser observado na Figura IV.9.B. A superfície observada, em todos os perfis na zona mineralizada foi mais elevada do que a superfície computada, isto é, a zona mineralizada se constitui numa anomalia com relação à tendência regional, para essa variável.

Confrontando-se este perfil com o da variável altitude, nota-se um comportamento semelhante entre as duas variáveis: em ambas a superfície observada é maior do que a superfície computada. Próximo à zona mineralizada, há um rápido abaixamento das amplitudes, correspondente ao vale do Córrego Barroquinha e, a seguir, uma brusca elevação, correspondente à escarpa de falha já mencionada, onde as amplitudes e altitudes são mais elevadas devido ao levantamento das bordas dessa unidade.

de, provocada pela escarpa de falha. As amplitudes tendem a decrescer em direção ao vale do Rio Paracatu, onde há também uma diminuição das altitudes.

O mapa de tendência (Figura IV.12) para essa variável mostra valores elevados na unidade correspondente ao Relevo de Cristas, valores baixos para o Relevo Cárstico, e valores intermediários a baixos na unidade correspondente ao Relevo de Colinas. Esses valores mostram as diferenças de amplitudes que caracterizam cada uma dessas unidades. No Relevo de Cristas, as amplitudes maiores ocorrem devido às escarpas íngremes, formadadas pelas intercalações dos quartzitos e filitos. No Relevo Cárstico, a superfície é plana, com exceção de pequenas "ilhas" de dolomitos ou zonas de falhas (Zona Mineralizada), que se destacam na topografia.

No Relevo de Colinas, há uma diminuição das amplitudes em direção ao vale do Rio Paracatu, a partir da escarpa de falha, onde se observa um aumento tanto das altitudes quanto das amplitudes.

DENSIDADE DE DRENAGEM: Em todos os perfis, observaram-se resíduos negativos na zona mineralizada, mas não consideramos esse índice importante a ponto de definir uma anomalia, já que toda a unidade em que está inserida a zona mineralizada se comporta de modo anômalo com relação às outras unidades.

A superfície observada é maior que a computada somente onde há rios perenes, como é o caso do Córrego Barro cão (Figura IV.10).

Próximo à escarpa de falha, a superfície computada continua mais elevada que a superfície observada, e esse aspecto deve-se ao fato de a maioria dos cursos d'água que nascem na unidade correspondente ao Relevo de Colinas, desapareceram ao atingir a unidade de Relevo Cárstico.

Analisando-se o mapa de tendência da Figura IV.13, tem-se uma confirmação daquilo que é observado em campo: valores elevados no Relevo de Colinas, intermediários no Relevo de Cristas e baixos no Relevo Cárstico.

FREQUÊNCIA DE RIOS: Não se observou um comportamento constante dessa variável com relação à zona mineralizada, pois dos 6 perfis realizados, 3 apresentaram resíduos negativos e os outros 3 apresentaram resíduos positivos.

No entanto, o mapa de tendência evidenciou os três compartimentos geomorfológicos com relação à frequência de rios, cujo comportamento é semelhante ao da densidade de drenagem.

#### 4.6 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZADA

##### 4.6.1 - ANÁLISE VISUAL DE TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELH.

A análise visual das transparências coloridas normais mostrou a dificuldade de separação de litologias. Isto se deve, principalmente, ao fato de que a vegetação que recobre as rochas na região se tornaram um fator preponderante na separação das mesmas, pois a vegetação na faixa espectral do visível não tem uma resposta tão acentuada como na faixa espectral do infravermelho. No entanto, as transparências coloridas infravermelho separaram litologias onde se encontram as mineralizações de zinco e chumbo (dolomitos). Essas transparências, além de permitirem a separação das rochas que se encontram mineralizadas, permitiram também a individualização das zonas mineralizadas (minério oxidado), evidenciadas no Apêndice D.

As zonas mineralizadas em zinco, no Morro La pa Nova e Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, aparecem nas transparências coloridas infravermelho com uma cor verde azulada (Figura IV.15), devido à diminuição da resposta espectral na região do infravermelho. São faixas descontínuas, alinhadas em direção NE (concordantes com a zona de falha), e que foram delimitadas devido à existência de diferentes comunidades de plantas nas zonas mineralizadas e fora delas. Onde a vegetação se constitui de uma comunidade de árvores mais altas e densas, obteve-se uma tonalidade vermelha, que denota uma alta reflectância espectral. Nas zonas mineralizadas, há um predomínio de gramíneas, que apresentam uma resposta espectral menos acentuada na região do infravermelho, como mostra a cor verde azulada.



