



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO**

**ANÁLISE EVOLUTIVA DA PAISAGEM DA SERRA TEPEQUÉM -  
RORAIMA E O IMPACTO DA ATIVIDADE ANTRÓPICA**

**Tese apresentada por:**

**LUIZA CÂMARA BESERRA NETA**

---

**BELÉM  
2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Beserra Neta, Luiza Câmara

B554a Análise evolutiva da paisagem da serra Tepequém - Roraima e o impacto da atividade antrópica / Luiza Câmara Beserra Neta; Orientador, Marcondes Lima da Costa, Co-orientador Maurício da Silva Borges. – 2007  
190f. : il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

1. Paisagens. 2. Vulnerabilidade erosiva. 3. Voçorocas. 4. Ação antrópica. 5. Serra Tepequém (RR). I. Universidade Federal do Pará. II. Costa, Marcondes Lima da, Orient. III. Borges, Maurício da Silva, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.:363.7098114

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ANÁLISE EVOLUTIVA DA PAISAGEM DA SERRA TEPEQUÉM  
- RORAIMA E O IMPACTO DA ATIVIDADE ANTRÓPICA**

TESE APRESENTADA POR

**LUIZA CÂMARA BESERRA NETA**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em  
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 23 de janeiro de 2008.

Comitê de Tese:

MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)

  
ANTÔNIO JOSÉ TEIXEIRA GUERRA

TERESA GALLOTTI FLORENZANO

CLAUDIO FABIÁN SZLAFSZTEIN

RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA

A Deus que sempre coloca “anjos da guarda” em meu caminho.  
Aos meus pais: José Câmara (*in memoriam*) e Maria da Saete  
irmãos (Fátima, João, Tânia, Júnior, Quilma e Kátia) e a minha  
titia Maria da Glória, pela confiança depositada e estímulo  
contínuo, dedico.



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Roraima pela oportunidade concedida através de seu programa de qualificação do corpo docente.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e apoio financeiro durante todas as etapas deste estudo, através do Programa de Qualificação Institucional – PQI.

À Universidade Federal do Pará através do programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências, pela acolhida e apoio no uso dos laboratórios de Difração de raios X, Gemologia, Sedimentologia, Hidroquímica, Computação Aplicada a Geociências (COMAP) e Microscopia Eletrônica de Varredura.

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA), pela valiosa orientação, amizade e pelos ensinamentos que foram de extrema importância para meu crescimento pessoal e profissional, além do apoio nos trabalhos de campo, muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Maurício da Silva Borges (UFPA), pela co-orientação, discussões e idéias, além da amizade e estímulo na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa, pela coordenação do projeto “Produção do espaço e impactos ambientais no Estado de Roraima” do Programa de Qualificação Institucional (PQI-CAPES) junto à Instituição de origem (UFRR) e apoio na etapa de campo de 2005.

Ao Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior (UFRR), pelas constantes discussões e idéias, além do apoio na elaboração dos mapas no laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Pesquisas em Recursos Naturais (NUREN-UFRR).

Ao SESC-RR, Sr. Kildo de Albuquerque Andrade pela concessão de hospedagem na Estância Ecológica Serra do Tepequém, durante as etapas de campo.

Aos Profs. Msc. Antônio Tolrino Veras e Msc. Rafael da Silva Oliveira do Instituto de Geociências da UFRR, pelo constante incentivo e apoio na etapa de campo de 2006.

Aos Profs. Dr. Marcos Vital e a Msc. Ise de Goreth do Departamento de Biologia da UFRR, pela amizade e apoio na identificação da composição florística da área estudada.

Aos amigos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (UFPA), Mariléia, Ecilene, Patrícia, Henrique, Socorro, Berrêdo, Alciney, Aliane, Mariane, Marlis, Risete, Thaís, Luis Carlos, Rêgo, Gilberto, Carmem e Fernando pelo apoio e agradável convivência durante todos esses anos.

À Osmar Guedes do laboratório de Computação Aplicada a Geociências (COMAP) da UFPA, pela ajuda no aprendizado do aplicativo ArcGIS.

À Roberto Carlos Caleffi (Fotógrafo da UFRR) e Anderson do Nascimento Meneses (aluno de Geografia - UFRR) pela aquisição de imagens fotográficas e apoio durante a etapa de campo de 2005.

À minha grande amiga Lídia Montanha, pela sua amizade, incentivo e hospitalidade em sua casa durante as atividades de campo.

À Kellen Tatiane (Geografia-UFPA), pela amizade e apoio nas atividades realizadas no laboratório de sedimentologia.

Aos moradores da serra Tepequém, em especial, Sr. Luiz Galdino, D. Helena, Sr. Davi e esposa, pelas conversas agradáveis sobre a história e vivência do garimpo da serra Tepequém.

## RESUMO

A região norte do estado de Roraima apresenta grande diversidade de feições geomorfológicas formadas por planaltos dissecados, bordejados por pediplanos intramontanos e relevo com morfologia tipo platô que se individualiza nas extensas áreas de planícies, a exemplo da serra Tepequém. Esta foi palco desde os anos de 1930 de intensa atividade garimpeira para diamante que imprimiu mudanças na paisagem. Entender a dinâmica evolutiva da paisagem da serra Tepequém sob ação garimpeira diamantífera e o porquê da sua susceptibilidade a erosão, seja natural ou antrópica, é o principal objetivo deste estudo. Visando este entendimento, foram realizados trabalhos de campo, com descrição de perfis de solos e rocha saprolitizadas, bem como perfis lateríticos. Em seguida foram coletadas amostras de solos, rochas alteradas, lateritos e de carvão. Além disso, aquisição de medidas de largura, profundidade, extensão e alinhamento direcional dos canais das voçorocas. Os materiais coletados foram submetidos às seguintes análises: granulométricas, por via úmida; identificação de minerais por difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura; químicas totais (elementos maiores) por ICP-MS e medidas do conteúdo de matéria orgânica, umidade e densidade do solo. As amostras de carvão foram submetidas à datação radiocarbono por AMS (Accelerator Mass Spectrometry). Também foram elaborados mapas de lineamentos estruturais, relevo (altimetria e declividade), drenagem e da cobertura vegetal a partir da interpretação de imagens ópticas (Landsat-5/TM e Cbers-2/CCD) e a base cartográfica pré-existente. A serra Tepequém com formato retangular a rômbico e contorno de escarpas íngremes elaboradas sobre rochas sedimentares do Paleoproterozóico se destaca em meio à paisagem dominada por relevo de colinas, morros residuais e superfícies planas a levemente onduladas. A rede de drenagem da região delinea padrões do tipo paralelo, retangular angulado e treliça de falhas. A morfologia do relevo e drenagem da serra Tepequém e região de entorno, definem uma subordinação ao arranjo estrutural de direção E-W, NE-SW e NW-SE representado por falhas normais e transcorrentes. Na serra Tepequém os compartimentos geomorfológicos são estabelecidos por superfícies intravales aplainadas com altitudes de 575 a 670 m, cujos limites se constituem por morros e colinas residuais de até 744 m e vertentes de entorno que se elevam até 1.100 m. Nesta paisagem, domina a savana arbustiva graminosa, a floresta ombrófila densa que recobre as escarpas de entorno e se prolonga na planície regional. A mata ciliar concentra-se em pequenas manchas ao longo dos rios Cabo Sobral e Paiva. Este

cenário foi bastante modificado com a atividade do garimpo de diamante. No entanto, com o declínio desta atividade, a mata ciliar se recupera espontaneamente, como mostra as imagens ópticas dos últimos 22 anos (1984, 1995 e 2006). Sobre solos arenosos desenvolveram-se as planícies intravales, os quais são constituídos por domínio de areia média e fina, grãos subangulosos a subarredondados, pobremente selecionados, com baixa coesão e pobreza de matéria orgânica. Estes se desenvolvem sobre saprólitos derivados de arenitos e siltitos. Localmente se observam linhas de pedra e colúvios, normalmente sobre os saprólitos. Lateritos imaturos são encontrados nas colinas situadas no centro-norte da serra Tepequém. Os solos são constituídos predominantemente de quartzo, muscovita em plaquetas sub-milimétricas e caulinita envolvendo parcialmente os grãos de quartzo, enquanto os perfis lateríticos se constituem de gibbsita, goethita e hematita, além de quartzo e caulinita. Fragmentos de lateritos e de quartzo constituem as linhas de pedra. Os teores elevados de  $\text{SiO}_2$  confirmam o caráter essencialmente quartzoso dos solos, enquanto os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  são mais expressivos nas zonas saprolíticas, confirmando o domínio de caulinita, muscovita e hematita, derivados de argilitos e siltitos. As idades radiocarbono em carvão obtidas para os materiais superficiais (colúvios e linhas de pedra) mostram que estes materiais se formaram pelo menos há 3.822 anos AP. As planícies intermontanas revelam em sua paisagem feições erosivas na forma de dutos, dolinas e voçorocas, desenvolvidas preferencialmente nos terrenos de domínio de materiais areno-siltosos. Os canais das voçorocas estão alinhados principalmente nas direções NE-SW e NW-SE correspondentes às direções de fraturas e falhas que seccionam a Formação Tepequém. As voçorocas aparentemente estabilizadas se encontram parcialmente recobertas por pteridófitas (samambaias) que colonizam as paredes e fundo do canal. A evolução da paisagem da serra Tepequém, sobretudo, a formatação de seu arcabouço geral envolve a tectônica ainda no Proterozóico. A morfologia herdada se reflete nas escarpas íngremes do entorno, bem como, no topo na formatação de grande sinclínório. A evolução da paisagem da serra Tepequém durante o Cenozóico é marcada por formação de pequenas colinas e morros, alguns destes protegidos por crostas lateríticas sugerindo registro de um paleoclima úmido e quente no Pleistoceno, o qual pode ter favorecido a instalação da rede de drenagem; o trabalho erosivo dos cursos fluviais, aliados com o forte gradiente, favoreceu o transporte de parte dos sedimentos para W-SW, contribuindo na formação das planícies intermontanas. O cenário atual é marcado pela retomada erosiva favorecida pela natureza arenosa, incoesa dos solos, aliado a um paleo-relevo inclinado

para os vales e fortemente fraturado e falhado que ocasiona um forte fluxo aquoso subsuperficial propiciando a forma de dutos, que evoluem para dolinas e por consequência voçorocas. Assim, a atividade garimpeira diamantífera pode ter contribuído na intensificação das voçorocas, mas no entanto, não foi o fator determinante. Portanto, a evolução da paisagem da serra Tepequém, no Proterozóico e no Cenozóico, até o presente, decorre, da interação de múltiplos processos, envolvendo a história tectônica, as mudanças climáticas e os vários ciclos de erosão, bem como a sedimentação restrita e a pequena contribuição antrópica.

## ABSTRACT

The north area of Roraima State presents great diversity of geomorphologic features formed by dissected plateaus, limited by intermountain plain and relief with a plateau morphology that it is individualized in the extensive plain areas, e.g., of the mountain Tepequém. Since 1930s this was a site of intense activity of diamond extraction what printed changes in the landscape. The main objective of this study is to understand the dynamics evolution of the landscape of the mountain Tepequém under diamond extraction activity and the reason of its erosion susceptibility, being natural or anthropic. To reach these objectives, a description of profiles of soils and saprolitic rock, as well as lateritic profiles were accomplished. Samples of soils, altered rocks, laterites and coal were collected. Besides, width, depth, extension and directional alignment of the channels of the gullies measurements were carried out. The collected materials were submitted to the following analyses: grain size, by humid way; minerals identification by X-ray diffraction and SEM techniques; total chemistry analysis (major elements) by ICP-MS and content of organic matter, humidity and density of the soil measurements. Coal samples were submitted to radiocarbon analyses by AMS (Accelerator Mass Spectrometry). Applying the interpretation of optical images (Landsat-5/TM and Cbers-2/CCD) and the cartographic base, maps of structural alignment, relief (altimetry and declivity), drainage and vegetation covering were also elaborated. The mountain Tepequém stand out among the landscape dominated by relief of hills, residual hills and plane-slightly wavy surfaces because of its rectangular-rhombic format and outline of steep scarps elaborated on sedimentary rocks of Paleoproterozoic. The drainage system of the area delineates parallel, angle-rectangular and faults standards. The relief and drainage morphology of the mountain Tepequém and its around area define a subordination to the structural arrangement E-W, NE-SW and NW-SE directions represented by normal and strike-slip faults. In the mountain Tepequém, the geomorphologic compartments are established by 575 to 670 m high plain intra-valleys surfaces bordered by less than 774m high hills and residual hills and edge slopes less than 1100m high. The bush grassy savanna dominates this landscape and recovers the edge scarps and extends along the regional plain. The ciliary forest covers small stains along the Cabo Sobral and Paiva rivers. This scenery was quite modified because of diamond extraction activity. However, with the decline of this activity, the ciliary forest recovers spontaneously, as the optical images of the last 22 years shows

(1984, 1995 and 2006). Intra-valleys plains were developed on sandy soils constituted by medium and fine grain size sandy domains, sub-angles to sub-rounded poorly selected, with low cohesion and small quantity of organic matter. These soils are developed on saprolitic derived of sandstones and siltstones. Locally stone lines and colluvial are observed, usually on the saprolitic. Immature laterites are found in the center-north hills of the mountain Tepequém. Quartz, muscovite in sub-milimetric plates and kaolinite partially involving the grains of quartz are predominant in soils constitution, while the lateritic profiles are constituted by gibbsite, goethite and hematite, besides quartz and kaolinite. Laterite and quartz fragments constitute the stone lines. High concentrations of  $\text{SiO}_2$  confirm the essentially quartz-character of the soils, while the values of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  are more expressive in the saprolitic zones, confirming the kaolinite, muscovite and hematite domain, derived of claystones and siltstones. The radiocarbon ages in coal obtained for the superficial materials (colluvial and stone lines) show that these materials were formed at least 3.822 years BP. The intermountain plains reveal in its landscape erosive features in the piping formations, dolines and gullies, developed in the lands with sandy to silt materials domain. The channels of gullies are mainly aligned in the directions NE-SW and NW-SE corresponding to the directions of fractures and faults that section the Tepequém Formation. The seemingly stabilized gullies are partially covered by ferns that grow on the side and bottom surfaces of the channel. The evolution of the landscape of the mountain of Tepequém specially the formation of its general internal structure involves the tectonic still in Proterozoic. The inherited morphology reflects in the steep scarps around as well as in the top such a great synclinorium. The evolution of the landscape of the mountain of Tepequém during Cenozoic is marked by formation of small hills, some of these protected by lateritic crusts suggesting registration of a humid and hot paleoclimate in Pleistocene, which can admit the installation of the drainage net. The erosive process of the fluvial courses allies with the high gradient favored the transport of part of the sediments to W-SW direction, contributing in the formation of the intermountain plains. The current scenery is marked by the erosive retaking favored by the sandy non-cohesive nature of the soils, ally to a paleorelief inclined to the valleys and strongly fractured and failed that causes a strong shallow surface stormflow propitiating the piping formations, dolines and then the gullies. Thus, the diamond extraction activity can contribute in the intensification of the gullies but, however, it was not the decisive factor. Therefore, the evolution of the landscape of the mountain Tepequém in Proterozoic and in