Figura IV.15 - Fotografia Colorida Infravermelho, onde a zona mineralizada aparece na cor verde azulada, em faixas descontínuas.

4.6.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS OBTIDOS COM TRANSPARÊNCIAS INFRAVERMELHO COLORIDAS

Os histogramas, obtidos através da classificação automática realizada pelo Sistema Image-100, forneceram as médias dos tons de cinza das transparências infravermelho coloridas. Foi feita, então, a análise de variância entre a zona mineralizada e a zona não mineralizada, para cada canal, com o objetivo de testar se havia diferenças estatísticas significativas entre elas. Partiu-se então, da hipótese nula ( $H_0$ ), de que a zona mineralizada e a zona não mineralizada não apresentavam diferenças de tons de cinza para cada um dos quatro canais, portanto, as 32 amostras eram oriundas da mesma população.

Através do teste "t" (distribuição de Student), entretanto, (Tabela IV.33), fica rejeitada a hipótese nula ( $H_0$ ), pois nos quatro canais observou-se um valor de  $t_{calc.}$  maior do que o valor de  $t_{tab.}$ . Conclui-se então, com uma probabilidade de 99,9% que as amostras da zona mineralizada e zona não mineralizada, são oriundas de populações diferentes, cujos resultados não podem ser atribuídos ao acaso.

TABELA IV.33

TESTE DE STUDENT PARA ZONA MINERALIZADA E ZONA NÃO MINERALIZADA

CANAIS	VALOR DE $t_{calc.}$	VALOR DE $t_{tab.}$
CANAL 1 (Filtro Azul)	3,53**	2,95
CANAL 2 (Filtro Vermelho)	5,26**	
CANAL 3 (Filtro Verde)	7,11**	
CANAL 4 (Sem Filtro)	6,12**	

\*\* Significante ao nível de 0,01, com 15 Graus de Liberdade

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Com as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S, foi possível a separação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba.
- A análise das imagens contidas nas fitas CCT's e mostradas através do Sistema Image-100, auxiliaram as interpretações estruturais, por fornecerem uma visão global da área mapeada.
- A utilização da câmara Hasselblad com filme Plus - X Aerographic para levantamentos aerofotográficos com fins geológicos, permite uma ampliação de três vezes os dados originais obtidos, sem perda de informações, e facilitando a fotointerpretação
- As transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S, auxiliam as interpretações estruturais na identificação de fraturamentos e falhamentos relacionados a zonas de maior umidade (sem contudo dispensar a utilização do estereocópio nas interpretações das fotografias aéreas branco e pretas).
- O canal 4 (infravermelho) das transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S e as transparências coloridas infravermelho permitem a separação dos dolomitos, que são as rochas condicionantes das mineralizações primárias de zinco e chumbo na Formação Paraopeba, ou Sub-Grupo Paraopeba, do Grupo Bambuí.
- As transparências coloridas infravermelho são uma

ferramenta bastante útil na prospecção de minerais, quando existem mudanças de vegetação relacionadas à toxidez de metais, como verificado em Vazante, M.G.

- A classificação automática de zonas mineralizadas em zinco, identificadas previamente por análise visual em transparências coloridas infravermelho, foi confirmada estatisticamente através das médias dos tons de cinza de cada canal: canal 1 (filtro azul), canal 2 (filtro vermelho), canal 3 (filtro verde) e canal 4 (sem filtro), a um nível de significância de 0,01.
- A utilização de fotografias aéreas branco e pretas e transparências coloridas infravermelho é a combinação ideal para mapeamentos geológicos na Formação Paraopeba, ou Sub-Grupo Paraopeba, do Grupo Bambuí, visando a prospecção de minerais de zinco e chumbo.
- Um mapeamento geológico na escala 1:50.000, de toda a faixa ocidental do Grupo Bambuí, é necessário para definir as relações entre as unidades que compõem a Formação Paraopeba, que possivelmente seriam definidas como Formações que compoem o Grupo Paraopeba, do Super Grupo Bambuí, como é sugerido por Ladeira e Loczy (1975), ou Sub-Grupo Paraopeba. Definiria, também, as relações existentes entre litologias com variações faciológicas e metamórficas que são consideradas do Grupo Canastra, e possivelmente seria a base do Grupo Bambuí.
- As variáveis morfométricas discriminatórias para as três unidades litológicas da Formação Paraopeba são: densidade de drenagem e frequência de rios (extraídas de fotografias aéreas), e altitude e amplitude (extraídas de carta topográfica).