Cenozoic until the present is due to the interaction of multiple processes involving the tectonic history, the weathering changes and the several erosion cycles, as well as the restricted sedimentation and the small anthropic contribution.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1-  | Localização da área de estudo no norte de Roraima, e no detalhe, mapa de drenagem e via de acesso a serra Tepequém.....   | 31 |
| Figura 2-  | Paisagem entre Boa Vista e a serra Tepequém: (A) planície vegetada por savanas, com depressões ocupadas por lagos e veredas ao longo da drenagem; (B) vista dos buritizais formando as veredas; (C) trecho da RR 203 no município de Amajari; (D) rio Amajari com margens recoberta pela mata ciliar; (E) vista da RR 203 em direção a serra Tepequém e (F) a paisagem que antecede é dominada por planícies e morros em forma de meia-laranja, ao fundo, a serra Tepequém..... | 32 |
| Figura 3-  | Distribuição da precipitação mensal na serra Tepequém entre 1999 a 2003. A linha escura e os respectivos valores correspondem à média mensal do período considerado.....  | 33 |
| Figura 4-  | Escarpa na encosta sudeste da serra Tepequém: (A) densa cobertura do tipo floresta ombrófila e (B) com características exuberantes pelo seu porte elevado.....  | 34 |
| Figura 5-  | Mapa geológico da serra Tepequém – Roraima.....   | 37 |
| Figura 6-  | Individualização das unidades de relevo na porção norte de Roraima, descritas por Franco, Del’ Arco e Rivetti (1975) e Costa (1999).....  | 39 |
| Figura 7-  | Modelo de evolução de voçorocas. A encosta foi subdividida em: TS- toeslope, FS- footslope, BS- backslope, SH- shoulder e SU- summit.....   | 51 |
| Figura 8-  | Mapa de localização das voçorocas estudadas na serra Tepequém – RR.....   | 58 |
| Figura 9-  | Aquisição das medidas de largura e profundidade das calhas de feições erosivas lineares: (A) voçoroca Cabo Sobral-2 e (B) voçoroca Tepequém-1.....  | 59 |
| Figura 10- | Mapa de localização dos pontos de coleta dos materiais (solo e rocha) na serra Tepequém – RR.....   | 60 |
| Figura 11- | Coleta de solos em taludes de voçorocas (A) com auxílio de anel volumétrico de aço e (B) em linha de pedra situada na voçoroca do Paiva.....  | 61 |
| Figura 12- | Fluxograma da seqüência a que foram submetidas às amostras de solo para a separação granulométrica.....   | 68 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 13- | Fluxograma da seqüência de como foi obtida a identificação mineral por difração de raios X em amostra total e argila.....  | 72 |
| Figura 14- | Mapa geomorfológico da região da serra Tepequém elaborado a partir das unidades morfoestruturais de Franco, Del'Arco e Rivetti (1975) e CPRM (1999) e a imagem integrada do MDT e a de multiplicação Landsat 5 (TM4XTM5).....  | 76 |
| Figura 15- | (A) Mapa de altimetria da serra Tepequém e região de entorno e (B) integração digital deste com a imagem Landsat 5TM (banda 4 e 5) de novembro de 1984.....  | 77 |
| Figura 16- | (A) Mapa de declividade da serra Tepequém e região de entorno e (B) integração digital deste com a imagem Landsat 5TM (banda 4 e 5) de novembro de 1984.....   | 78 |
| Figura 17- | Serra Tepequém (Planalto Sedimentar Roraima) bordejada por relevo de colinas (Planalto Dissecado Norte da Amazônia) e em primeiro plano, a extensa superfície aplainada Rio Branco – Rio Negro.....  | 79 |
| Figura 18- | Serra Aricamã representada por cristas e vertentes alinhadas e ravinadas recobertas pela floresta ombrófila densa.....   | 79 |
| Figura 19- | Mapa de zonas homólogas de drenagem da serra Tepequém e região de entorno elaborado a partir da interpretação da imagem Landsat 5TM (bandas 5, 4 e 2) de outubro/1995 e a carta plani-altimétrica, escala 1:100.000 (IBGE, 1983).....  | 83 |
| Figura 20- | Mapa de feições lineares de relevo e drenagem da serra Tepequém e região de entorno. Os dados interpretados a partir das imagens orbitais e carta plani-altimétrica vila de Tepequém, foram sobrepostos ao modelo de elevação digital – SRTM ( <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i> )..... | 85 |
| Figura 21- | Mapa de lineamentos estruturais da serra Tepequém e região de entorno, destacando os feixes de lineamentos de direção E-W, NE-SW e NW-SE.....  | 86 |
| Figura 22- | Mapa geológico da serra Tepequém e região de entorno.....  | 87 |
| Figura 23- | (A) Detalhe do modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil NW-SE com esquema do processo de desnivelamento de blocos pela atuação de falhas normais NE-SW.....  | 89 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 24- | (A) Detalhe do modelo de elevação digital (SRTM) da região da serra Tepequém e (B) perfil NE-SW com esquema do processo de abatimento de blocos pela atuação de falhas normais neotectônicas reativadas e zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais pré-cambrianas de direção NW-SE.....   | 90 |
| Figura 25- | (A) Modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil N-S apresentando a geometria decorrente do abatimento de blocos pela atuação de falhas reativadas e zonas de cisalhamento transcorrentes destrais pré-cambrianas de direção NE-SW situadas a norte da serra do Tepequém.....  | 91 |
| Figura 26- | (A) Modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil E-W mostrando a geometria dos blocos pela atuação de falhas normais reativadas e zonas de cisalhamento transcorrentes destrais de direção NE-SW situadas à leste da serra Tepequém. Observar que entre as serras Tepequém e Aricamã ocorrem áreas rebaixadas com altitudes não superiores a 250 metros..... | 92 |
| Figura 27- | Serra Tepequém com formato em superfície quase retangular a rômbo, destaca-se em meio às colinas e áreas aplainadas do Planalto Dissecado Norte da Amazônia.....   | 93 |
| Figura 28- | Mapa dos compartimentos geomorfológicos identificados na serra Tepequém – RR.....  | 95 |
| Figura 29- | Em primeiro plano é observada a escarpa erosiva do entorno (face sul-sudeste), recoberta por floresta densa e em segundo plano (à direita) verifica-se o caimento das vertentes sudoeste em direção ao vale do rio Paiva e superfície aplainada (planície intermontana Tepequém).....  | 96 |
| Figura 30- | Vertente íngreme localizada na encosta sudeste e em primeiro plano a extensa superfície aplainada margeada pelo rio Paiva.....   | 97 |
| Figura 31- | (A) Morros de cristas convexas-retilíneas alinhados na direção NE-SW, no detalhe (B) verifica-se que estas feições formam facetas trapezoidais com vertentes dissecadas côncava-convexas Interligam-se à superfície aplainada ligeiramente inclinada, onde ocorre a instalação de feição erosiva linear (voçoroca).....  | 98 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 32- | Superfície aplainada denominada de planície intermontana Tepequém, em primeiro plano, circundada por vertente íngreme e relevos residuais, e em segundo plano, os sedimentos aluvionares ao longo da margem direita do rio Paiva..... | 99  |
| Figura 33- | Modelo numérico de elevação apresentando as principais feições de relevo que formam a paisagem atual da serra Tepequém- RR. Modelo elaborado a partir de dados da carta plani-altimétrica vila Tepequém na escala 1:100000.           | 100 |
| Figura 34- | Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém – Roraima para o período de 1984. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes de cobertura vegetal e aluvião.....  | 102 |
| Figura 35- | Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém – Roraima para o período de 1995. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes cobertura vegetal e aluvião.....   | 104 |
| Figura 36- | Área garimpada na margem direita do rio Paiva, em destaque as cavas que são utilizadas para a atividade de piscicultura. As setas indicam a direção do fluxo do rio Paiva.....  | 105 |
| Figura 37- | Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém para o período de 2006. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes cobertura vegetal e aluvião.....   | 106 |
| Figura 38- | Distribuição de ocupação areal (km <sup>2</sup> ) das classes cobertura vegetal e aluvião na serra Tepequém para os períodos de 1984, 1995 e 2006.....  | 107 |
| Figura 39- | Valores em porcentagem das perdas e expansão areal da cobertura vegetal e áreas de aluvial na serra Tepequém entre o período de 1984 e 2006.....  | 107 |
| Figura 40- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 1 (VT1) - Serra Tepequém- Roraima (A). No detalhe seixos de quartzo angulosos a subarredondados das linhas de pedra (B e C).....  | 108 |
| Figura 41- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 2 (VT2) - Serra Tepequém- Roraima. No detalhe fragmentos de crostas lateríticas, componentes da linha de pedra.....   | 109 |
| Figura 42- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca da Lixeira (VL) - Serra Tepequém –RR.....  | 110 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 43- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca localizada próximo ao Morro da Antena (VM) - Serra Tepequém - RR.....  | 111 |
| Figura 44- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Cabo Sobral 1 – Serra Tepequém - RR.....   | 111 |
| Figura 45- | Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 3 - Serra Tepequém - RR.....  | 112 |
| Figura 46- | Perfil saprolítico desenvolvido em arenitos e siltitos da Formação Tepequém – Voçoroca do Paiva - Serra Tepequém - Roraima. No detalhe seixos de quartzo leitoso, subarredondados a arredondados, componentes da linha de pedra.....                                | 113 |
| Figura 47- | Perfil de alteração intempélica exposto nas paredes da voçoroca do Barata. Em destaque: (A) fragmentos de lateritos da linha de pedra; (B) veio de quartzo microfraturado; (C) contato silito-arenito e (D) arenito com <i>slikensides</i> (espelho de falhas)..... | 114 |
| Figura 48- | Perfil laterítico exposto em colinas situadas no centro-norte da serra Tepequém – RR. São evidentes estruturas colunares e pedra de ferro subhorizontal.....  | 115 |
| Figura 49- | Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard - voçoroca do Morro da Antena (A); voçoroca Cabo Sobral 1 (B); voçoroca Tepequém 1 (C) e voçoroca da Lixeira (D).....  | 116 |
| Figura 50- | Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard - voçoroca Tepequém 3 (A); voçoroca Tepequém 2 (B); voçoroca do Paiva (C) e voçoroca Barata (D).....   | 117 |
| Figura 51- | Variação granulométrica nos perfis de solo das voçorocas Cabo Sobral 1 (A), Lixeira (B), Morro da Antena (C) e Tepequém 1 (D) - Serra Tepequém - Roraima. (Legenda: AG - areia grossa, AM - areia média, AF - areia fina, S - silte e A- argila).....               | 119 |
| Figura 52- | Variação granulométrica nos perfis de solo das voçorocas Tepequém 2 (A), Paiva (B), Tepequém 3 (C) e Barata (D) - Serra Tepequém - Roraima. (Legenda: AG - areia grossa, AM - areia média, AF - areia fina, S - silte e A- argila).....                             | 120 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 53- | Grãos de quartzo dos solos estudados na serra Tepequém – RR. (A) grãos subangulosos a subarredondados de cor castanha e (B) grãos com fissuras na superfície.....   | 121 |
| Figura 54- | As imagens de MEV revelam grãos de quartzo com feições tipo fenda, sulcos e cavidades (A, B, C e D), grãos apresentando indícios de corrosão química na superfície (E e F) e grãos subangulosos sem corrosão (G e H).....   | 122 |
| Figura 55- | Variação das densidades do solo e partículas e porosidade total nos perfis de solo das voçorocas Morro da Antena (A), Lixeira (B), Tepequém 2 (C), Paiva (D), Tepequém 1 (E) e Cabo Sobral 1(F). Legenda: Ds-Densidade do solo, Pt-Porosidade total e Dp-Densidade de partículas..... | 124 |
| Figura 56- | Variação dos teores de umidade volumétrica e umidade gravimétrica nos perfis de solos das voçorocas Morro da Antena (A), Lixeira (B), Tepequém 1 (C), Cabo Sobral 1 (D), Tepequém 2 (E) e Paiva (F) – Serra Tepequém – RR.....  | 126 |
| Figura 57- | Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita e anatásio presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca do Morro da Antena, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....   | 128 |
| Figura 58- | Muscovita, caulinita e quartzo presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca da Lixeira, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....   | 129 |
| Figura 59- | Muscovita, caulinita, quartzo e gibbsita presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca Tepequém 1, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....   | 130 |
| Figura 60- | Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita, anatásio, goethita e hematita presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca Tepequém 2, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....   | 131 |
| Figura 61- | Muscovita, caulinita e quartzo presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca Cabo Sobral 1, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....  | 132 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 62- | Muscovita, caulinita, quartzo e goethita presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca Tepequém 3, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....  | 133 |
| Figura 63- | Muscovita, caulinita e quartzo presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca do Paiva, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....  | 134 |
| Figura 64- | Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita e hematita presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca do Barata, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).....   | 135 |
| Figura 65- | Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita e hematita presentes nos sedimentos do perfil laterítico, determinados por DRX em amostra total.....   | 136 |
| Figura 66- | Micromorfologia e análise química semiquantitativa de partículas obtidas por MEV e EDS em solos in natura da serra do Tepequém-(A) grãos de quartzo e plaquetas sub-milimétricas de muscovita (B) plaquetas de caulinita e (C) plaquetas de muscovita entre os grãos de quartzo..... | 137 |
| Figura 67- | Distribuição de minerais nos perfis de solos estudados nas voçorocas Tepequém 2, Tepequém 3, Paiva e Barata – Serra Tepequém – RR.....   | 138 |
| Figura 68- | Distribuição de minerais nos perfis de solos estudados nas voçorocas Morro da Antena, Lixeira, Tepequém 1 e Cabo Sobral 1 – Serra Tepequém – RR.....   | 139 |
| Figura 69- | Variação do conteúdo de matéria orgânica nos solos dos perfis exposto nas voçorocas Morro da Antena (A) e Lixeira (B).....   | 140 |
| Figura 70- | Variação do conteúdo de matéria orgânica nos solos dos perfis exposto nas paredes das voçorocas Tepequém 1 (A), Cabo Sobral 1 (B), Tepequém 2 (C), Paiva (D) e Barata (E).....   | 141 |
| Figura 71- | Variação do pH em H <sub>2</sub> O, KCl e ΔpH nos solos dos perfis observados nas voçorocas Cabo Sobral 1 (A) e Paiva (B).....   | 142 |
| Figura 72- | Variação do pH em H <sub>2</sub> O, KCl e ΔpH nos solos dos perfis das voçorocas Tepequém 1 (A), Tepequém 2 (B), Barata (C), Morro da Antena (D) e Lixeira (E).....  | 143 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 73- | Distribuição dos valores percentuais de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO e TiO <sub>2</sub> nos perfis de solos das voçorocas Tepequém 1 (A), Morro da Antena (B) e Lixeira (C) – Serra Tepequém – RR.....  | 145 |
| Figura 74- | Distribuição dos valores percentuais de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO e TiO <sub>2</sub> nos perfis das voçorocas Cabo Sobral 1 (A), Paiva (B) e Barata (C) – Serra Tepequém – RR.....   | 146 |
| Figura 75- | Distribuição dos valores percentuais de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO e TiO <sub>2</sub> nos perfis de solos das voçorocas Tepequém 3 (A), Tepequém 2 (B) e perfil laterítico (C) situado em colinas no centro-norte da Serra Tepequém – RR..... | 147 |
| Figura 76- | Idades de radiocarbono de amostras de carvão coletados no perfil exposto na parede da voçoroca Tepequém 2 na serra Tepequém – RR.....   | 148 |
| Figura 77- | Distribuição das voçorocas e estruturas de abatimento (dolinas) na serra Tepequém (RR) no Modelo de Elevação Digital - DEM gerado a partir de dados do SRTM ( <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> ).....  | 149 |
| Figura 78- | Representação esquemática dos tipos de canais erosivos (voçorocas) observados na serra Tepequém; (A) canal linear – voçoroca do Barata, (B) canal ramificado – voçoroca do Paiva e (C) canal tipo leque – voçoroca Tepequém 1.....  | 151 |
| Figura 79- | Valores de profundidade e largura das voçorocas estudadas na serra Tepequém – RR na seqüência de N para S – Cabo Sobral 1 (VC1), Cabo Sobral 2 (VC2), Tepequém 2 (VT2), Barata (VB), Morro da Antena (VM), Tepequém 3 (VT3), Vila (VV), Lixeira (VL), Jacu (VJ), Tepequém 1 (VT1) e Paiva (VP).....                           | 152 |
| Figura 80- | Variação da extensão das voçorocas estudadas na serra Tepequém –RR - Cabo Sobral 1 (VC1), Cabo Sobral 2 (VC2), Tepequém 2 (VT2), Barata (VB), Morro da Antena (VM), Tepequém 3 (VT3), Vila (VV), Lixeira (VL), Jacu (VJ), Tepequém 1 (VT1) e Paiva (VP).....  | 153 |
| Figura 81- | Seção transversal de dois canais de voçorocas da serra Tepequém: (A) em colúvios sobrejacente a seqüência siltítica saprolitizada e (B) em solos arenosos de baixa coesão.....  | 153 |



|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 82- | Dutos (pipings) observados nas voçorocas estudadas na serra Tepequém – (A) na cabeceira da voçoroca Tepequém 1, a presença de dutos na base e topo do talude; (B) duto desenvolvido em saprólito na voçoroca do Paiva; (C e D) detalhe do duto da base do talude da voçoroca Tepequém 1, notar a presença do lençol freático e materiais desmoronados preenchendo-o parcialmente.....                               | 155 |
| Figura 83- | Processo de ravinamento nos solos da serra Tepequém; (A) ravinas desenvolvidas em solo arenoso e (B) pequeno sulco que evolui para ravina.....  | 156 |
| Figura 84- | (A) Formação de fluxo laminar após chuvas em julho (2006) na encosta de entorno da voçoroca Tepequém 1; (B) fluxo concentrado em ravina; (C) que se projeta na cabeceira da voçoroca e forma marmitas ou painéis na base do talude e (D) convergência de fluxo aquoso em dutos de formigueiros situados a 50 cm da superfície. Notar que o duto, à esquerda, está parcialmente preenchido por material arenoso..... | 157 |
| Figura 85- | Evidências de progressão remontante e lateral na voçoroca da Lixeira; (A) fendas na borda da parede e (B) concentração de blocos de solos desmoronados e coluna residual identificando antiga borda da voçoroca. Imagens capturadas em setembro/2005 (A) e outubro/2006 (B).....  | 158 |
| Figura 86- | Pedestais ( <i>demoiselles</i> ) protegidos por seixos de quartzo e fragmentos lateríticos ferruginosos, situados no entorno e talude das voçorocas Tepequém 1 (A) e Cabo Sobral 1(B).....  | 158 |
| Figura 87- | Formação de dolinas localizadas na planície intermontana Tepequém; (A) início do processo de expansão do colapso do teto; (B) e (C) desabamento total do teto com formação de dolinas e (D) dolina aparentemente estabilizada e recoberta pela vegetação.....   | 159 |
| Figura 88- | Mapa geológico da serra Tepequém modificado de Fernandes Filho (1990) com localização das voçorocas estudadas.....  | 161 |
| Figura 89- | Diagrama de roseta com indicação das direções de alinhamento dos canais das voçorocas estudadas na serra Tepequém - RR, onde se verifica a predominância na direção NE-SW.....  | 162 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 90- | (A) Voçoroca com padrão de direção NE-SW (canal principal) e NW-SE (canais dígitos) e (B) marcante linearidade do canal da voçoroca do Barata – Serra Tepequém - RR.....   | 162 |
| Figura 91- | Estruturas de abatimento tipo dolinas localizadas a jusante da Vila do Tepequém exibem alinhamento direcional NE-SW.....   | 163 |
| Figura 92- | Composição florística dominante nas áreas parcialmente estabilizadas na parede e cabeceira das voçorocas, a exemplo da voçoroca Paiva (A), famílias identificadas de poáceas e ciperáceas (B), melastomatáceas (C) e domínio principalmente de pteridófitas (D).....   | 164 |
| Figura 93- | Evolução esquemática da paisagem da serra Tepequém, no Proterozóico e no Cenozóico. (A) configuração romboédrica da bacia do Tepequém condicionada pelas estruturas tectônicas regionais; (B) soerguimento e deformação das rochas do substrato da seqüência sedimentar; (C) erosão diferencial e recuo das escarpas; (D) Imagem SAR/SIPAM destacando as feições estruturais interpretadas; (E) Vista frontal da serra Tepequém.....   | 168 |
| Figura 94- | Paisagem sobre formações lateríticas derivadas de pelitos (siltitos) à esquerda da imagem e arenitos conglomeráticos ao fundo da mesma. No centro, um paleovale preenchido por sedimentos arenosos e localmente linhas de pedra....  | 169 |
| Figura 95- | Evolução esquemática da paisagem da serra Tepequém durante o Cenozóico. (A) formação da cobertura laterítica em terrenos mais elevados; (B) recuo das encostas e aplainamento dos vales interiores; (C) retomada erosiva marcada por <i>pipings</i> , áreas de abatimento tipo dolinas e voçorocas; (D) Vista geral da encosta noroeste e vale do rio Cabo Sobral e (E) encosta sudeste e no centro da imagem o vale do rio Paiva. No detalhe perfil transversal A-A' na direção NW-SE e B-B' destacando as feições erosivas (dolina e voçoroca) na planície intermontana no entorno do rio Paiva..... | 170 |
| Figura 96- | Paisagem da planície intermontana do vale do rio Paiva, em primeiro plano, ao fundo da imagem se observa morros e colinas elaborados sobre arenitos conglomeráticos e formações lateríticas.....   | 172 |

- Figura 97- Nas planícies intermontanas desenvolvem intenso processo erosivo com o surgimento de feições erosivas, a exemplos, das áreas de abatimento tipo dolinas (A) e dutos (*pipings*) que situam nos taludes das voçorocas, e favorecem a evolução regressiva da mesma (B)..... 174
- Figura 98- A paisagem de um paleovale preenchido por sedimentos arenosos, com intensa atividade erosiva linear (voçorocas)..... 174

## LISTA DE TABELAS

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabela 1- | Principais características das imagens dos satélites Landsat-5/TM e Cbers-2/CCD utilizadas neste estudo.....                            | 53  |
| Tabela 2- | Número de pontos de controle e erros médios quadráticos (RMS) obtidos no georreferenciamento das imagens ópticas.....                   | 63  |
| Tabela 3- | Análise de frequência dos dados granulométricos dos perfis de solo estudados nos taludes das voçorocas na serra Tepequém – Roraima..... | 118 |

## SUMÁRIO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                    | 28 |
| 1.1     | APRESENTAÇÃO.....  | 28 |
| 1.2     | OBJETIVO GERAL.....  | 29 |
| 1.3     | LOCALIZAÇÃO E ACESSO A SERRA TEPEQUÉM.....                 | 29 |
| 1.4     | ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....                                | 29 |
| 1.4.1   | <b>Clima</b> .....   | 29 |
| 1.4.2   | <b>Drenagem</b> .....                                      | 30 |
| 1.4.3   | <b>Vegetação</b> .....                                     | 33 |
| 1.4.4   | <b>Geologia</b> .....                                      | 34 |
| 1.4.4.1 | Estratigrafia.....   | 34 |
| 1.4.4.2 | Arcabouço tectônico.....                                   | 35 |
| 1.4.5   | <b>Geomorfologia</b> .....                                 | 38 |
| 1.4.6   | <b>Solos</b> .....   | 40 |
| 2       | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                         | 41 |
| 2.1     | CONCEITOS DE PAISAGEM.....                                 | 41 |
| 2.2     | MODELOS DE CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM.....                  | 44 |
| 2.3     | DINÂMICA DA PAISAGEM: PROCESSOS EROSIVOS.....              | 45 |
| 2.3.1   | <b>Fatores que influem na erosão</b> .....                 | 45 |
| 2.3.2   | <b>Processo de voçorocamento</b> .....                     | 49 |
| 3       | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                           | 52 |
| 3.1     | MATERIAIS.....   | 52 |
| 3.1.1   | <b>Material cartográfico</b> .....                         | 52 |
| 3.1.2   | <b>Dados de sensoriamento remoto</b> .....                 | 53 |
| 3.1.3   | <b>Dados aéreo-fotográficos</b> .....                      | 53 |
| 3.1.4   | <b>Equipamentos empregados em atividade de campo</b> ..... | 54 |
| 3.1.5   | <b>Aplicativos computacionais</b> .....                    | 54 |
| 3.2     | MÉTODOS.....   | 55 |
| 3.2.1   | <b>Descrição dos procedimentos</b> .....                   | 55 |
| 3.2.2   | <b>Atividades de Campo</b> .....                           | 56 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2.2.1 | Sobrevôo na serra Tepequém e entorno.....   | 56 |
| 3.2.2.2 | Cadastro das feições erosivas lineares.....   | 56 |
| 3.2.2.3 | Procedimentos para descrição de perfis de solo e afloramentos rochosos.....   | 59 |
| 3.2.2.4 | Coleta de amostras.....   | 60 |
| 3.2.2.5 | Entrevista com moradores da serra Tepequém.....   | 62 |
| 3.2.3   | <b>Tratamento das imagens digitais.....</b>   | 62 |
| 3.2.3.1 | Pré-processamento das imagens.....  | 62 |
| 3.2.3.2 | Processamento das imagens digitais.....   | 63 |
| 3.2.4   | <b>Banco de dados e sistema de informação geográfica.....</b>   | 64 |
| 3.2.5   | <b>Análise granulométrica dos solos.....</b>  | 66 |
| 3.2.6   | <b>Determinação da densidade do solo.....</b>   | 69 |
| 3.2.7   | <b>Umidade do solo.....</b>   | 70 |
| 3.2.8   | <b>Medidas de pH do solo.....</b>   | 70 |
| 3.2.9   | <b>Identificação mineralógica por difração de raios X.....</b>  | 71 |
| 3.2.10  | <b>Medidas do conteúdo de matéria orgânica.....</b>   | 72 |
| 3.2.11  | <b>Composição química total em solo e rocha.....</b>  | 73 |
| 3.2.12  | <b>Quantificação mineralógica.....</b>  | 73 |
| 3.2.13  | <b>Datação radiocarbono de carvão.....</b>  | 73 |
| 3.2.14  | <b>Micromorfologia e química de partículas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Espectrometria de Dispersão de Raios X (EDS).....</b> | 74 |
| 3.2.15  | <b>Tratamento dos dados.....</b>  | 74 |
| 4       | <b>CONTEXTUALIZAÇÃO MORFOLÓGICA REGIONAL DA SERRA TEPEQUÉM.....</b>   | 75 |
| 4.1     | <b>CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....</b>   | 75 |
| 4.1.1   | <b>Planalto Sedimentar Roraima.....</b>   | 75 |
| 4.1.2   | <b>Planalto Dissecado do Norte da Amazônia.....</b>   | 75 |
| 4.2     | <b>CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM.....</b>   | 81 |
| 4.2.1   | <b>Padrões de drenagem.....</b>   | 81 |
| 4.3     | <b>CONTROLE ESTRUTURAL E TECTÔNICO DO RELEVO E DRENAGEM.....</b>  | 84 |
| 5       | <b>CENÁRIO DA SERRA TEPEQUÉM.....</b>   | 93 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.1   | O MODELADO DA SERRA TEPEQUÉM.....   | 93  |
| 5.2   | DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL E ATIVIDADE GARIMPEIRA<br>DIAMANTÍFERA NA SERRA TEPEQUÉM DURANTE OS ÚLTIMOS 22<br>ANOS..... | 101 |
| 6     | <b>OS SOLOS, COLÚVIOS E LATERITOS DA SERRA TEPEQUÉM.....</b>  | 108 |
| 6.1   | PERFIS DE SOLO E COLÚVIOS (TALUDE DAS VOÇOROCAS).....   | 108 |
| 6.2   | OS LATERITOS.....   | 114 |
| 6.3   | GRANULOMETRIA DOS SOLOS E COLÚVIOS.....   | 115 |
| 6.4   | DENSIDADES E POROSIDADE DO SOLO.....  | 123 |
| 6.5   | UMIDADE DO SOLO.....  | 125 |
| 6.6   | COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA.....  | 127 |
| 6.7   | MATÉRIA ORGÂNICA.....   | 140 |
| 6.8   | pH DOS SOLOS.....   | 142 |
| 6.9   | COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS.....   | 144 |
| 6.10  | IDADE DE RADIOCARBONO.....  | 148 |
| 7     | <b>ATIVIDADE EROSIVA LINEAR (FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS) NA<br/>SERRA TEPEQUÉM.....</b>  | 149 |
| 7.1   | CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES.....   | 149 |
| 7.1.1 | <b>Morfologia dos canais das voçorocas.....</b>   | 150 |
| 7.1.2 | <b>Outras feições erosivas identificadas nas voçorocas e entorno.....</b>   | 154 |
| 7.2   | CONSTITUIÇÃO GEOLÓGICA VERSUS EROSÃO LINEAR.....  | 160 |
| 7.3   | ESTABILIDADE DAS VOÇOROCAS VERSUS COBERTURA VEGETAL.....  | 163 |
| 8     | <b>EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA SERRA TEPEQUÉM.....</b>  | 166 |
| 8.1   | FORMAÇÃO DO ARCABOUÇO GERAL DA SERRA TEPEQUÉM.....  | 166 |
| 8.2   | MODELAGEM DO TOPO DA SERRA TEPEQUÉM DURANTE O<br>CENOZÓICO.....   | 169 |
| 9     | <b>CONCLUSÕES.....</b>  | 176 |
|       | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | 179 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A porção norte do Estado de Roraima apresenta uma diversidade de feições geomorfológicas, que contribuíram no estabelecimento de uma paisagem bem distinta e quase única dentro do cenário amazônico. Evidenciam-se neste cenário, feições geomorfológicas formadas por planaltos dissecados, bordejados por pediplanos intramontanos, bem como, relevos residuais que se individualizam nas extensas áreas de planícies. Esta paisagem, constituída por diferentes cenários, reflete a complexidade no arranjo tectônico das unidades geológicas e a história paleoclimática que levaram à formação dos terrenos de Roraima e por sua vez contribuíram no desenvolvimento dos diferentes tipos de solos desta região.

Dentre os inúmeros trabalhos realizados na região, merecem destaque os estudos de Guerra (1957), Barbosa e Ramos (1959), Projeto Radam (BRASIL, 1975), que consistem em importante referencial no conhecimento da fisiografia da paisagem de Roraima. Os trabalhos do Projeto Radam (BRASIL, 1975), forneceram importantes conhecimentos sobre a evolução geológica e geomorfológica para a região, que posteriormente serviram de base aos mapeamentos regionais (CPRM, 1999).

Diante dos estudos realizados na região, torna-se necessário à ampliação do conhecimento sobre as modificações na paisagem, tendo como pressuposto, a dinâmica do meio físico e a relação antrópica. Sob este enfoque, é que se baseia esta pesquisa, tendo como área de estudo a serra Tepequém, localizada no norte do Estado de Roraima.

A serra Tepequém se encontra sob intensa atividade erosiva, a exemplo das feições lineares (ravinas e voçorocas) que se instalaram nas planícies intravales, se constituindo numa feição erosiva marcante na paisagem atual, devido à extensão e a quantidade de voçorocas ativas. Essas frentes erosivas, sob forma de voçorocas, podem ter sido intensificadas pela ação antrópica, principalmente pela atividade garimpeira para diamante desenvolvida nos aluviões dos rios Paiva e Cabo Sobral e secundariamente nos elúvios, colúvios e conglomerados da Formação Tepequém (BORGES; D'ANTONA, 1988). As atividades exploratórias para diamantes se estabeleceram neste cenário desde 1937 (BARROS, 1995; GUERRA, 1957), tornando-se ao longo das décadas subseqüentes a principal atividade da região.



## 1.2 OBJETIVO GERAL

Entender a dinâmica evolutiva da paisagem da serra Tepequém sob ação garimpeira diamantífera e o porquê da sua susceptibilidade a erosão, seja natural ou antrópica, é o principal objetivo deste estudo.

## 1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO A SERRA TEPEQUÉM

A serra Tepequém integra a porção norte do Estado de Roraima e está localizada no município de Amajari (interior do polígono limitado pelas coordenadas 3° 42' e 3° 50' N e 61° 40' e 61° 48' W de Greenwich).

O acesso para a serra Tepequém a partir da cidade de Boa Vista, é feito pela rodovia federal BR 174 e pela rodovia estadual RR 203 que interliga a BR 174 ao núcleo urbano de Amajari prolongando-se até a serra Tepequém, totalizando 220 km a partir da sede do município de Boa Vista (Figura 1).

A paisagem observada no percurso de acesso a serra Tepequém, ao longo da BR 174 e RR 203, consiste de diferentes cenários: a) próximo à cidade de Boa Vista, estende-se uma vasta planície vegetada por savana estépica graminosa, com depressões ocupadas por lagos e presença de veredas ao longo das drenagens; b) a planície ao longo da RR 203 é recoberta por uma savana estépica graminosa e revela feições de morros em forma de meia-laranja, determinando suave ondulação no relevo, em contraste com o entorno da serra Tepequém c) cuja paisagem é dominada por relevo de serras e colinas, recoberto por uma vegetação tipo floresta ombrófila densa (Figura 2).

## 1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 1.4.1 **Clima**

Na região da serra Tepequém predomina o clima tropical úmido, do tipo climático “Am” na classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais entre 22 a 24° C, sendo que no

período chuvoso nas áreas de altitudes superiores a 700 metros, no topo da serra Tepequém, registram temperaturas abaixo de 20° C (BRASIL, 1975).

A precipitação média anual registra em torno de 2.250 mm (BRASIL, 1975). Uma sazonalidade marcante caracteriza as chuvas da região, podendo distinguir dois períodos: o mais chuvoso que se estende de abril a setembro, com ápice em junho, com média de 433,4 mm e o período mais seco que ocorre normalmente de outubro a março, com média de 38,2 mm para o mês de dezembro (Figura 3). Segundo Barbosa (1997), no tipo climático “Am”, predomina uma estação seca de baixo rigor e a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, devido à influência de dois sistemas de circulação atmosférica predominantes em Roraima: a massa de ar equatorial continental (mEc) e a convergência intertropical (CIT).

#### 1.4.2 Drenagem

Os rios Paiva e Cabo Sobral, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Amajari (margem direita), constituem os principais cursos d'água da serra Tepequém. Além destes, encontram-se os rios Barata e do Meio, que também fazem parte deste cenário.

Estes cursos d'água apresentam-se adaptados às linhas estruturais de direção NE-SW, cujas orientações controlam o comportamento de seus canais. Estes cursos atravessam toda estrutura da serra, na direção ENE-WSW e projetam-se nas escarpas W-SW, no caso dos rios Paiva e Cabo Sobral, formam cachoeiras imponentes de denominação homônimas.

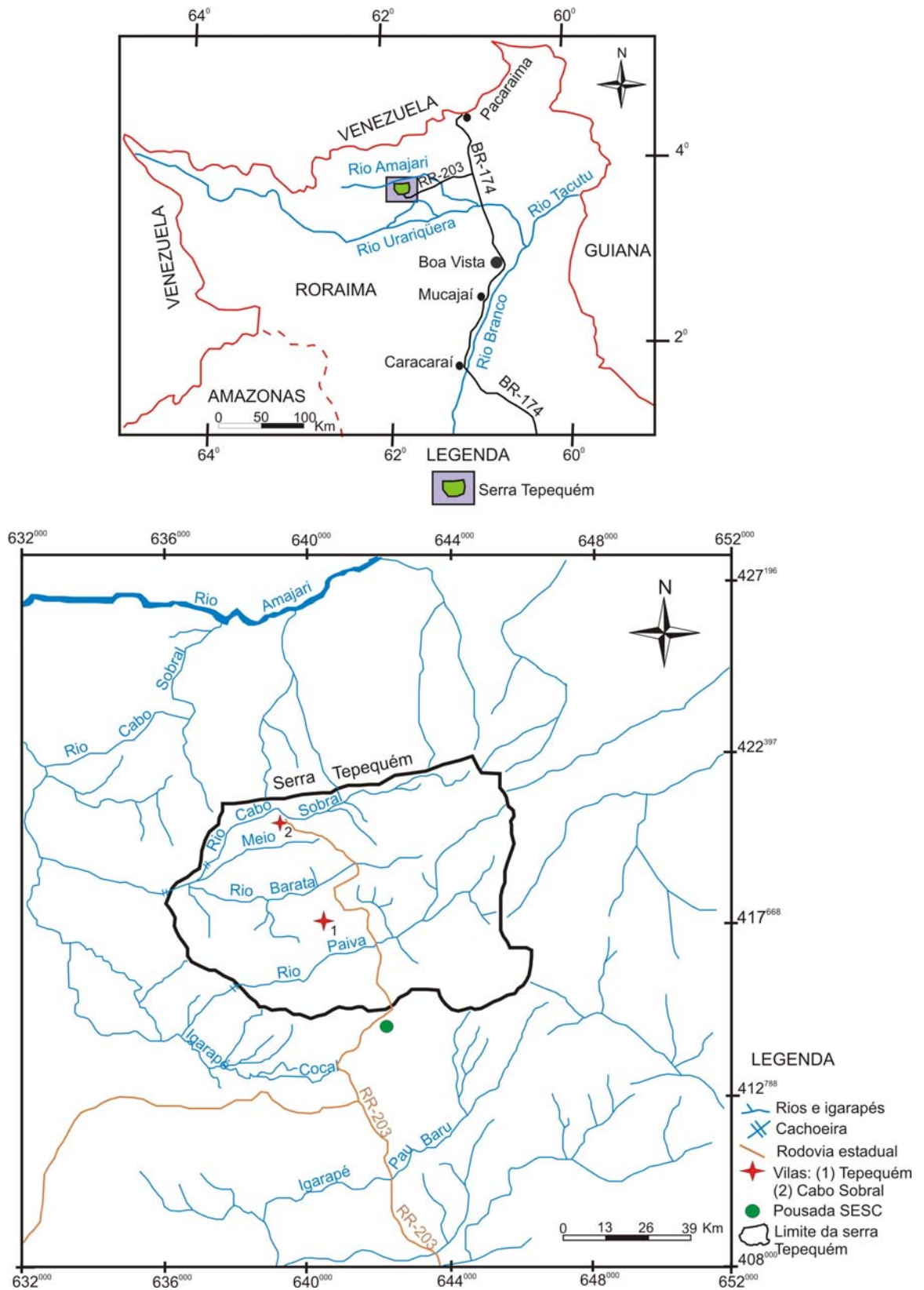


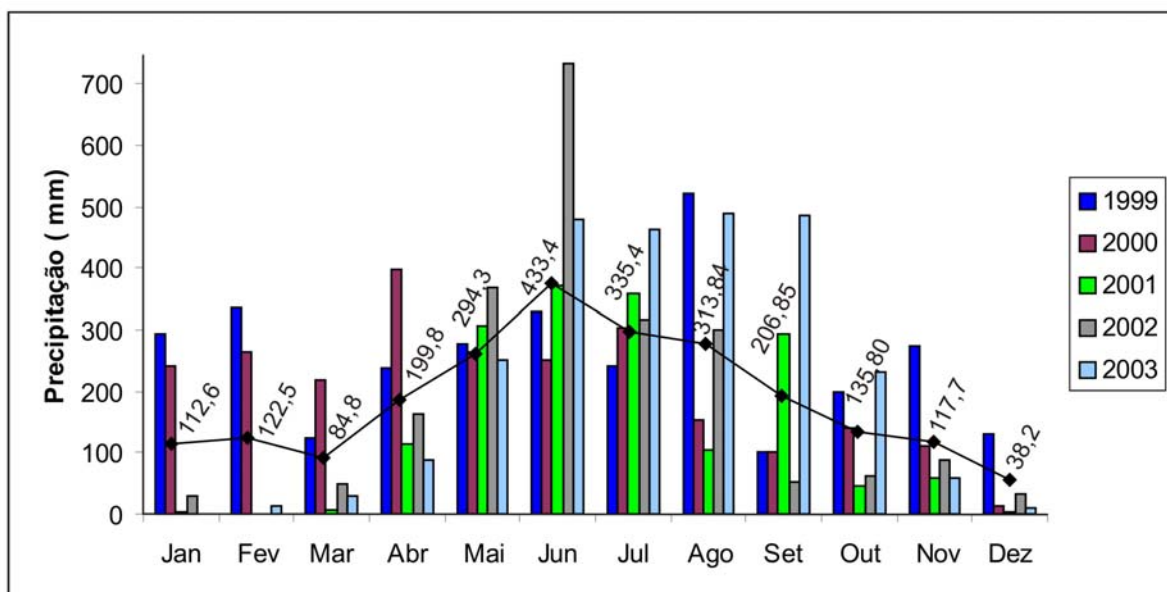
Figura 1- Localização da área de estudo no norte de Roraima, e no detalhe, mapa de drenagem e via de acesso a serra Tepequém.



**Figura 2-** Paisagem entre Boa Vista e a serra Tepequém: (A) planície vegetada por savanas, com depressões ocupadas por lagos e veredas ao longo da drenagem; (B) vista dos buritizais formando as veredas; (C) trecho da RR 203 no município de Amajari; (D) rio Amajari com margens recobertas pela mata ciliar; (E) vista da RR 203 em direção a serra Tepequém e (F) a paisagem que antecede é dominada por planícies e morros em forma de meia-laranja, ao fundo, a serra Tepequém.

Fonte: Fotos A e F - Marcondes Lima da Costa.





**Figura 3- Distribuição da precipitação mensal na serra Tepequém entre 1999 a 2003. A linha escura e os respectivos valores correspondem à média mensal do período considerado.**

Fonte: Elaborado a partir de informações de CPRM (2005).

#### 1.4.3 Vegetação

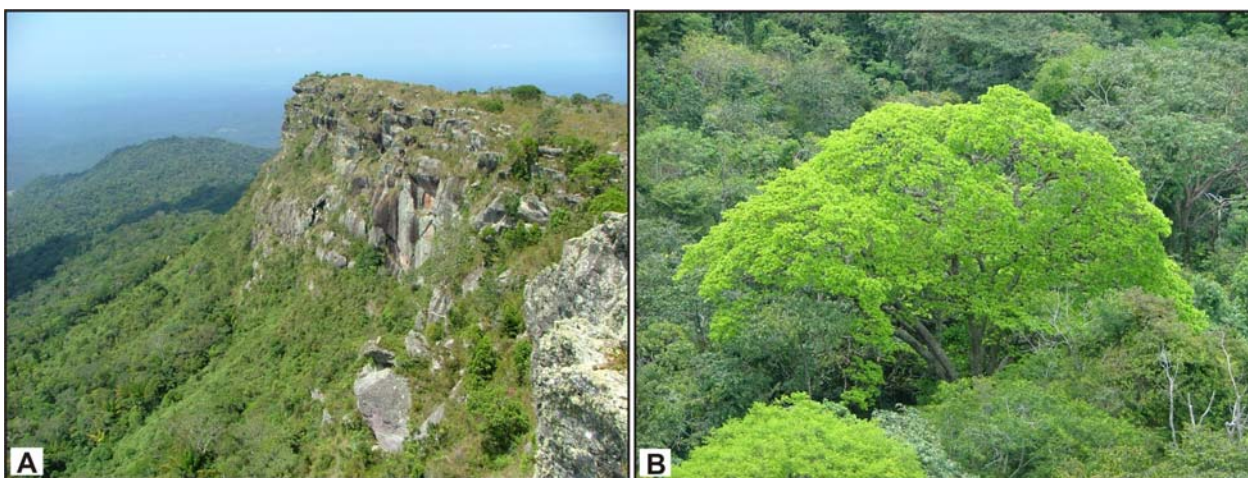
Na área de estudo, observa-se duas fitofisionomias bem distintas: o domínio de floresta densa tipicamente amazônica e a vegetação aberta e campestre definida por Veloso et al. (1975) como refúgio ecológico por ser constituída por uma flora autóctone (comunidades relíquias), enquanto Silva (1997) denomina essa vegetação aberta de savana estépica graminosa.