- Variáveis relacionadas à rede de drenagem de carta topográfica na escala 1:100.000, não permitiram a separação de unidades litológicas pois devido ao problema da estética cartográfica, é mantida a homogeneidade da rede de drenagem.
- A amostragem em grade de 1cm x 1cm para a variável concavidade x convexidade, não foi eficiente, pois, na natureza, as vertentes não têm um padrão homogêneo de distribuição.
- Quanto maior o número de rios de primeira ordem de uma unidade menor é o grau de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios.
- A análise estatística dos dados morfométricos obtidos a partir de fotografias aéreas branco e pretas e carta topográfica, permitiu a compartimentação geomorfológica da área em três unidades: Relevo Cárstico, Relevo de Cristas e Relevo de Coínas.
- Em áreas de Relevo Cárstico, há necessidade de se utilizar as fotografias aéreas pancromáticas, que permitem o uso do estereoscópio, pois geralmente são áreas planas, cujos canais intermitentes só podem ser identificados pela diferença de altitude.
- Em áreas de Relevo de Cristas, onde a rede de drenagem é condicionada a elas, as transparências multi-espectrais são mais eficientes do que as fotografias branco e pretas.
- Se aumentar o número de amostras circulares no estudo da rede de drenagem, provavelmente haverá diferenças estatísticas significativas entre os dois tipos de sensores.

- O Relevo de Colinas, com um padrão de drenagem den  
drítico, caracteriza-se, principalmente, por um baixi  
co coeficiente de correlação entre densidade de drena  
gem e frequência de rios.
- O coeficiente de correlação entre altitude e amplitude  
de pode definir um relevo de cristas, mas não defini  
ne áreas planas com alguns ressaltos topográficos,  
como é o caso do Relevo Cárstico.
- A análise dos resíduos da superfície de tendência  
mostrou anomalias com relação às variáveis altitude,  
amplitude e densidade de drenagem, na Serra Poço Verde  
(mineralizada), e na escarpa de falha, que separa  
o Relevo Cárstico do Relevo de Colinas.
- A utilização de imagens LANDSAT na escala 1:250.000,  
com base na análise da drenagem, permitiu a separação  
de duas das três unidades geomorfológicas indivi  
dualizadas através de fotografias aéreas branco e  
pretas e transparências multiespectrais I<sup>2</sup>S.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às seguintes pessoas:

Dr. Nelson de Jesus Parada  
Dr. Claudio Roland Sonnenburg  
Rene Antonio Novaes  
Dr. Gilberto Amaral  
Dr. Adilson Avansi de Abreu  
Dr. Marcel Auguste Dardenne  
Armando Pacheco dos Santos  
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo  
Carmem Nunes Guimarães Leite  
Sherry Chou Chen  
José Carlos Moreira



## BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N. Províncias Geológicas e domínio morfoclimático no Brasil. *Geomorfologia*, SV(SF), 1970.
- ALDRICH, R.C. Forestry applications of 70 mm color *Photogrametric Engineering*, 32: 802 - 810, 1966.
- ALMEIDA, F.F.M. Geochronological Division of the Precambrian of South América. *Revista Brasileira de Geociências*, 1 (1): 13 - 21, 1971.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUY, Y. Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 19 (1), 1970.
- ALLUM, J.A.E. Consideration of the relative values of true and infrared color aerial photography for geological purposes. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, 79 (B): 76 - 87, 1970.
- AMARAL, G. Geologia e Depósitos Minerais da Região de Vazante, Estado de Minas Gerais. *Tese de Doutorado em Geologia*. São Paulo, USP, 1968 a.
- . Contribuição ao Conhecimento dos depósitos de Zn-Pb-Cu-Ag da Serra do Poço Verde, Vazante, Estado de Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22º Belo Horizonte, 1968 b Anais p. 13 - 31.
- . Teste de Análise de Superfície de Tendência para Distribuições Aleatórias. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29º, Ouro Preto, 1976. Resumo dos Trabalhos p. 74.