A floresta densa recobre o relevo dissecado das encostas de entorno da serra Tepequém (Figura 4) e prolonga-se na planície regional de entorno da serra, caracteriza-se, segundo Veloso et al. (1975), uma vegetação exuberante pelo seu porte elevado com sub-bosque fechado, sendo comum as espécies: seringa brava (*Micrandra lopesi*, R. E. Schultes.), louro vermelho (*Nectandra (Ocotrea) rubra*, Mez.), timbó pau (*Elizabetha sp.*), mata-matá branco (*Eschweilera odora* Miers.), tinteiro (*Melastomataceae*), mata-matá vermelho (*Cariniana micrantha*), itaúba vermelha (*Mezilaurus itauba*), dentre outras espécies.

Nas superfícies aplainadas e colinas residuais situadas no topo da serra Tepequém, a fisionomia dominante é do tipo campestre com poáceas e cyperaceae, sobressaindo espécies do

tipo: capim fino (*Brachiaria mutica* Stapf), capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), capim-deburro (*Cynodon dactylon* L. Pers.) e algumas compositae.

Nas galerias que percorrem os campos, tem-se piquiá (*Caryocar villosum*), lacre (*Vismia cayennensis*), envira vermelha (*Xylopia aromatica* Mart.), ingá cipó (*Ingá edulis* Mart.), parapará (*Jacaranda copais* Aubl.), tatapiririca (*Euphorbiaceae mabea*), murici (*Byrsonima crassifolia*) e inajá (*Maximiliana regia*) (VELOSO et al., 1975). Nas áreas próxima as drenagens, verifica-se a presença de mata ciliar, com ocorrência de buriti (*Mauritia flexuosa*) formando pequenas veredas.



**Figura 4-** Escarpa na encosta sudeste da serra Tepequém: (A) densa cobertura do tipo floresta ombrófila e (B) com características exuberantes pelo seu porte elevado.

Fonte: Fotos de Roberto Carlos Caleffi.

#### 1.4.4 Geologia

##### 1.4.4.1 Estratigrafia

A serra Tepequém constitui uma feição sedimentar do Paleoproterozóico, representada pela Formação Tepequém (CPRM, 1999) que mantém correspondência a Formação Arai, unidade basal do Supergrupo Roraima (BORGES; D'ANTONA, 1988; SANTOS et al., 2003).

Borges e D'Antona (op. cit.) realizaram o estudo mais detalhado de sua estratigrafia, propondo a correlação desse pacote sedimentar (Formação Tepequém) com a Formação Arai do Bloco Pacaraima, e subdividindo-a em três membros, da base para o topo: Membro Paiva, Funil e Cabo Sobral, que são constituídos por conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e níveis de rochas piroclásticas, sendo todo pacote sedimentar estimado em 210,0 metros de espessura.

Posteriormente, Fernandes Filho (1990) subdividiu em sete unidades a sucessão sedimentar da serra Tepequém, a partir da diferenciação litológica, estrutura sedimentar e continuidade lateral (Figura 5).

O substrato da serra Tepequém está representado por rochas vulcânicas ácidas a intermediárias do Grupo Surumu, referenciado nos trabalhos de Montalvão et al. (1975), Borges e D'Antona (1984 e 1988), Fernandes Filho (1990), Reis e Carvalho (1996) e CPRM (1999). Para esses autores supracitados, esta unidade é representada por riolitos, riodacitos, dacitos, andesitos e rochas piroclásticas ácidas. Uma discordância litológica e erosiva é sugestiva entre a unidade sedimentar basal e os vulcanitos do Grupo Surumu (CPRM, 1999; REIS; CARVALHO, 1996).

As vulcânicas Surumu, segundo Reis, Faria e Fraga (2002), representam um importante magmatismo cálcio-alcálico (vulcano-plutonismo Orocaima), cujas idades situam-se no intervalo 1,96 – 1,98 Ga. A idade de formação da cobertura corresponde a  $1862 \pm 15$  M. a. e de  $1873 \pm 3$  M. a. (SANTOS et al., 2003), referentes a duas amostras de zircões, provenientes de tufos félsicos intercalados na Formação Uaimapuê (unidade superior do Supergrupo Roraima). Tavares Júnior (2004) descreve que essas idades são consideradas as melhores estimativas para a deposição dos níveis mais superiores do Supergrupo Roraima, reposicionando-o ao Orosiriano do Paleoproterozóico.

#### 1.4.4.2 Arcabouço tectônico

O Estado de Roraima ocupa a porção centro-sul do Escudo das Guianas e envolve os grandes elementos estruturais de seu arcabouço tectônico. CPRM (1999) define uma compartimentação tectônica para o Escudo das Guianas, parte que recobre o Estado de Roraima, individualizadas em quatro domínios: Parima (setor noroeste), Guiana Central (setor central), Urariqüera (setor norte) e Anauá Jatapu (setor sudeste). A área de estudo está inserida no domínio Urariqüera, segundo CPRM (1999), este domínio é caracterizado por forte estruturação WNW-ESE a E-W e feixes de lineamentos NW-SE, que delineiam arranjos sugestivos de movimentação sinistral e articula a estruturação que controla a disposição de restos da seqüência sedimentar tipo Roraima (Formação Tepequém).

A serra Tepequém encontra-se em meio a um complexo arranjo tectônico, limitado por zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE, estruturadas nas rochas vulcânicas Surumu

(substrato da seqüência sedimentar), situando-se a sudoeste, tendo continuidade para noroeste e sudeste da serra (CPRM, 1999; FRAGA; REIS; PINHEIRO, 1994 a e b).

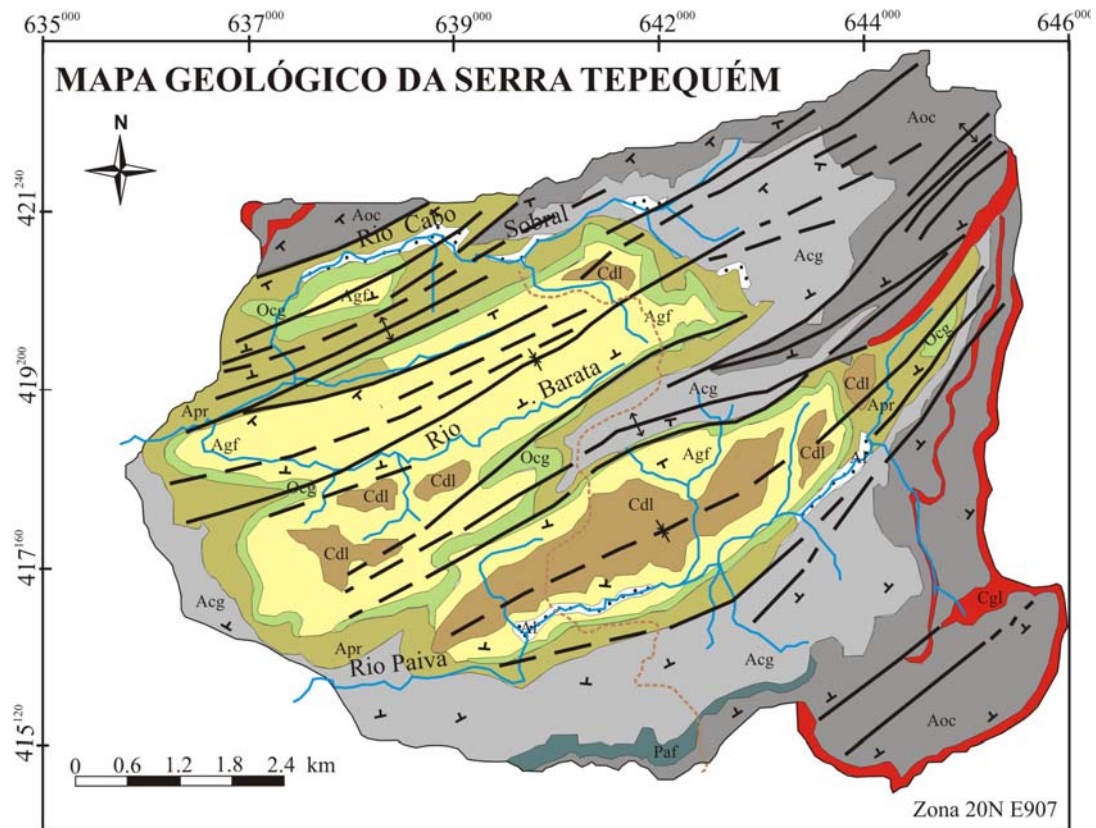
As rochas sedimentares que compõem a Formação Tepequém, mostram-se dobradas, com rochas submetidas a intenso fraturamento, apresentam-se silicificadas e freqüentemente cortadas por veios de quartzo (BORGES; D'ANTONA, 1988).

Os estudos de Fraga, Reis e Pinheiro (1994 a) e CPRM (1999), destacam que ao longo da mesa que compõe a serra Tepequém, as camadas sedimentares encontram-se dobradas em sinformais e antiformais suaves, com eixos na direção E-W a ENE-WSW. Estes autores supracitados descrevem mergulhos de até 25° para sul (flanco norte) e para norte (flanco sul), os quais caracterizam o acamamento nas bordas da serra Tepequém.

Tavares Júnior (2004) descreve que predomina na serra Tepequém a ocorrência de feições estruturais rúpteis, destacando as falhas normais NE-SW e os sistemas de juntas N10-60E e E-W, tendo suas direções estruturais compatíveis com os extensos lineamentos NE-SW e NNE-SSW, correspondentes às zonas de cisalhamento transcorrentes e falhamentos, cujas orientações condicionaram a forma geométrica da bacia Tepequém.

As estruturas verificadas na cobertura sedimentar (Formação Tepequém), como também, aquelas do substrato vulcânico (Grupo Surumu), foram interpretadas por Fraga, Reis e Pinheiro (1994 a e b), como resultado de um mesmo evento deformacional, que teria reativado as falhas normais integrantes da “bacia Tepequém” durante o episódio K’Mudku (início do Proterozóico Superior), imprimindo texturas miloníticas nas rochas vulcânicas e dobras e clivagens nas sedimentares.





### Cenozóico

- Al Aluviões recentes
- Cdl Coberturas detrito-lateríticas e solos areno-siltosos

### Paleoproterozóico

#### Formação Tepequém

- Agf Arenito arcoseano, arenito grosseiro e arenito ferruginoso
- Ocg Ortoconglomerado e arenito ortoquartzítico
- Apr Arenito fino intercalado c/ pelito roxo
- Acg Arenito fino, arenito grosseiro c/ intercalações de conglomerados
- Paf Pelito e arenito imaturo ferruginoso
- Aoc Arenito ortoquartzítico c/ intercalações de conglomerado polimítico
- Cgl Conglomerado polimítico
- Grupo Surumu

- Falhas definidas
- - Falhas inferidas
- ⋈ Eixo de sinclinal c/ duplo caimento
- ⊕ Eixo de anticlinal c/ duplo caimento
- ∧ Atitude
- Rios e igarapés
- - Estrada

**Figura 5- Mapa geológico da serra Tepequém - Roraima.**  
**Fonte: Modificado de Fernandes Filho (1990).**

#### 1.4.5 Geomorfologia

Importantes contribuições à caracterização das unidades de relevo, em âmbito regional em Roraima, cabem a Guerra (1957), Barbosa e Ramos (1959), Franco, Del' Arco e Rivetti (1975), Melo et al. (1978) e CPRM (1999).

Conforme a divisão das unidades de relevo proposta por Franco, Del' Arco e Rivetti (op cit.), a serra Tepequém está relacionada à unidade morfoestrutural Planalto Sedimentar Roraima e apresenta topo irregularmente aplainado, com altitudes máximas de aproximadamente 1.100 metros. A serra tem cerca de 70 Km<sup>2</sup> de superfície e apresenta contornos de escarpas abruptas, que se limita com extensos pedimentos ravinados. Esta se destaca em meio ao Planalto Dissecado Norte da Amazônia (Figura 6), cuja paisagem é dominada por relevo de colinas ravinadas com altitudes de até 900 metros. A superfície aplainada que antecede a serra Tepequém, corresponde a unidade morfoestrutural Pediplano Rio Branco – Rio Negro (FRANCO; DEL' ARCO; RIVETTI, 1975), cujas altitudes variam de 80 a 160 metros.

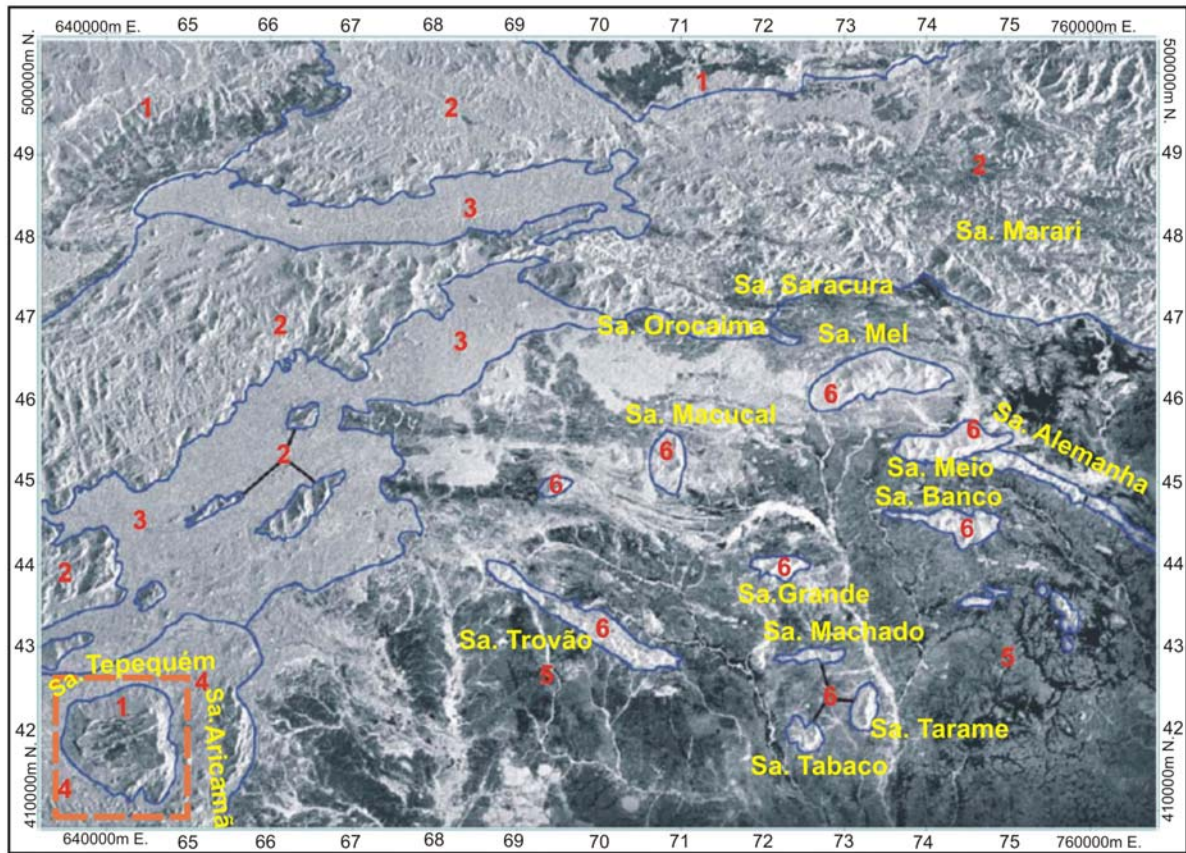




Imagem SAR/JERS-1 de Jun/96-Norte de Roraima

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Planalto Sedimentar Roraima             |
| 2 | Planalto Interflúvio Amazonas - Orenoco |
| 3 | Superfícies Pediplanadas Intramontanas  |
| 4 | Planalto Dissecado Norte da Amazônia    |
| 5 | Pediaplano Rio Branco - Rio Negro       |
| 6 | Relevos Residuais                       |

- |  |  |
|--|--|
|  | Área de estudo<br>(canto inferior esquerdo<br>da imagem) |
|  | Limites das unidades<br>geomorfológicas                  |

**Figura 6- Individualização das unidades de relevo na porção norte de Roraima, descritas por Franco, Del' Arco e Rivetti (1975) e Costa (1999).  
Fonte: Modificado de Tavares Júnior (2004).**

#### 1.4.6 Solos

As contribuições para a caracterização dos solos em âmbito regional em Roraima devem-se aos trabalhos do RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) e Serruya (2002). A nomenclatura de classes de solos utilizada por esses autores foi adaptada a nova classificação da EMBRAPA (1999). Desse modo, identificam-se na área de estudo, segundo os autores supracitados, os seguintes tipos de solos:

- a) Neossolo litólico distrófico - São solos dominantes na área, derivados da alteração das rochas da Formação Tepequém. São solos rasos, com horizonte A inferior a 40 cm de espessura, sobrejacente à rocha, ou sobre um horizonte C. Em algumas situações, estes solos apresentam um horizonte B em início de formação. Apresenta-se com textura areno-argilosa e ocorrem em relevo que varia de suave ondulado a montanhoso;
- b) Neossolo quartzarênico – São solos areno-quartzosos, pouco evoluídos, contendo percentagem de argila menor que 15% até 150 cm de profundidade ou até um contato lítico, sendo que mais de 95% da fração areia está representada por quartzo. Possuem seqüência de horizontes A e C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, sendo encontrados em relevo plano e suave ondulado; e
- c) Argissolo vermelho amarelo – São solos bem desenvolvidos, com espessura média do horizonte A de 30 cm, e com horizonte B textural, resultante do acúmulo de argila, devido ao processo de iluviação. Estes solos apresentam textura franco arenosa e ocorrem em relevo que varia de suave ondulado a forte ondulado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITOS DE PAISAGEM

Visando o entendimento da dinâmica da paisagem da serra Tepequém, faz-se necessário uma abordagem do conceito de paisagem nas suas diferentes concepções na ciência geográfica. A paisagem pode ser diferenciada, dependendo do olhar e da leitura de quem a define e de que prisma ela é vista.

O conceito de paisagem tem sido discutido levando-se em consideração desde a etimologia e a origem do termo, bem como, as diferentes abordagens e orientações teórico-metodológicas estabelecidas pelas escolas de geografia física. Guerra e Marçal (2006) ressaltam que o conceito de paisagem pode variar da abordagem estético-descritiva, que diz respeito a sua gênese, a uma abordagem mais científica que remete ao desenvolvimento e estabelecimento do conceito e a relação da influência de outras ciências em sua construção ao longo do tempo.

O termo paisagem tem sua etimologia e origem do latim, *pagus*, que significa país, no sentido de lugar, derivando os termos *paisage* (espanhol), *paysage* (francês) e *paisaggio* (italiano), enquanto nas línguas anglo-saxãs o termo land tem o mesmo significado, derivando *landscape* (inglês), *landschaft* (alemão) e *landschap* (holandês) (SCHIER, 2003). O termo paisagem foi introduzido como conceito geográfico-científico no início do século XIX por Alexander Von Humboldt, este apresenta idéias fundamentais para a compreensão da paisagem e da estrutura da superfície terrestre em seu conjunto, procurando conhecer as inter-relações entre os componentes da paisagem inserindo a ação antrópica (SCHIER, 2003).

A abordagem do conceito de paisagem se distingue nas diferentes escolas de geografia física, com destaque a alemã, francesa e americana. De acordo com Guerra e Maçal (2006), o estudo da paisagem caracterizou-se por uma abordagem descritiva e morfológica (século XIX), passando a uma ótica mais integradora entre os elementos que compõem a paisagem (século XX) e no período que se segue incorpora uma nova orientação aos estudos, uma perspectiva sistêmica e dinâmica entre os componentes da natureza.

A abordagem descritiva é caracterizada nos trabalhos de naturalistas alemães, a exemplo de Alexander Von Humbolt e Richthofen no século XIX, os quais enfatizam os aspectos como fisionomia do relevo, vegetação e clima, dando ênfase à análise regional da paisagem (ABREU, 2003; GUERRA; MAÇAL, 2006; SOBRINHO, 2007).

Ross (2003) destaca que no final do século XIX, a paisagem é analisada tendo como principal enfoque a evolução do relevo, destacando os trabalhos de William Morris Davis, o qual estabelece uma seqüência ou ciclo na dinâmica de evolução do relevo, pela juventude, maturidade e senilidade, podendo esse relevo estabelecer um recomeço pelo processo de rejuvenescimento a partir de um soerguimento de caráter tectônico.

No Brasil, no final da década de cinquenta do século XX, os trabalhos geomorfológicos de Aroldo de Azevedo, Aziz Nacib Ab'Saber entre outros, seguem a influência do modelo davisiano. Ab'Saber (1967) estabeleceu uma proposta de análise do relevo brasileiro, a partir da influência da sazonalidade climática, individualizando seis domínios morfoclimáticos, tais como: domínios dos chapadões tropicais, dos mares de morros, das depressões intermontanas semi-áridas, de planalto subtropical, das coxilhas subtropicais e das terras baixas equatoriais. Nesta perspectiva, a interpretação da paisagem tem enfoque estabelecido a partir da correlação da tipologia do modelado com os processos denudacionais, influenciados pelos diferentes tipos climáticos e vegetação (ROSS, 2003).

O conceito de paisagem, nas primeiras décadas do século XX, tem as bases estabelecidas a partir de uma visão territorial, de acordo com Christofolletti (1999), os estudos dão maior ênfase às descrições dos elementos físicos da paisagem, em detrimento aos aspectos ligados as atividades humanas. Dentro dessa abordagem destacam os trabalhos desenvolvidos na escola francesa através dos estudos de Vidal De La Blache e Emanuel De Martonne (MENDONÇA, 2001).

Uma análise mais global da paisagem é destacada nos estudos de Sauer (1998), o qual define o conceito de paisagem cultural como elo integrador entre fatores naturais e sociais, ou seja, abre espaço para a análise da ação do homem sobre a paisagem e as mudanças advindas dessa relação, antes pouco discutido nas abordagens anteriores.

As pesquisas sobre a paisagem tendo a abordagem sistêmica como método de análise, foram inicialmente elaboradas entre as décadas de trinta e sessenta do século XX, na então União Soviética, com as publicações de A. A. Grigoriev, L. S. Berg, N. A. Solncev e A. G. Isachenko, e foram a base dos fundamentos do conceito de geossistema (GUERRA; MAÇAL, 2006) que posteriormente foi discutido nos estudos de Sotchava. A teoria do geossistema de Sotchava analisa os componentes formadores da paisagem, através de suas inter-relações, considerando a

estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução (GUERRA; MAÇAL, 2006; MAXIMIANO, 2004).

O estudo da paisagem através da abordagem integrada é discutido por Bertrand (1971), o qual enfatiza que a paisagem é resultante da “combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagindo uns sobre os outros formam um conjunto único e indissociável em perpétua evolução”.

Seguindo essa concepção, Tricart (1976) propõe que a paisagem seja estudada a partir da análise morfodinâmica, ou seja, da evolução geomorfológica, considerando a morfogênese, processos atuais (tipos, densidade e distribuição), bem como o grau de degradação advindo da influência antrópica.

A contribuição da escola soviética nas pesquisas geomorfológicas realizadas nas décadas de quarenta a setenta (século XX), tendo nos trabalhos de J. P. Gerasimov e J. A. Mescherikov, o surgimento dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura e o estabelecimento de uma classificação do relevo terrestre em três categorias: geotextura, morfoestrutura e morfoescultura (ROSS, 2003). Os elementos da geotextura correspondem às grandes feições da crosta (maciços continentais, bacias oceânicas, dentre outras), os da morfoestrutura são de diferentes origens e idades (regiões de plataformas, crátons, bacias sedimentares, dentre outras) e as morfoesculturas correspondem às tipologias de relevos geradas pela ação climática atual e pretérita (ROSS, 2003). Nessa perspectiva da abordagem sistêmica, os estudos geomorfológicos passaram a ter maior interação com a tectônica, com intuito de compreender a origem e evolução do relevo, e, por conseguinte, as diferentes paisagens formadas pela ação dos processos exógenos e endógenos.

O relevo e os demais componentes da paisagem não podem ser entendidos de modo isolado, é nesse contexto da compreensão da evolução dinâmica da paisagem, que Ab'Saber (1969) sugere o estudo integrado do relevo com os outros componentes da paisagem, a partir de três níveis de investigação: a) a compartimentação topográfica regional, ou seja, caracterizar e descrever as formas de relevo de cada compartimento estudado; b) o entendimento da estrutura superficial da paisagem a partir dos depósitos geológicos recentes, feições geomórficas pretéritas (relevos residuais e superfícies aplainadas) e recentes (formas de vertentes, pedimentos, terraços, dentre outras); e c) a fisiologia da paisagem, a qual envolveria os processos morfoclimáticos e pedogenéticos, somados a atuação do homem.



Ross (2003) destaca o papel de cada elemento do quadro ambiental no processo de funcionamento da paisagem, como os fluxos de energia e matéria que fazem funcionar dinamicamente a paisagem. Este enfoque é importante e imprescindível, para a compreensão da morfodinâmica em diferentes unidades geomorfológicas, através da integração de dados e conhecimentos sobre a litologia, a morfologia, o nível da dissecação e as formas superficiais, dando subsídios no entendimento dos processos erosivos, sejam em estudos que abrangem escalas pontuais ou regionais.

## 2.2 MODELOS DE CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM

A noção de unidade integrada é o primeiro indício da concepção sistêmica da paisagem, essa abordagem na ciência geográfica, baseia-se na modelização e quantificação dos elementos da paisagem, abrindo um novo caminho para o seu entendimento a partir dos modelos sistêmicos elaborados por Sotchava (BERTRAND, 1971; TRICART, 1977).

Schier (2003) destaca que Sotchava define o conceito de geossistema como um modelo global e dinâmico que inclui todos os elementos da paisagem e a conexão entre eles e propõe uma taxonomia a partir do binômio homogeneidade e diferenciação, definida como geômero (qualidade estrutural homogênea) e geócoro (estrutura diversificada).

Bertrand (1971) também concebendo a paisagem a partir da visão sistêmica, apresenta um sistema taxonômico das paisagens em níveis temporo-espaciais: níveis superiores (zona, domínio e região natural) e níveis inferiores (geossistema, geofácies e geótopo). A definição e o modelo taxonômico de estudo da paisagem introduzido por Bertrand (1971) ultrapassam o estágio da descrição e da classificação para atingir aquele da sistematização dos elementos da paisagem e sua delimitação e cartografia dentro de uma concepção dinâmica.

Seguindo essa concepção, Tricart (1977) classifica as paisagens e sua dinâmica evolutiva através de três estágios: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis, baseados na intensidade, frequência e interação dos processos evolutivos da paisagem, tomando como referencial determinante o balanço morfogênese/pedogênese no estudo da dinâmica da paisagem. As contribuições de Tricart (1977) se completam quando propõe que a paisagem seja analisada pelo seu comportamento dinâmico, tendo a morfodinâmica como elemento determinante nesse



processo, facilitando a identificação das unidades de paisagens, denominada unidades ecodinâmicas.

A análise integrada dos ambientes naturais, fundamentada na concepção de Tricart (1977), é aplicada como método de análise nas propostas de Ross (1995) e Crepani et al. (2001).

Ross (2003), ao analisar as fragilidades dos ambientes, inseriu novos critérios para definir as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis preconizadas por Tricart (1977). As unidades ecodinâmicas instáveis ou de instabilidade emergente referem-se àquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais. As unidades ecodinâmicas estáveis ou de instabilidade potencial são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação antrópica. Foram atribuídas por Ross (2003), para ambas as unidades, cinco níveis de instabilidade: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte. A análise é realizada a partir de produtos cartográficos temáticos (geologia, relevo, solos, clima, vegetação e uso da terra) e seus respectivos relatórios técnicos, obtidos através de levantamentos de campo.

Também apoiados no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), tomando-se como base à relação morfogênese/pedogênese e o aspecto sinótico-holístico-repetitivo fornecido pelas imagens orbitais, Crepani et al. (2001) propõe uma metodologia de análise da vulnerabilidade dos ambientes naturais e antrópicos, sendo a análise realizada a partir das seguintes etapas: elaboração de mapa de unidades homogêneas, a partir da análise e interpretação de imagens orbitais; associação das informações temáticas pré-existentes com o mapa de unidades homogêneas para caracterizar as unidades ambientais, e por fim, a classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade, segundo as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese.

## 2.3 DINÂMICA DA PAISAGEM: PROCESSOS EROSIVOS

### 2.3.1 Fatores que influem na erosão

A erosão do solo é condicionada não apenas pelo trabalho erosivo das águas, seja em superfície ou subsuperfície, mas também por uma série de fatores controladores que determinam as variações nos índices de erosão tais como: precipitação (intensidade), solos (textura, estrutura, permeabilidade e as características químicas e mineralógicas), cobertura vegetal, relevo

(declividade e comprimento da encosta) e uso do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA, 1998; POESEN et al., 2003).

a) Precipitação pluviométrica

A chuva é um fator climático importante na erosão do solo. Guerra (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (op.cit.) destacam que os parâmetros: total de chuva, intensidade, momento e a energia cinética, têm sido utilizados para investigar a participação desta no processo erosivo. Guerra (1999) destaca que, dentre estes parâmetros, a energia cinética da chuva tem sido o mais utilizado para prever a perda de solo.

b) Características físicas, químicas e mineralógicas do solo

Nos estudos de erosão, é fundamental conhecer as propriedades do solo, sejam as características físicas (textura, densidade aparente, porosidade, estabilidade dos agregados), químicas (teor de matéria orgânica e pH) e mineralógicas.

Com relação à textura do solo, os estudos indicam segundo Guerra (1991), que quanto maior o percentual de silte no solo maior a susceptibilidade dos solos serem erodidos. Tal constatação foi observada por Moraes, Bacellar e Sobreira (2004), nos saprólitos do complexo do Bação no centro-sul do estado de Minas Gerais. Segundo Guerra (1998), as argilas são menos removidas, principalmente, se estão agregadas. Conforme Thornes (1980), as argilas e a matéria orgânica, devido às suas propriedades coloidais, em adsorver cátions, influem em outras propriedades do solo e, portanto, na sua susceptibilidade à erosão. Portanto, como afirma Guerra (1998), é importante estudar os percentuais de areia, silte e argila conjuntamente com outras propriedades, visto que a agregação dessas partículas inclui outros elementos, a exemplo da matéria orgânica.

A quantidade de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Bertoni e Lombardi Neto (op.cit.) afirmam que em solos argilosos esta modifica a estrutura, melhorando as condições de arejamento e retenção de água, enquanto em solos arenosos promovem a aglutinação das partículas, firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros e conseqüentemente aumentando a capacidade de retenção de água.

A importância da matéria orgânica na estabilidade dos agregados é enfatizada por Guerra (1998, 1999) e Guerra e Oliveira (1995). Estes descrevem que o teor de matéria orgânica juntamente com outras propriedades dos solos (textura, densidade aparente, porosidade, estrutura dentre outras) influi diretamente na estrutura dos agregados; porém, apesar de todos esses fatores

interferirem, os estudos apontam que a redução dos teores de matéria orgânica no solo, tende a aumentar a instabilidade dos agregados.

Os estudos de Cerda (2000) e Sarah (2005) destacam a importância da matéria orgânica na agregação das partículas do solo, estes observaram a correlação positiva entre a matéria orgânica e a estrutura do solo e a atribuem à ligação organo-mineral.

A densidade aparente dos solos diz respeito a menor ou maior compactação dos solos. Guerra (1998) destaca que esta pode correlacionar-se com o teor de matéria orgânica, visto que à medida que o teor de matéria orgânica diminui no solo, aumenta a ruptura dos agregados e crostas se formam na superfície do solo, aumentando a sua compactação.

A relação pH do solo com a erodibilidade, também é considerada em vários estudos de erosão dos solos (MAÇAL; GUERRA, 2003; RIENKS; BOTHA; HUGHES, 2000). Fassbender (1984) descreve que a influência do pH na estabilidade dos agregados é indireta através do complexo de troca catiônica. Com valores de pH elevado e predominância de Ca na solução pode ocorrer maior floculação pela dispersão do oxigênio, provocando maior atividade biológica e conseqüentemente maior intensidade de agregação. No entanto, se predomina Na e K ocorre dispersão excessiva dos colóides e se perde a estabilidade dos agregados.

### c) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal do solo é um fator que se deve levar em consideração quando se tenta compreender os processos erosivos. Ela pode atuar através da proteção direta contra o impacto das gotas de chuvas, decomposição das raízes que formando canalículos no solo, aumenta a infiltração da água, adição de matéria orgânica, aumenta a estabilidade dos agregados e diminuição da velocidade de escoamento superficial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

A densidade de cobertura do solo também é um fator determinante na erosão dos solos. Queiroz Neto (1984) identificou diferentes valores médios de perda de solo para uma precipitação anual de 1300 mm em variados tipos de cobertura vegetal no Estado de São Paulo, a exemplo, floresta (0,004 tonelada de terra por ha/ano), pastagem (0,4 tonelada por ha/ano) e culturas temporárias (5 a 40 toneladas por ha/ano).

Billi e Dramis (2003) destacam que em áreas parcialmente cobertas por vegetação, a capacidade erosiva do escoamento superficial (*runoff*) aumenta, enquanto ocorre um déficit de matéria orgânica no solo diminuindo a estabilidade dos agregados.

Valentin, Poesen e Li (2005) destacam o significado da altura da cobertura vegetal na interceptação das gotas de chuvas, quando descrevem que gotas interceptadas por árvores altas podem ter maior energia cinética do que quando não interceptadas, favorecendo a formação de crosta, geração de escoamento superficial (*runoff*) e o início do processo erosivo.

#### d) Características das encostas

Segundo Guerra (1998), a declividade, comprimento e forma das encostas são fatores que podem contribuir na erodibilidade dos solos. Sua ação reflete, sobretudo, na dinâmica da água, que pode interferir na formação do escoamento superficial (*runoff*) e na infiltração.

Quanto ao comprimento das encostas e a relação com a erosão dos solos, Bertoni e Lombardi Neto (1999) destacam que à medida que o comprimento das encostas aumenta, o escoamento superficial (*runoff*) pode aumentar em velocidade e volume.

A forma das encostas é outro fator considerado na erodibilidade dos solos, esta reflete as variações na dinâmica do fluxo e no processo de infiltração. Xu (1996) utilizou a classificação de formas de encostas, proposta por Ruhe (1975), entre os fatores do meio físico que influenciam a ocorrência de processos erosivos.

#### e) Fatores geológicos

Além dos fatores acima citados, Hasui et al. (1995), Baccaro (1999) e Bacellar, Coelho Netto e Acerda (2001) apontam a importância de levar em consideração fatores geológicos, destacando a litologia (características mineralógicas e texturais das rochas) e a estrutura (falhas, fraturas e contatos litológicos), como agentes condicionantes no processo erosivo, estes podem atuar na origem e formação de feições erosivas lineares.

Avelar e Coelho Netto (1994) ao estudarem fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul, constataram que as discontinuidades lito-estruturais, atuavam no controle das propriedades hidráulica e mecânica das rochas, destacando o fraturamento como zonas de alívio de pressão piezométrica, que favoreciam a exfiltração da água e formação de túneis que avançavam remontantemente.

Hasui et al. (1995) destacam o papel de feições estruturais (juntas e falhas) e da tectônica no desenvolvimento de voçorocas na região de São Pedro no Estado de São Paulo. Assim como Silva et al. (2003) descrevem que voçoroca desconectada situada no médio-baixo vale do Ribeirão do Secretário, Paty do Alferes no Rio de Janeiro, tem suas orientações coincidentes com as direções estruturais locais, e essa estreita relação pode ser explicada pelo fato de as voçorocas

desenvolveram-se em encostas cujos solos autóctones preservaram as zonas de fraquezas da rocha.

O papel da geologia no desenvolvimento de voçorocas também foi avaliado por Beavis (2000), no sudeste da Austrália. O autor citado destaca que as estruturas geológicas determinam a localização da erosão na paisagem, enquanto a litologia, em função da mineralogia e do tamanho das partículas, determina a intensidade da erosão. Os estudos de Farifteh e Soeters (1999) demonstram o papel das juntas tectônicas no processo de formação e evolução de pipes na região sul da Itália.

### 2.3.2 Processo de voçorocamento

Nos últimos anos, têm sido crescente os estudos no Brasil (BACCARO, 1999; COELHO NETTO, 2003; GUERRA, 1991, 1998 e 1999; OLIVEIRA, 1999; PAISANI; OLIVEIRA, 2001) e em países da Europa (POESEN; GOVERS, 1990; POESEN et al. 2003; VALETIN; POESEN; LI, 2005; VANDEKERCKHORE et al. 2000) sobre fatores e mecanismos relacionados aos processos erosivos, com ênfase nas erosões lineares, a exemplo das voçorocas.

O processo erosivo desenvolve-se em vários estágios, sendo o processo inicial desencadeado pela erosão por salpicamento (*splash*), que provoca o deslocamento de partículas por impacto de gotas de chuva acarretando a ruptura dos agregados e, com isso, crostas são formadas na superfície do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA, 1999) dificultando a infiltração das águas, e por conseqüência, levam a formação do escoamento superficial. Essa realidade se intensifica quando o solo se encontra desprovido de cobertura vegetal.

Segundo Guerra (1999), o estágio que antecede ao escoamento superficial é a formação de poças em microdepressões no topo do solo, uma vez preenchidas começam a ligar-se uma nas outras e nesse momento inicia-se o escoamento superficial que, a princípio, é difuso e torna-se concentrado à medida que o processo tem continuidade temporal e espacial.