- \_\_\_\_\_. *Condicionamento Geológico das Ocorrências de Chumbo e Zinco Encaixadas no Grupo Bambuí*. São José dos Campos, INPE, Ago. 1976 (INPE 934 - NTE/068).
- \_\_\_\_\_; MATTOS, J.T.; ALMEIDA FILHO, R.; CUNHA, R.P.; PARADILLA, W.R. *Carta Geológica ao Milionésimo da Folha de Belo Horizonte com base na interpretação de imagens LANDSAT*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29<sup>o</sup>, 1976. Inédito.
- BARBOSA, G.V. *Esboço Geomorfológico do Estado de Minas Gerais*. In: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS (BDMG) *Diagnóstico da Economia Mineira - Espaço Natural*, Belo Horizonte, 1967 (anexo volume 2).
- BEURLEN, H. *Sobre a Origem Singenético-sinsedimentar de alguns corpos Mineralizados em Chumbo, Zinco e Fluorita no Grupo Bambuí e Dispersão Primária dos Elementos Mineralizantes*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28<sup>o</sup>, Porto Alegre, 1974. *Resumo das Comunicações*. P. 165 - 169.
- BRANCO, J.J.R. *Principais Ocorrências de Zinco em Minas Gerais*. SICEG - II Semana de Estudos de Alumínio e Zinco. 2: 149 - 184, 1962.
- BRAUN, O.P.G. *Contribuição à Estratigrafia do Grupo Bambuí*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22<sup>o</sup>, Belo Horizonte, 1968. *Anais* p. 155 - 160.
- BRITO NEVES, B.B. *Síntese da Geologia e bibliografia das coberturas dobradas Pré-Silurianas*. In: *Simpósio Geológico do Nordeste*, 5<sup>o</sup>, Recife, 1971 (Bol. Esp. n<sup>o</sup> 2).
- CAMPANHA, G.A.C. *Bioestratigrafia do Pré-Cambriano*. São Paulo, USP, Instituto de Geociências, 1977. (Seminário

apresentado na disciplina Seminários Gerais do Curso de Pós-Graduação).

CARRARO, C.C. *Reconhecimento de Rocha Mineralizada nas Transparências Falsa Cor de Vazante - MG.* São José dos Campos, INPE, jan., 1973 (INPE - 282 - RI/71).

CARVALHO, P.; DEQUECH, D.; GUIMARÃES, D. *Jazida plumbo-zincoífera do Município de Vazante, Minas Gerais.* Rio de Janeiro, DNPM, 1962 (Boletim nº 110).

CASSEDANNE, J. *Mineralizações de Chumbo e Zinco do Brasil, CAEG - II Semana de Debates Geológicos,* 130 - 203, 1966.

———. *Nota sobre o ambiente de sedimentação das rochas encaixando a mineralização de Vazante (MG).* In: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, 22º, Belo Horizonte, 1968* Anais p. 33 - 40.

CLARKE, J.I. *Morfometry from Maps.* In: *DRURY, G.H. Essays in Geomorphology.* New York, Elsevier, 1966. p. 235 - 271.

CHEN, S.C.; NASCIMENTO, F.S. *Sensoriamento Remoto aplicado à Prospecção de Minerais de Zinco no Grupo Bambuí, baseado em Estudos Geobotânicos.* São José dos Campos, INPE, out. 1976. (INPE - 951 - PE/1042).

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas.* *Notícia Geomorfológica, 9* (18): 35 - 64, dez. 1969.

———. *Contribuições sobre Morfologia Clássica.* *Notícia Geomorfológica, 12* (24): 95 - 100, dez, 1972.

———. *Geomorfologia*. São Paulo, USP, 1974.

COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G.; VALENÇA, J.G.; STEVENAZZI, V.  
Novos conceitos sobre o Grupo Bambuí e sua divisão Tecto-  
nogrupos. *Boletim Geológico do Instituto de Geociências  
da U.F.R.J.* (5): 3 - 34, 1970.

COSTA, M.T.; BRANCO, J.J.R. Roteiro para excursão Belo Ho-  
rizonte - Brasília. *Instituto de Pesquisas Radioativas  
de Belo Horizonte*, (15): 9 - 68, 1961.

COLE & KING *Quantitative Geography: Techniques and theo-  
ries in Geography*. London, John Wiley & Sons, 1969.

DARDENNE, M.A.. Os recifes algais de Vazante (M.G., Brasil).  
In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 26º, Belém, 1972.  
(Boletim Especial nº 1, p. 247).

———. Geologia da Região de Vazante (Minas Gerais, Bra-  
sil). In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 28º, Porto  
Alegre, out. 1974. Resumo das Comunicações. p.182-185.