Oliveira (1999) destaca que o escoamento superficial quando concentrado em microdepressões do terreno, pode transformar-se em fluxo concentrado, formando sulcos e posteriormente evoluindo para ravinas e voçorocas.

Segundo Guerra (1999), a identificação dos vários estágios de evolução das ravinas é importante, visto que é o ponto de partida do processo erosivo linear, os estudos têm sido desenvolvidos através de observações, monitoramentos e experimentos em campo (GUERRA; OLIVEIRA, 1995) e em laboratório e tem ajudado na compreensão mais precisa de como, onde e por que as ravinas surgem e evoluem para voçorocas.

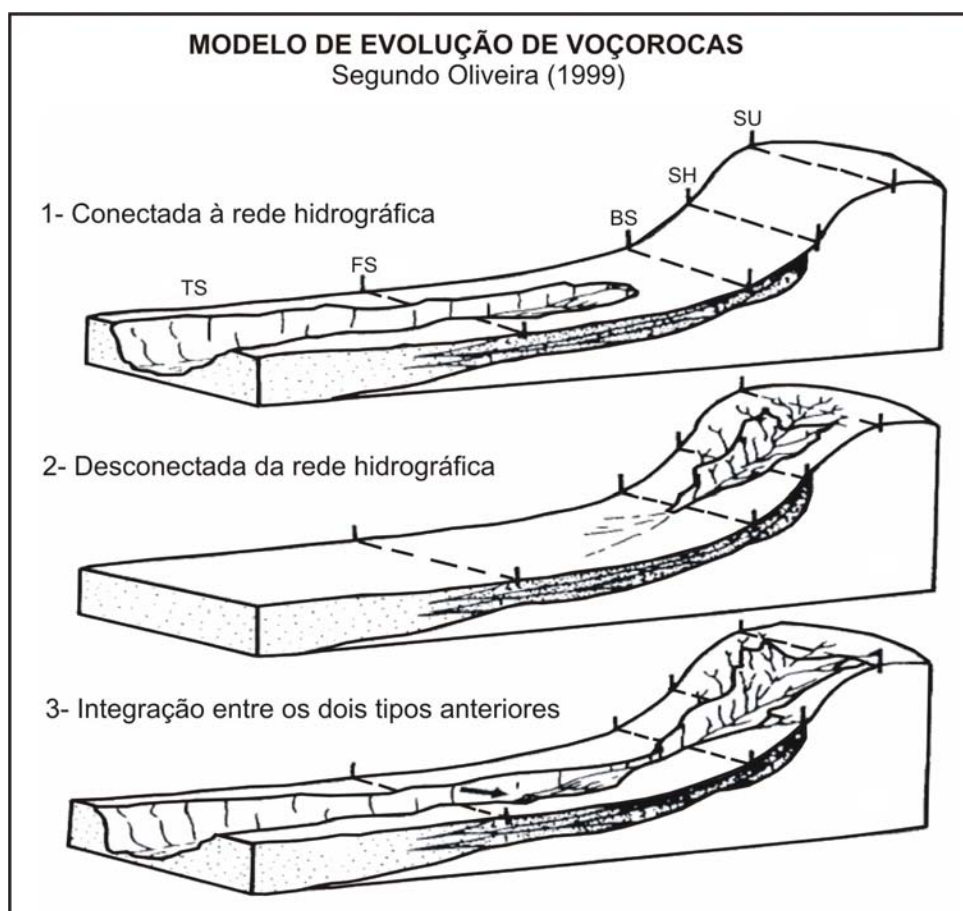
Com relação à distinção dos limites de cada fase erosiva, principalmente quanto às ravinas e voçorocas, estas são distinguidas por caráter dimensional e presença ou não do lençol freático. Segundo o critério dimensional, Guerra (1998) e Oliveira (1999) adotam o termo voçoroca para incisões com profundidade e largura superiores a 50 cm, abaixo desses valores são definidas como ravinas. Quanto ao critério da presença ou não do lençol freático, Canil et al. (1995) diferencia ravinas de voçorocas como canais criados pela ação do escoamento superficial e canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático, respectivamente. Nesta pesquisa, foi adotado o termo voçoroca considerando o enfoque dimensional.

As voçorocas podem também se originar a partir de mecanismos erosivos associados ao fluxo da água em subsuperfície. Coelho Netto (1998) descreve dois mecanismos: quando o fluxo exfiltrante atinge uma descarga crítica capaz de deslocar a partícula do meio poroso (erosão de vazamento) e quando uma força cisalhante atua nas margens de um macroporo promovendo a lavagem interna (lavagem em túnel), também chamado de *pipings* (BRYAN; JONES, 1997).

Os dutos ou túneis formados por *pipings* constituem feições erosivas subsuperficiais bastante estudadas, estes ocorrem em variados ambientes, a exemplo dos tropicais e subtropicais (AUGUSTIN; ARANHA, 2006; FARIFTEH; SOETERS, 1999; GUTIERREZ et al., 1997).

Vários estudos apontam a estreita correlação entre a formação de voçorocas e a ação dos *pipings*. Farifteh e Soeters (1999) destacaram que as juntas tectônicas em substrato argiloso constituíram áreas susceptíveis ao fluxo das águas, resultando na remoção de partículas de solo na subsuperfície que levaram a formação de micro pipes em voçorocas localizadas no sul da Itália. Vandekerckhove et al. (2000) documentou a formação de voçorocas resultantes da evolução de dutos, em solos com maior conteúdo em silte em ambiente semi-árido mediterrâneo no sudeste da Espanha. Augustin e Aranha (2006) registraram a formação de dutos associados a processos de recuo das cabeceiras e alargamento de paredes de voçorocas, bem como a ampliação do número de ramificações, indicando que os *pipings* constituem uns dos processos mais importantes na evolução das voçorocas estudadas no noroeste de Minas Gerais.

Os estudos de Oliveira (1999), Poesen et al. (2003), Billi e Dramis (2003) mencionaram a complexidade dos processos de erosão por voçorocas. A busca pelo entendimento do mecanismo de evolução das mesmas tem levado à formulação de modelos evolutivos, a exemplo do modelo estudado por Oliveira (op.cit.) em incisões erosivas no vale do rio Paraíba do Sul, levando-o a elaboração de uma tipologia, a saber: voçorocas conectadas, desconectadas da rede de drenagem e a integração dos dois tipos anteriores (Figura 7).



**Figura 7- Modelo de evolução de voçorocas. A encosta foi subdividida em: TS- toeslope, FS- footslope, BS- backslope, SH- shoulder e SU- summit**  
Fonte: OLIVEIRA (1999).

Observa-se nos estudos voltados para o entendimento do processo erosivo, que ocorre uma preocupação em definir fatores relevantes, que venha a contribuir no entendimento mais coerente dos mecanismos dos processos erosivos e sua influência na evolução das paisagens.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O entendimento da dinâmica de formação e transformação da paisagem da serra Tepequém se fez mediante a interpretação de dados cartográficos, de sensoriamento remoto, bem como, as observações realizadas em campo, e análises granulométricas, mineralógicas, químicas e de radiocarbono dos materiais (solo e rochas) coletados. Os materiais e os métodos utilizados nas etapas deste estudo serão descritos a seguir.

#### 3.1 MATERIAIS

Na elaboração dos mapas temáticos, que deram suporte ao entendimento da evolução da paisagem da serra Tepequém, foram utilizados os seguintes materiais:

##### 3.1.1 Material cartográfico

A carta plani-altimétrica folha Vila de Tepequém (NA.20-X-A-III-MI-25) na escala 1:100.000 (IBGE, 1983), deu suporte no georreferenciamento das imagens ópticas, na elaboração do modelo numérico de terreno (MNT), e dos seguintes mapas: altimétrico e lineamentos de drenagem.

Os dados geológicos e geomorfológicos, em âmbito regional, em Roraima, foram adquiridos a partir dos mapas dos projetos RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) na escala de 1:1.000.000 e Roraima central (CPRM, 1999) na escala 1:500.000. O mapa geológico da serra Tepequém na escala 1:25.000 de Fernandes Filho (1990), foi convertido ao formato digital, e serviu de base para o entendimento geológico da Serra Tepequém, permitindo correlacionar as feições erosivas lineares com as unidades litológicas.



### 3.1.2 Dados de sensoriamento remoto

Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat-5/TM (*Thematic Mapper*) bandas 5, 4 e 2 dos anos 1984 e 1995 e Cbers-2/CCD (Câmera imageadora de alta resolução) bandas 3, 4 e 2 do ano de 2006 (Tabela 1).

**Tabela 1- Principais características das imagens dos satélites Landsat-5/TM e Cbers-2/CCD utilizadas neste estudo.**

| Satélite/Sensor | Órbita/Ponto | Bandas   | Resolução espacial (m) | Data da passagem |
|-----------------|--------------|----------|------------------------|------------------|
| Landsat-5/TM    | 233/57       | 5, 4 e 2 | 30 x 30                | 22/11/1984       |
| Landsat-5/TM    | 233/57       | 5, 4 e 2 | 30 x 30                | 04/10/1995       |
| Cbers-2/CCD     | 176/96       | 3, 4 e 2 | 20 x 20                | 29/03/2006       |

As imagens foram selecionadas em período seco (outubro-março), por apresentar baixa densidade de cobertura de nuvens e por conseqüência melhor qualidade visual da imagem, permitindo assim melhor averiguar as mudanças na paisagem, mais especificamente da cobertura vegetal no topo da serra Tepequém, numa escala temporal de vinte dois anos (1984 a 2006).

As imagens foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As duas imagens do Landsat-5/TM foram obtidas com recursos do projeto Produção do espaço e impactos ambientais no Estado de Roraima do Programa de Qualificação Institucional (PQI-CAPES) do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima (IGEO-UFRR) e a imagem do Cbers-2/CCD, disponível gratuitamente no site ([www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br)).

### 3.1.3 Dados aéreo-fotográficos

Os dados foram obtidos durante sobrevôo realizado na serra Tepequém e seu entorno em setembro de 2004, com aeronave CESNA monomotor. Durante o recobrimento fotográfico foram adquiridas 300 imagens digitais (máquina fotográfica Panasonic modelo DMC-LC70PL 4.0

megapixel, resolução de 640 X 480 pixels, 720 dpi), que serviram de base na identificação das sucessões de cobertura vegetal, feições erosivas lineares, uso e ocupação humana.

### 3.1.4 Equipamentos empregados em atividade de campo

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) GPS (*Global Positioning System*), da Garmin modelo GPS map 76CS – para localização das voçorocas e pontos de controles utilizados nos procedimentos de correção geométrica das imagens ópticas;
- b) Bússola de geólogo, modelo Brunton - para medir a inclinação das superfícies de vertentes e taludes, e direção das voçorocas;
- c) Extrator e anel volumétrico de aço, modelo Kopecky - para coleta de amostras de solo não compactadas, destinadas às análises de umidade e densidade do solo.

Os equipamentos utilizados nas etapas de campo foram cedidos pelo Instituto de Geociências (UFRR), com exceção do extrator e anel volumétrico, pertencentes ao Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG).

### 3.1.5 Aplicativos computacionais

Para o tratamento e processamento dos dados digitais e criação de banco de dados em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foram utilizados os seguintes aplicativos:

- a) PCI Geomatics, v. 9.1.7- para o pré-processamento e processamento das imagens orbitais.
- b) ArcGIS, v. 9.0 e SPRING, v. 4.3- para a editoração dos mapas temáticos e geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT).

Estes aplicativos computacionais foram utilizados no laboratório de Computação Aplicada a Geociências (COMAP-UFPA), com exceção do PCI Geomatics, que foi utilizado no laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Pesquisas em Recursos Naturais (NUREN-UFRR).

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Descrição dos procedimentos

Os estudos geomorfológicos, com ênfase nas feições erosivas lineares (voçorocas) como indicadores de remodelamento da paisagem atual, basearam-se nas seguintes atividades: pesquisa bibliográfica, interpretação de produtos cartográficos e de sensores remotos, trabalhos de campo e de laboratório e integração dos dados.

A discussão da paisagem da serra Tepequém foi apoiada nos conceitos de geomorfologia de Ab'Saber (1969) e nas premissas da geomorfologia tectônica de Summerfield (1991). Para tanto, foram considerados os seguintes parâmetros:

a) Compartimentação do relevo – Na individualização dos compartimentos foram considerados os parâmetros: arranjo espacial da drenagem, níveis altimétricos e a geologia do quaternário.

Com base na análise da rede de drenagem, foi elaborado o mapa de lineamentos estruturais, que deu suporte ao entendimento da influência dos elementos estruturais rúpteis (falhas e fraturas), no modelamento do relevo, na organização da rede de drenagem, e, por conseguinte, na evolução da paisagem. O Modelo Numérico de Terreno (MNT) referente à altimetria foi uma ferramenta fundamental na individualização dos compartimentos do relevo.

b) A fisiografia da paisagem – Entende-se como a caracterização do meio físico: relevo, solo e cobertura vegetal.

As mudanças na paisagem, com ênfase na cobertura vegetal, foram interpretadas a partir de análise de imagens ópticas em períodos distintos (1984, 1995 e 2006), possibilitando a análise temporal e a quantificação das mudanças ocorridas com relação à cobertura vegetal no topo da serra Tepequém.

Para o entendimento dos processos erosivos, que atuam de maneira significativa na origem e evolução das voçorocas na serra Tepequém, foram consideradas: as propriedades do solo (granulometria, mineralogia e composição química), cobertura vegetal, ação antrópica, litologia e a estrutura (falhas, fraturas e contatos litológicos).

Para avaliar o estado de agregação dos grãos foram efetuadas as seguintes análises: química total, identificação e quantificação mineralógica, e o percentual de matéria orgânica nestes solos.

As paleo-superfícies erosivas foram identificadas a partir das linhas de pedra, e a idade absoluta de deposição de sedimentos e/ou solos foi quantificada através da datação radiocarbono de carvão, coletado em perfil de talude de voçoroca.

### **3.2.2 Atividades de campo**

Na etapa preparatória às atividades de campo, foi realizado um levantamento dos documentos cartográficos existentes sobre a área de estudo, para a confecção da carta-base que subsidiou e apoiou estas atividades. A carta-base foi elaborada a partir da carta plani-altimétrica (escala 1:100.000) e imagem do LANDSAT-5/TM do ano de 1995. Durante os trabalhos de campo, foram adquiridos pontos de controles (coordenadas geográficas - UTM), para o banco de dados de georreferenciamento das imagens ópticas.

Foram realizadas quatro etapas de campo, sendo três na estação correspondente à estiagem (período seco) em outubro/2004, setembro/2005 e 2006 e uma na estação chuvosa em junho/2006. As atividades desenvolvidas foram as seguintes:

#### **3.2.2.1 Sobrevôo na serra Tepequém e entorno**

A realização de sobrevôo na serra Tepequém e seu entorno, com aeronave CESNA monomotor, possibilitou o reconhecimento da área e obtenção de dados aéreo-fotográficos, que serviram de base de informação na identificação das feições de relevo, ocorrência de voçorocas, sucessões de cobertura vegetal e uso e ocupação humana.

#### **3.2.2.2 Cadastro das feições erosivas lineares**

O levantamento das feições erosivas lineares (voçorocas) se estendeu por toda serra Tepequém. Para o presente estudo foram selecionadas 11 voçorocas situadas a norte (próximo ao rio Cabo Sobral) e na porção centro-sul (entorno da vila Tepequém e rio Paiva e Barata). Estas foram denominadas segundo as características fisiográficas locais (Figura 8). Neste estudo,

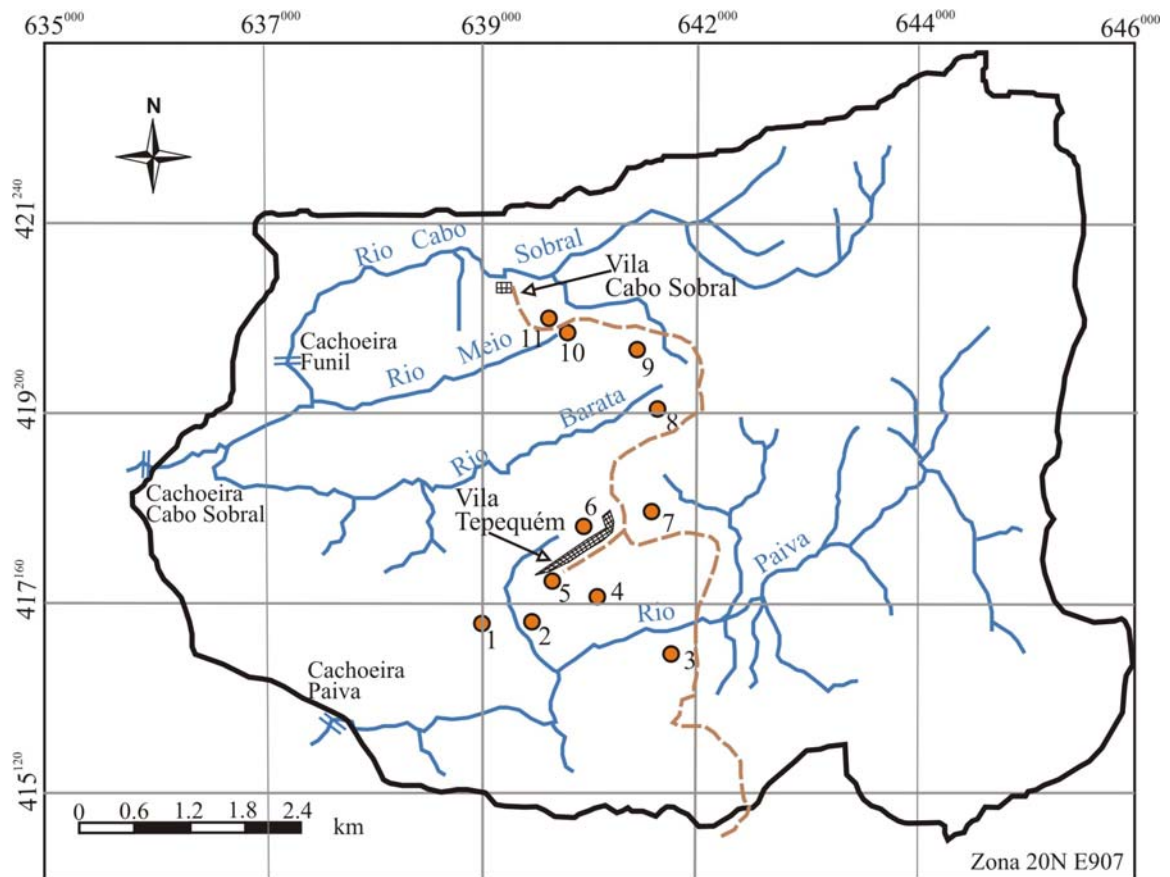
entende-se por voçoroca, as feições erosivas lineares com profundidade e largura superiores a 0,5 m, segundo critério dimensional adotado por Guerra (1998) e Oliveira (1999).

As características das feições erosivas e da área de ocorrência foram descritas nos seguintes aspectos: (a) vegetação de entorno, (b) uso atual do solo, (c) tipo de feição erosiva, (d) origem (meio desencadeador do processo erosivo), (e) altimetria, (f) declividade das vertentes, (g) direção do canal, (h) litologia e (i) localização (coordenadas geográficas – UTM) em diversos pontos do canal: porção montante, mediana e jusante.

Na descrição morfométrica da calha das feições erosivas (Figura 9) foram considerados os seguintes parâmetros: profundidade, largura, extensão, inclinação das paredes (talude) das voçorocas. As feições erosivas também foram descritas quanto à distribuição espacial, através de medidas de alinhamento direcional dos canais, permitindo correlacioná-los com os dados do arranjo estrutural da serra.

Para a caracterização das voçorocas quanto à evolução e possível alcance de estabilidade, foram consideradas as medidas supracitadas, bem como, a presença da cobertura vegetal nas áreas de talude e fundo do vale.

A classificação das voçorocas fundamentou-se nos seguintes parâmetros: quanto à rede de drenagem (conectadas e desconectadas) e à presença da cobertura vegetal no talude e fundo do canal, caracterizando diferentes tipos: (a) voçoroca ativa (erosão superficial, subsuperficial, movimentos de massa, não permitindo a instalação da vegetação) e (b) voçorocas mistas (compreendem parte ativa e inativa com vegetação).



### Legenda

● Voçorocas estudadas

1- Tepequém 1(VT1)

2- Jacu (VJ)

3- Paiva (VP)

4- Lixeira (VL)

5- Vila 1(VV1)

6- Morro da Antena (VM)

7- Tepequém 3 (VT3)

8- Barata (VB)

9- Tepequém 2 (VT2)

10- Cabo Sobral 2 (VC2)

11- Cabo Sobral 1 (VC 1)

— Rios e igarapés

— Cachoeiras

Vilas

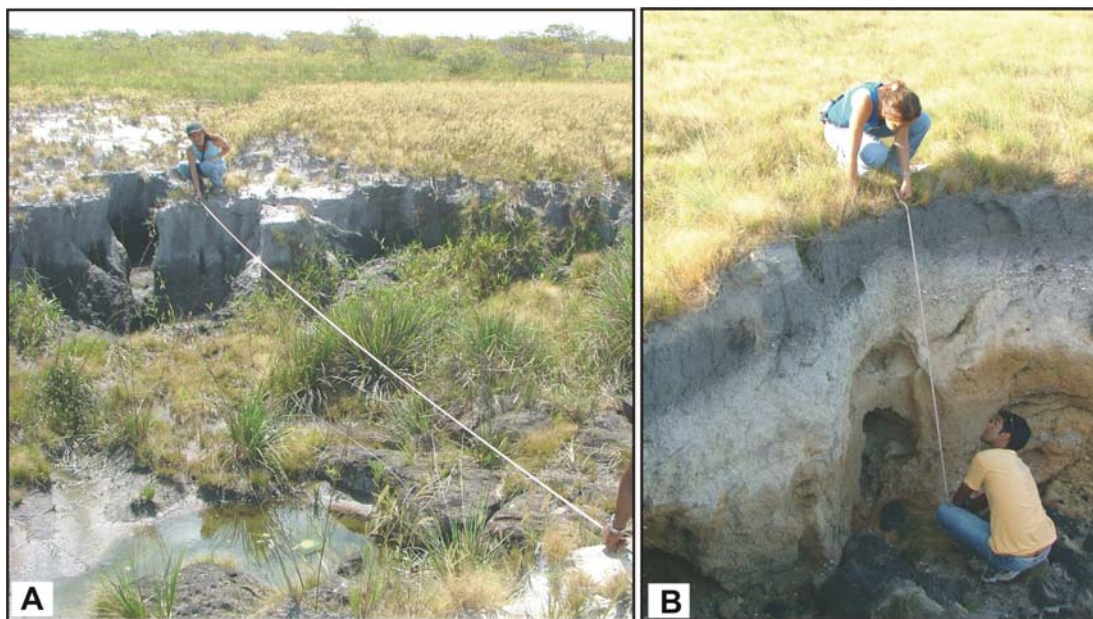
▣ Cabo Sobral

— Tepequém

— Estrada

— Limite da serra Tepequém

**Figura 8- Mapa de localização das voçorocas estudadas na serra Tepequém - RR.**



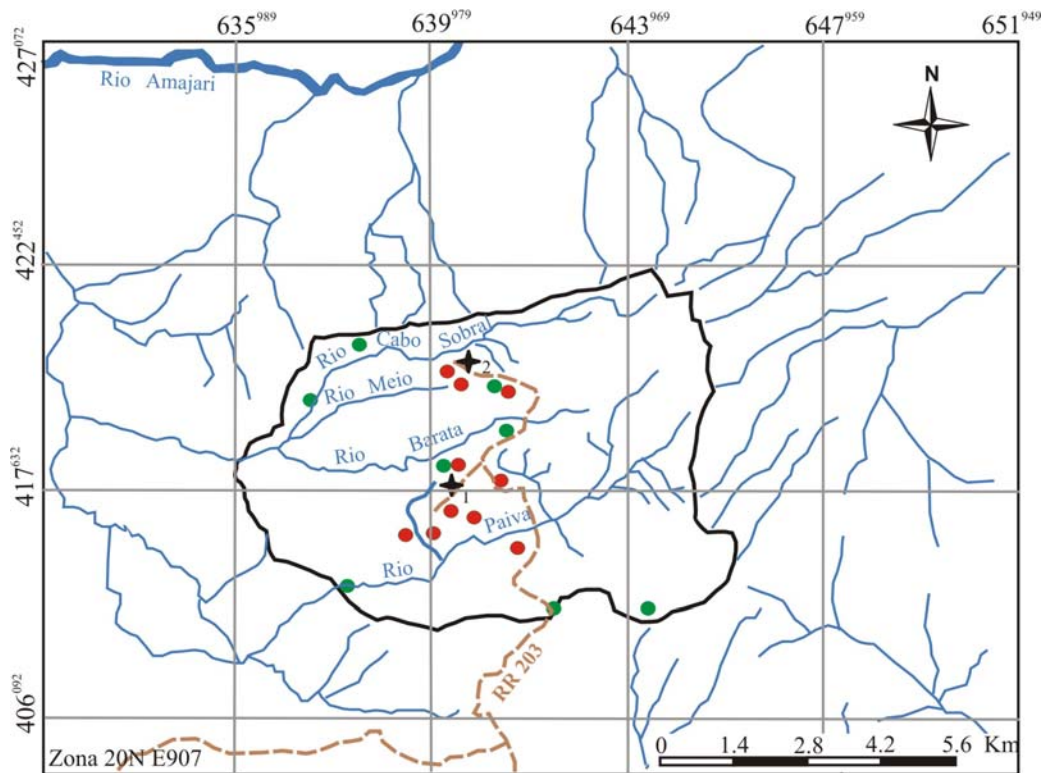
**Figura 9- Aquisição das medidas de largura e profundidade das calhas de feições erosivas lineares: (A) voçoroca Cabo Sobral-2 e (B) voçoroca Tepequém-1. Fonte: Fotos de Roberto Carlos Caleffi.**

### 3.2.2.3 Procedimentos para descrição de perfis de solo e afloramentos rochosos

A descrição morfológica de perfis de solo foi realizada em taludes (paredes) de oito feições erosivas, segundo o método de Lemos e Santos (1996) com identificação dos parâmetros físicos: determinação da profundidade, textura, horizontes, consistência, estrutura e presença de raízes. As linhas de pedra quando presentes nos perfis de solo foram descritas quanto aos aspectos: arranjo, forma, espessura, localização no perfil e tamanho dos fragmentos.

A cor do solo foi determinada através da comparação com as cores da carta de Munsell Soil Color (Munsell Color Company, 2000).

Foram descritos dezesseis afloramentos de rochas ao longo de cortes de estrada, nas encostas N-NW (margem direita do rio Cabo Sobral e cachoeira do Funil), na planície intermontana e entorno (morro da antena), na borda SW (cachoeira do Paiva) e borda SE da serra, bem como, das exposições rochosas encontradas nas voçorocas (Figura 10). Essas informações são apresentadas ao longo do capítulo seguinte.



### Legenda

- Pontos de amostragem de solo
- Pontos de amostragem de rocha
- └ Rios e igarapés
- - Estrada
- ★ Vilas  
(1) Tepequém  
(2) Cabo Sobral
- ▭ Limite da serra Tepequém

**Figura 10- Mapa de localização dos pontos de coleta dos materiais (solo e rocha) na serra Tepequém – RR.**

#### 3.2.2.4 Coleta de amostras

Foram coletadas amostras de solos, carvão e rochas nos diferentes pontos mencionados anteriormente.

a) Solos - Foram coletados nos diferentes horizontes dos perfis de solo exposto em talude de voçorocas, utilizando-se um trado manual. Foram coletadas trinta e seis amostras destes



materiais, cada uma com cerca de 1,5 kg, para posterior análise das características físicas, químicas e mineralógicas. Além destas amostras foram coletadas vinte e cinco amostras de solo, destinadas às análises de umidade volumétrica e densidade de solo. Estas amostras foram retiradas com extrator e anel volumétrico de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume de 91,61 cm<sup>3</sup> (Figura 11 A), identificadas, imediatamente pesadas em balança de precisão do tipo Alemã, e armazenadas em saco plástico.

b) Linhas de pedra - As amostras coletadas correspondem aos fragmentos de rochas, minerais e a matriz (Figura 11 B), no total de quatro amostras, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos.



**Figura 11- Coleta de solos em taludes de voçorocas (A) com auxílio de anel volumétrico de aço e (B) em linha de pedra situada na voçoroca do Paiva.**

Fonte: Fotos de Roberto Carlos Caleffi.

c) Carvão - Foram coletadas 3 amostras representando um possível perfil estratigráfico de material transportado localizado em talude (parede) da voçoroca denominada Tepequém 2 (VT2). As amostras foram condicionadas em saco plástico, etiquetadas e identificadas, e posteriormente encaminhadas para análises de radiocarbono.

d) Perfil laterítico – Foi amostrado um perfil localizado na porção centro-norte da serra Tepequém, com coleta de três amostras, identificadas e armazenadas em saco plástico.

e) Amostras de rochas – Foram coletadas dezesseis amostras de rochas em vários pontos da serra Tepequém (encostas N-NW, SE e SW e Morro da Antena), identificadas e armazenadas em saco plástico.

### 3.2.2.5 Entrevista com moradores da serra Tepequém

Durante os trabalhos de campo, foram realizadas entrevistas com moradores da Vila de Tepequém, com o objetivo de obter informações sobre: a) o histórico de ocupação antrópica da área, b) a contribuição da atividade do garimpo na intensificação das feições erosivas lineares, c) o uso das cavas utilizadas no garimpo com a atividade de piscicultura, d) a contribuição dessa nova atividade (piscicultura) na expansão das áreas de aluviões ao longo da margem direita do rio Paiva. As informações obtidas serviram de apoio às observações realizadas em campo, em relação à contribuição da atividade antrópica na gênese e evolução das feições erosivas lineares (voçorocas).

## 3.2.3 Tratamento das imagens digitais

### 3.2.3.1 Pré-processamento das imagens

Inicialmente, foram aplicadas as operações básicas de pré-processamento, que serviram para atenuar a interferência dos constituintes atmosféricos (correção atmosférica) e para georreferenciar as imagens digitais do Landsat-5/TM dos anos 1984 e 1995 e Cbers-2/CCD de 2006.

Na correção atmosférica das imagens, foi aplicado o método de subtração do pixel escuro (CRANE, 1971), que consiste em avaliar a média dos valores digitais (ND-Número Digital) de alvos selecionados, a exemplo das sombras de relevo ou de nuvens, ou ainda corpos d'água limpa, que teoricamente deveriam ter valor do ND igual a zero, mas em decorrência da interferência atmosférica esses alvos passam a ter valor de ND maior que zero. Dessa maneira, foram avaliados os histogramas das imagens e identificados os pixels que deveriam apresentar valores de reflectância nula e estes foram reclassificados, a partir da subtração dos ND médios de cada banda, pelos níveis de cinza de todos os pixels da imagem, da referida banda, proporcionando uma melhoria significativa na imagem pela atenuação dos efeitos atmosféricos.

Posteriormente, foi realizado o georreferenciamento das imagens, utilizando o modelo de transformação polinomial de 3º grau e método de interpolação do vizinho mais próximo (CRÓSTA, 2002). A técnica consiste em identificar e registrar as coordenadas geográficas -

UTM dos pontos de controle que eram comuns entre a imagem digital e a carta plani-altimétrica Vila de Tepequém na escala de 1:100.000, além das coordenadas (pontos de controle) adquiridos com GPS durante os trabalhos de campo. Os pontos de controle foram escolhidos em feições possíveis de serem identificadas de modo preciso no mapa e na imagem, a exemplo de cruzamento de estradas (Tepequém-Trairão), pontes, dentre outros.

A etapa seguinte consistiu na seleção dos pontos para cálculo do erro médio quadrático (RMS) em unidade de resolução de pixel, os valores alcançados (Tabela 2) foram considerados satisfatórios.

**Tabela 2- Número de pontos de controle e erros médios quadráticos (RMS) obtidos no georreferenciamento das imagens ópticas.**

| <b>Satélite/Sensor</b> | <b>Data da passagem</b> | <b>Pontos de controle</b> | <b>Erro médio quadrático (RMS)</b> |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Landsat-5/TM           | 22/11/1984              | 13                        | 0.35                               |
| Landsat-5/TM           | 04/10/1995              | 23                        | 0.88                               |
| Cbers-2/CCD            | 29/03/2006              | 13                        | 0.63                               |

### 3.2.3.2 Processamento das imagens digitais

Com a efetivação do processo de georreferenciamento das imagens, foram realizadas as operações de realce pela técnica de ampliação linear do contraste (CRÓSTA, 2002), a partir das análises dos histogramas de frequência dos níveis de cinza dos pixels de cada banda, objetivando a melhoria da qualidade visual das imagens. As composições 5R4G2B (Landsat-5/TM) e 3R4G2B (Cbers-2/CCD) foram consideradas as mais adequadas, por ter apresentado melhor contraste no componente (cobertura vegetal), com isso, possibilitou estabelecer uma classificação da cobertura vegetal e posteriormente a elaboração do mapa de cobertura vegetal da serra Tepequém.

Para a composição do mapa de cobertura vegetal da serra Tepequém, foi utilizada a técnica de classificação de imagem do tipo supervisionada, sendo empregado o algoritmo de máxima verossimilhança (MaxVer).

Para a identificação dos domínios de vegetação foram consideradas as variáveis: (a) a variação tonal dos níveis de cinza dos pixels; (b) textura; e (c) a base de conhecimento da área de estudo, através das informações obtidas em campo.

Em seguida, as amostras de treinamento foram digitalizadas em polígonos em tela, sobre áreas que representavam as classes de vegetação previamente definidas com objetivo de alimentar o algoritmo de classificação. Segundo Moreira (2003), a fase de treinamento consiste em fornecer ao sistema um conjunto de pixels, representativo de cada alvo correspondente às classes na imagem a ser classificada, e a análise das variáveis estatísticas referentes a acurácia do processo de classificação.

A avaliação e validação dos mapas elaborados foram realizadas a partir da análise do coeficiente *Kappa* gerados na análise visual do produto final. Os valores da estatística *Kappa* que apoiaram a classificação das unidades de vegetação foram obtidos em Landis e Koch (1977).

Depois dos procedimentos referentes à classificação digital, prosseguiu-se com a edição e ajuste das classes e legenda, tendo em vista a apresentação final do mapa de cobertura vegetal da serra Tepequém para os períodos de 1984, 1995 e 2006.

#### 3.2.4 Banco de dados e sistema de informação geográfica

Na elaboração dos mapas temáticos utilizou-se o geoprocessamento, através de um banco de dados espacializado em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os softwares empregados foram SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) e ArcGIS (Sistema de Informação Geográfica).

O processo de captura dos dados consistiu em transformar mapas analógicos em digitais, e armazená-los no banco de dados. Este processo foi realizado de diferentes maneiras: (a) os dados da carta topográfica folha Vila de Tepequém na escala de 1:100.000, já consistia de um arquivo digital, sendo vetorizado as curvas de nível e drenagem; (b) as informações do mapa de geologia foram capturadas através de scanner e posterior vetorização.

Os limites geográficos do polígono de estudo foram delimitados pelas coordenadas UTM Zona 20N E907 (666000 – 611000 e 387000 – 442000). As cenas do Landsat-5/TM dos anos de 1984 e 2005, bem como do Cbers-2/CCD de 2006 foram recortadas, de forma a se obter apenas

as áreas referentes ao limite da serra Tepequém contido no retângulo envolvente do projeto e também incorporada ao ambiente SIG.

A partir dos dados incorporados ao banco de dados, foram gerados os seguintes produtos:

a) Modelo Numérico de Terreno (MNT) – Os dados de altimetria obtidos da carta planialtimétrica Vila de Tepequém (1:100.000) e do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), através de processamento e análises em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas), possibilitaram a construção de um Modelo Numérico de Terreno (MNT), tanto na forma matricial como vetorial (Rede Irregular de Triângulos – TIN), bem como, dos mapas de altimetria e de declividade, além de imagens em visualização 3D e do Modelo Digital de Terreno (MDT). Este último na forma de imagem em tons de cinza de 8 bits. Estes dados foram importantes na delimitação da compartimentação do relevo, servindo como apoio à visualização dos patamares de relevo da área, proporcionando melhor interpretação dos diferentes níveis altimétricos e de declividade da superfície do terreno, e possibilitando relacionar os elementos de relevo com a estrutura geológica.

b) Mapa de altimetria – A elaboração deste mapa deu-se pela classificação do MNT, as classes variaram de < 100 m a 1100 m de altitude ver Figura 15 A. Como mencionado anteriormente, esses dados permitiram a geração de uma imagem em níveis de cinza de 8 bits, correspondente ao MDT, sobre a qual foi aplicada uma ampliação de contraste por meio de uma função de quantização normalizada e uma tabela de pseudocores para converter ao espaço RGB, a fim de melhor visualizar a variação de altimetria da área estudada. Em seguida, foi realizada a integração digital via técnica IHS entre as imagens do MDT colorizado e a de multiplicação Landsat 5 (TM4 X TM5), sendo que a imagem do MDT serviu como entrada na conversão RGB-IHS. No domínio IHS, o canal intensidade (I) é substituído pela imagem resultante de operação de multiplicação entre as bandas TM4 e TM5, os canais matriz (H) e saturação (S) foram mantidos. Por fim, foi realizada a transformação IHS-RGB para obtenção do produto integrado ver Figura 15 B.

c) Mapa de declividade - Este mapa foi gerado a partir de operações matemáticas envolvidas no conjunto de técnicas de geoprocessamento aplicado sobre os dados altimétricos, foi possível obter um MNT relativo à declividade, sobre o qual, da mesma forma que na altimetria, foi realizado as operações de classificação, obtendo classes variando de <5° a >30° ver Figura 16 A, geração do MDT colorizado e a integração digital via técnica IHS ver Figura 16 B. Os intervalos de

declividades foram admitidos como aqueles que melhor representam a modelagem da superfície do terreno da área de estudo, que permitem destacar as feições morfológicas como cristas e vales.

d) Mapa de compartimentos geomorfológicos – A compartimentação geomorfológica regional, foi elaborada a partir das unidades geomorfológicas descritas por Franco, Del’Arco e Rivetti (1975) e CPRM (1999), tendo como base cartográfica a carta plani-altimétrica (escala 1:100.000) e a imagem integrada do MDT colorizada e a de multiplicação Landsat 5 (TM4 X TM5). Já os compartimentos geomorfológicos identificados no topo da serra Tepequém, foram delineados a partir da interpretação visual, tendo como base os dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Na individualização dos compartimentos geomorfológicos foram considerados os fatores: altimetria, formas dos topos e declividade das vertentes.

e) Mapa de drenagem – Este mapa foi elaborado a partir da interpretação da imagem Landsat 5TM (bandas 5, 4 e 2) de outubro/1995 e a carta plani-altimétrica (escala 1:100.000). Foram representados os canais principais, bem como os de 1ª e 2ª ordem. A interpretação e individualização dos padrões da rede de drenagem seguiram os métodos de Howard (1967) e a hierarquia foi baseada na proposta de Strahler (1952). A análise sistemática das propriedades da rede de drenagem, por exemplo, densidade, angularidade, tropia e assimetria, possibilitaram definir as zonas homólogas, conforme descritas em Veneziani e Anjos (1982).

f) Mapa de lineamentos estruturais – Os lineamentos foram traçados a partir das feições lineares de relevo (cristas e vales) e drenagem (trechos retilíneos, padrões e anomalias) conforme O’leary, Friedman e Pohn (1976) e Veneziani e Anjos (1982), tendo como base o mapa de drenagem (anteriormente descrito) e interpretação de imagens de sensores ópticos. Os indicadores cinemáticos foram obtidos a partir dos modelos regionais vigentes elaborados por Hasui (1990), Costa et al. (1996), CPRM (1999) e Tavares Júnior (2004), além de interpretações das imagens ópticas.