———. *Mapa Geológico da região de Vazante e Paracatu*.  
Trabalho de Tese de Estado a ser apresentado em outubro  
de 1977.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DO SERVIÇO PÚBLICO (DASP) *Re-  
latório Técnico sobre a Nova Capital da República*. Rio  
de Janeiro, 1956.

DERBY, O.A. *The Serra do Espinhaço* *Journal Geology*. 14:  
374 - 401.

DERRUU, M. *Precis de Geomorphologie*. Paris, Masson et  
Cie, 1962.



DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) *A indústria do zinco no Brasil*. Rio de Janeiro, 1964 (Relatório 222).

———. *Anuário Mineral Brasileiro*. Brasília, 1975.

DOORNKAMP, J.C. Trend Surface Analysis of planation surfaces, with an East African case study. In: CHORLEY, R.J. *Spatial Analysis in Geomorphology* London, 1972 cap. 9, p. 247 - 281.

———; LING, C.A.M. Basin Morphometry and Morphological Regions. In: ARNOLD, E. *Numerical Analysis in Geomorphology: an Introduction* London, 1971. Cap. 5, p. 96 - 111.

EVANS, I.S. Some problems of sampling spatial distribution. In: GARNER, B.J. *Area 1* (1): 40, 1969 b.

———. General Geomorphometry, Derivatives of altitude, and Descriptive Statistics. In: CHORLEY, R.J.; HAGGET, P. *Spatial Analysis in Geomorphology*. London, 1972. Cap. 2, p. 17 - 90.

EVANS, R.M. *An Introduction to color*. New York, John Wiley, 1948.

FRANÇA, G.V. *Interpretação Fotográfica de Bacias e Redes de Drenagem aplicada a solos da Região de Piracicaba*. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ, 1965.

FREYBERG, B.V. Resultados das pesquisas geológicas em Minas Gerais, Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Geologia 299, Rio de Janeiro, 1965*. Simpósio das Formações Eo-paleozóicas do Brasil, p. 1 - 222.

- FREITAS, R.O. de. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*, 11: 53 - 57, 1952.
- FULFARO, J.V.; AMARAL, G. Trend Surface Analysis das areias da praia do Tenório, Ubatuba, S.P. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24<sup>o</sup>, Brasília, 1970 Anais p. 299 - 312.
- GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, B.A.; LANDIN, P.M. Relações entre dados morfométricos de drenagens. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24<sup>o</sup>. Brasília, 1970 Anais p. 307 - 312.
- GAUSSEN, H.; BAGNOULS, J. Saison sèche et Indice Xerothermique. *Bulletim de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 88: 193 - 293, 1953.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY *Image 100 Interactive Multispectral Image Analysis Sistem: Users Manual* Daytona, 1975.
- GERARDI, L.H.O.; SANCHES, M.C. Considerações sobre Aplicação de Análise das Superfícies de Tendência em Geografia *Boletim de Geografia Teorética*, 5 (9 - 10): 63 - 82, 1975.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. *Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological approach*. London, Edward Arnold, 1973.
- GUERRA, A.T. *Dicionário Geológico-Geomorfológico* 4. ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1972 (Série A - Biblioteca Geográfica Brasileira, 21).
- GUIMARÃES, D. Gênese do minério de zinco de Vazante: Minas Gerais *SICEG - II Semana de Estudos de Alumínio e Zinco*. 21: 101 - 147, 1962.

- HEINECK, C.A.; HECHT, C.; MELLO, F.J.; OLIVEIRA, J.J.C.  
*Projeto Geoquímica do Bambuí: Áreas Piloto* Belo Horizonte, CPRM/DNPM, 1975.
- HELLER, R.C. Imaging with photographic sensor. In: HOLTER, M.R. *Remote Sensing, with special reference to agriculture*. Washington, Nat. Acad. Sci., 1970 p. 35 - 72.
- HORTON, R.E. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*, 13: 350 - 361, 1932.
- . Erosional Development of Streams and their drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bull Geol. Soc. Amer.*, 56: 275 - 370, 1945.
- KAZANSKY, V.Y.; TERYTYEV, V.M. Boundary Zones of activated platforms and their metallogeny. *International Geology Review*, 11 (2): 179 - 193, 1969.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originais do arenito Bauru*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976 (INPE - 898 - TPT/029).
- LADEIRA, E.A.; LOCZY, L. *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*. São Paulo, Edgard Blucher, 1975.
- LADEIRA, E.A.; SALOMÃO, E.P. O cavalgamento do Bordo Ocidental da Bacia Bambuí. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 27<sup>o</sup>, Aracaju, 1973*. Boletim Especial nº 1).
- LADEIRA, E.A.; TARCIA, R.R.; CABRAL, J.A.L. Contribuição à Geologia de Vazante. *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*. SV(SF), 1953.

- LEVINE, S.H. Color and black and white negatives for photointerpretation. *Photogrammetric Engineering*, 35: 65 - 69, 1969.
- MARCHESE, H.G. Estromatólitos "Gimnosolenidos" en el lado Oriental de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 4 (4): 257 - 271, 1974.
- MOORE, S.L. Zinc and Cooper Deposits of the area Vazante, Minas Gerais, Brazil. 1956 Inédito.
- MORAES, L.J. Nota preliminar sobre as Jazidas de Zinco, chumbo e Cobre das Serras Poço Verde e Barroco, Município de Vazante: Minas Gerais. 1955 Inédito.
- NASCIMENTO, F.S.; NASCIMENTO, M.A.L.S.; CHEN, S.C.; MARTELETTO, M. *Trabalho de Campo em Vazante, Estado de Minas Gerais*. São José dos Campos, INPE, Dez., 1976 (INPE - 980 - RVi/026).
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) *Data users Handbook - ERTS* Baltimore, Goddard Space Flight Center, 1972.
- PALESTINO, C.V.B. *Formatação das Fitas CCT e Exemplo de Montagem de Arquivos em Disco para sua Utilização*. São José dos Campos, INPE, março, 1976 (INPE - 845 - NTE/054).
- PENTEADO, M.M. *Fundamentos de Geomorfologia*. Rio de Janeiro, IBGE, 1974. (Biblioteca Geográfica Brasileira, série D.3).
- RAY, G.R.; FISHER, A.W. Quantitative Photography: A Geological Research Tool. *United States Geological Survey*, 26 (1), 1960).

- REEVES, R.G.; ANSON, A.; LANDEN, D. *Manual of Remote Sensing* Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1975.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica*. São Paulo, Nacional, 1975.
- ROBERTSON, J.F. Geology of the Lead-Zinc Deposits in the Município de Januária, State of Minas Gerais, Brazil. *United States Geological Survey*, 1110, 1963.
- ROWAN, Z.C. Near-Infrared iron absorption bands: Application to geologic mapping and mineral exploration. In: *NASA - Earth Resources Program Exploration*, 49, Houston, 1972. V. 3, p. 18.
- SAVIGEAR, R.A.G. Technique and terminology in the investigation of slope forms. In: *Premier Rap. de la Commission pour l'Etude des Versants*. Rio de Janeiro, 1956. p. 66 - 75.
- SOUSA, M.L.P. *Fotointerpretação das redes de drenagem de três solos com horizonte B latossólico ocorrentes no Município de Ponta Grossa, Paraná*. Tese de Mestrado Piracicaba, ESALQ/USP, 1975. 135 P.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and Procedures of statistics with special reference to the Biological sciences*. New York, MC Graw-Hill, 1960.
- STEPHENS, R.R. Comparison of color, color infrared, and panchromatic aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. vol. 42 (10): 1273 - 1277, oct., 1976.
- STRAHLER, A.N. *Physical Geography* New York, John Wiley & Sons, 1951.

- . Quantitative Analysis of watershed Geomorphology  
*Transactions American Geophysical Union*, 38 (6): 913-920.  
Dec., 1957.
- . Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and  
Channel Networks. In: CHOW, V.T. *Handbook of Applied  
Hidrology*. New York, 1964 p. 2.
- THORMAN, C.H.; NAHASS, S. Interpretação estrutural da área  
de Vazante, Minas Gerais, Brasil. In: *Congresso Brasi  
leiro de Geologia*, 28<sup>o</sup>, Porto Alegre, Out. 1974. Resu  
mo das Comunicações p. 173 - 175.
- TRICART, J. *Principes et méthodes de la geomorphologie*. Pa  
ris, Masson et Cie, 1965.
- WELCH, R. Film transparencies vs. Paper Prints *Pho  
togrammetric Engineering*, 34 (5): 490 - 501, Mai., 1968.

## APÊNDICE A

## APÊNDICE B



## APÊNDICE C

## APÊNDICE D