### 3.2.5 Análise granulométrica dos solos

As amostras de solos foram inicialmente secas em temperatura ambiente, e então peneiradas em malha de 2 mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, foi feita a separação das frações areia, silte e argila. A separação da fração areia foi conduzida por peneiramento a seco, enquanto as frações silte e argila foram por via úmida. Na fração areia foi

determinado o grau de arredondamento e esfericidade dos seus grãos. As técnicas serão descritas a seguir.

Os procedimentos empregados são os da EMBRAPA (1997) e as análises foram conduzidas nos Laboratórios de Sedimentologia e Gemologia do Instituto de Geociências da UFPA.

a) Separação das frações areia, silte e argila

Para a separação nas frações areia, silte e argila, as amostras foram homogeneizadas, quarteadas e analisadas a partir de volumes iniciais de 100 g. As amostras são colocadas em beckeres com água destilada e desagregadas em aparelho de ultra-som de marca Thornton, em seguida, peneiradas em malha de abertura 0,062 mm (250 mesh), com o objetivo de separar a fração areia e matéria orgânica da fração fina (silte e argila).

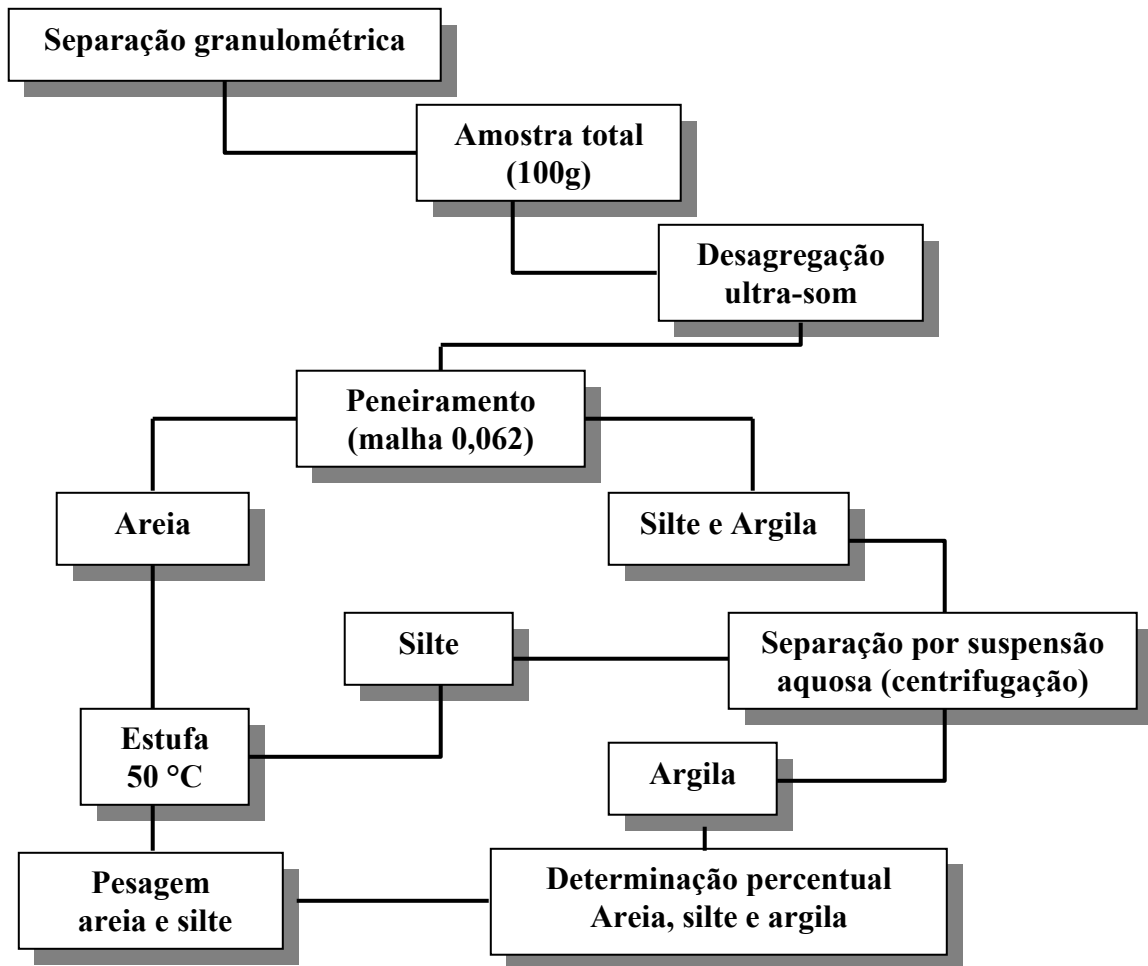
As frações silte e argila foram separadas por suspensão aquosa, obtida através da centrifugação, utilizando 1.000 rpm durante dois minutos. A alíquota da solução argila foi pipetada sobre lâminas de vidro e depois de secas foram submetidas à análise por difração de raios X (lâmina orientada, glicolada e aquecida) para identificação dos minerais de argila, especialmente.

As frações areia e silte após secagem na estufa a 50 °C foram pesadas, tendo assim, a determinação das porcentagens acumuladas. O somatório (areia e silte) foi subtraído do peso inicial da amostra (100 g) para a determinação do percentual da fração argila (Figura 12).

b) Separação da fração areia (peneiramento a seco)

Após a secagem e pesagem da fração areia, foi realizado o peneiramento a seco para determinação dos valores percentuais nas frações areia grossa (2 a 0,50 mm), média (0,50 a 0,25 mm) e fina (0,25 a 0,06), sendo adotada a escala de Atterberg (SUGUIO, 1973). Para isto, foi utilizado um conjunto de peneiras de abertura (2,00, 1,41, 1,00, 0,710, 0,500, 0,350, 0,250, 0,177, 0,125, 0,088 e 0,062 mm), colocadas em agitador mecânico por 12 minutos, sendo posteriormente pesadas às frações retidas nas peneiras.

Os dados granulométricos foram tratados com o software SYSGRAN na versão 2.4, adotando a classificação de Folk e Ward (1957), que permite obter informações sobre diâmetro médio das partículas, grau de seleção, grau de assimetria e curtose. Esses dados são apresentados na forma de tabela e diagramas triangulares tipo Shepard (1954).



**Figura 12- Fluxograma da seqüência a que foram submetidas às amostras de solo para a separação granulométrica.**

c) Determinação do grau de arredondamento e esfericidade dos grãos

A morfologia dos grãos foi observada nas frações areia grossa (2,00-0,50 mm), média (0,50-0,25 mm) e fina (0,25-0,06 mm) aplicando os procedimentos de Folk e Ward (1957). Os grãos foram observados em lupa binocular, a qual estava acoplada a uma câmara fotográfica e posteriormente em microscópio eletrônico de varredura (MEV). As imagens obtidas permitiram avaliar a morfologia e esfericidade dos grãos bem como calcular as proporções percentuais dos seus diferentes domínios. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Gemologia e Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências da UFPA.



### 3.2.6 Determinação da densidade do solo

A determinação da densidade do solo foi realizada com as amostras coletadas com anel volumétrico. Foram determinadas as densidades aparente e de partículas do solo (ou densidade real).

#### a) Densidade aparente do solo

Inicialmente, as amostras foram secas em estufa a 105<sup>0</sup>C por 24 horas e, em seguida, pesadas. A densidade aparente do solo é calculada a partir da equação:

$$\text{Densidade aparente do solo (g/cm}^3\text{)} = m / V$$

Onde,

m = Peso da amostra seca a 105<sup>0</sup>C

V = Volume do anel volumétrico

#### b) Densidade de partículas do solo

A densidade de partículas ou densidade real foi determinada a partir de 20g de solo, secas em estufa a 105<sup>0</sup>C por 12 horas, mantidas em dessecador e novamente pesadas. Posteriormente, a amostra foi transferida para um balão aferido de 50 mL, sendo adicionado álcool etílico até completar o volume do balão. Os dados referentes ao volume de álcool consumido e o peso da amostra seca a 105<sup>0</sup>C, permitiram calcular a densidade de partículas do solo através da equação abaixo.

$$\text{Densidade de partículas (g/cm}^3\text{)} = m / 50 - V$$

Onde,

m = Peso da amostra seca a 105 °C

V = Volume de álcool consumido

Os procedimentos empregados para a determinação das densidades aparente e de partículas do solo basearam-se em EMBRAPA (1997), e foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia da UFPA e no Laboratório de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA - Amazônia Oriental), respectivamente.

### 3.2.7 Umidade do solo

Para a determinação da umidade do solo as amostras foram inicialmente pesadas ainda no momento da coleta ( $M_m$  - peso da amostra úmida), posteriormente seca em estufa a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas e pesadas novamente ( $M_s$  - peso da amostra seca). A umidade do solo volumétrica e gravimétrica foi quantificada segundo as equações abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Umidade gravimétrica} &= 100 \times M_m - M_s / M_s \\ \text{Umidade volumétrica} &= 100 \times M_m - M_s / V \end{aligned}$$

Onde,

$M_m$  = Peso da amostra úmida(g)

$M_s$  = Peso da amostra seca (g)

$V$  = Volume ( $\text{cm}^3$ ) no anel volumétrico

Os procedimentos empregados são aqueles da EMBRAPA (1997) e as análises foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFPA.

### 3.2.8 Medidas de pH do solo

O pH do solo foi determinado em  $\text{H}_2\text{O}$  segundo método de Tomé Júnior (1997) e solução KCl pelo método da EMBRAPA (1997).

Inicialmente as amostras de solo foram homogeneizadas e peneiradas em malha de 2 mm, com a utilização apenas da fração  $< 2$  mm. Em seguida, foram pesadas 10 gramas de cada amostra, colocadas em frascos de polietileno, aos quais foram adicionados 20 mL de água

deionizada, portanto uma razão de massa 10:20 (solo: água). Essa mistura foi deixada em repouso por 30 minutos, sendo em seguida agitada e deixada novamente em repouso por mais 1 hora e então realizada a leitura do pH da água sobrenadante com auxílio de potenciômetro de marca METROHM HM744. Os procedimentos para a determinação do pH em solução KCl foram os descritos anteriormente, inclusive a razão de massa 10:20 (solo: solução de KCl).

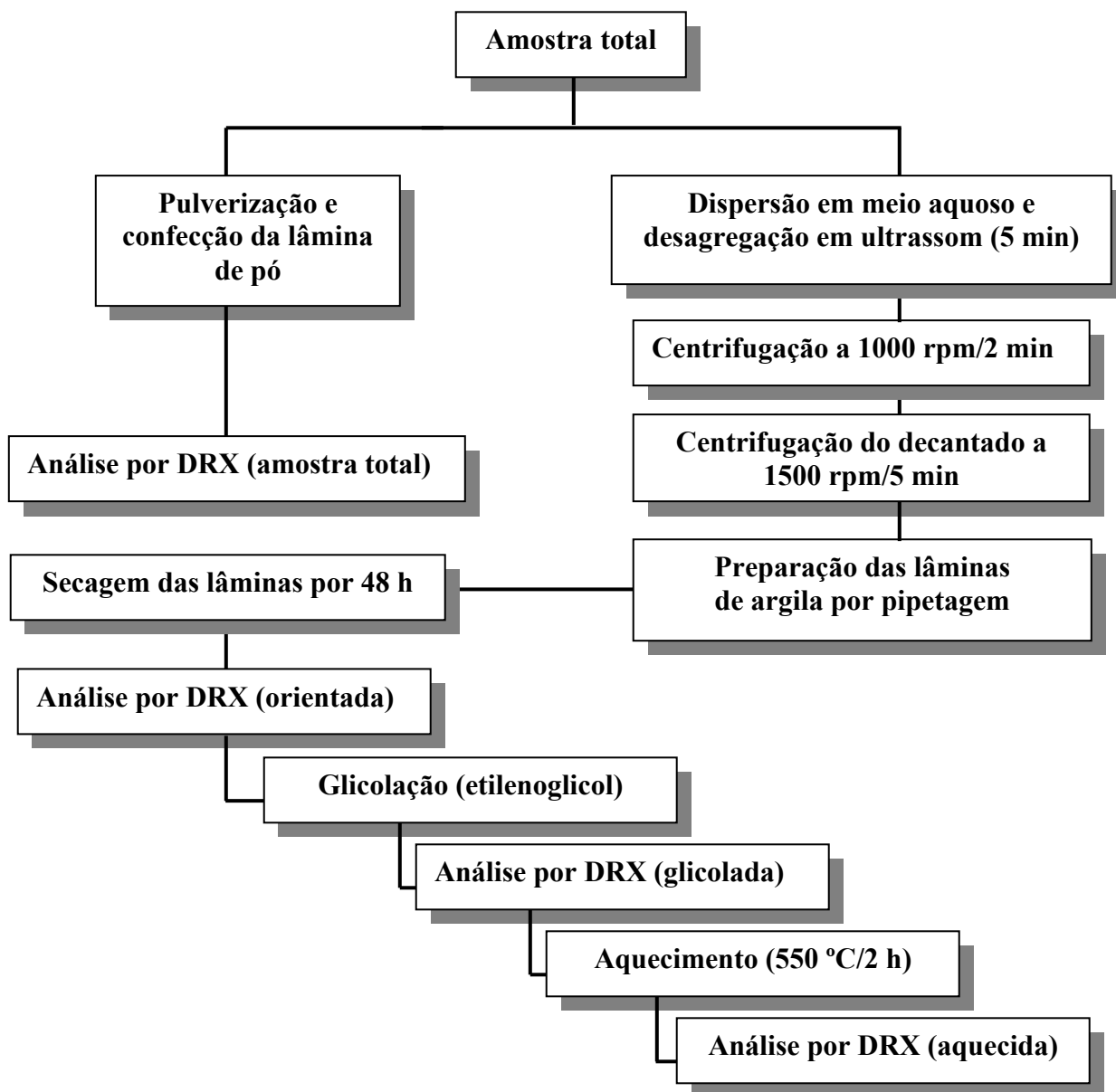
As determinações de pH dos solos em H<sub>2</sub>O foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Instituto de Geociências da UFPA e as em solução KCl no laboratório de solos da EMBRAPA (Amazônia Oriental).

### 3.2.9 Identificação mineralógica por difração de raios X

A identificação dos minerais foi realizada por difração de raios X (DRX), utilizando o difratômetro PHILIPS, modelo PW 3710 BASED, equipado com anodo de cobre ( $\lambda_{\text{CuK}\alpha_1} = 1,54060 \text{ \AA}$ ), do laboratório de Difração de raios-X do Instituto de Geociências da UFPA.

Inicialmente, as amostras de solo foram pulverizadas em gral de ágata e empregadas para a confecção da lâmina de pó (análise denominada amostra total). Uma alíquota da amostra in natura foi empregada para a separação por suspensão aquosa da fração argila. Uma alíquota desta solução foi pipetada sobre lâmina de vidro, que foi seca ao ar e então submetida à análise por DRX (análise denominada natural). Esta mesma lâmina foi posteriormente colocada em dessecador e submetida ao etilenoglicol por 24 horas e analisada por DRX (análise denominada glicolada); a mesma lâmina foi então, por último, aquecida durante 2 horas em mufla a 550°C e novamente analisada por DRX (análise denominada aquecida). Estes procedimentos estão esquematizados na figura 13.

As análises por DRX foram realizadas no intervalo de 5° a 65° 2 $\theta$  para amostra total e de 3° a 35° 2 $\theta$  para as lâminas orientada, glicolada e aquecida. A identificação dos minerais foi feita com auxílio dos softwares APD (PHILIPS), XPERT e Minerva, com banco de dados do ICDD (*International Center for Diffraction Data*). A identificação dos minerais de argila, foi feita por comparação entre os difratogramas das lâminas (orientada, glicolada e aquecida) com auxílio dos trabalhos de Moore e Reynolds (1989) e Resende et al. (2005).



**Figura 13-** Fluxograma da seqüência de como foi obtida a identificação mineral por difração de raios X em amostra total e argila.

### 3.2.10 Medidas do conteúdo de matéria orgânica

O conteúdo de matéria orgânica foi determinado a partir de aproximadamente 5g de solo pelo método da EMBRAPA (1997), que consiste de oxidação do carbono orgânico por dicromato

de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado. A análise foi realizada no laboratório de solos da EMBRAPA (Amazônia Oriental).

### **3.2.11 Composição química total em solo e rocha**

A composição química total nas amostras de solo e rocha foi determinada a partir de 5 g de cada amostra que foram pulverizadas e fundidas com metaborato/tetraborato de lítio e solubilizada por via ácida. Os elementos maiores foram determinados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), segundo método Codes Lithochem Standard Paackage e materiais de controle W2 e WHG -1 (ACTLABS Group Website, 2000) do Actlabs Laboratories – Ltd, no Canadá.

### **3.2.12 Quantificação mineralógica**

A quantificação do conteúdo dos minerais de cada amostra foi realizada através de cálculos estequiométricos, tendo como base os resultados das análises mineralógicas por difração de raios X e aqueles das análises químicas.

### **3.2.13 Datação radiocarbono de carvão**

A determinação da idade absoluta de deposição de sedimentos e/ou solos foi realizada pelo método de radiocarbono a partir de amostras de carvão contida nos mesmos. Para tal, foi empregado espectrometria de massa por aceleração (AMS-facility), com utilização da dendrocronologia para determinação da concentração de  $^{14}\text{C}$  ([www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de)). Essas análises foram realizadas no laboratório do Physikalisches Institut da Universidade de Erlangen na Alemanha.

### **3.2.14 Micromorfologia e química de partículas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Espectrometria de Dispersão de Raios X (EDS)**

Para a identificação e caracterização da micromorfologia das partículas minerais e orgânicas bem como para a determinação de sua composição química empregou-se a técnica Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Espectrometria de Dispersão de Raios X (EDS) tanto amostras de solo in natura quanto a sua fração areia. Os grãos de areia foram previamente selecionados com auxílio da lupa binocular e colocados em suporte de alumínio e secos em estufa com temperatura a 30<sup>0</sup>C e então metalizados com ouro com auxílio do EMITEC K550, sob vácuo de 3X10<sup>-1</sup> e corrente de 25 mA. Utilizou-se microscópio eletrônico de varredura modelo LEO VP 1450 e espectrometria de dispersão de raios X modelo SED 500 DP. Estas análises foram realizadas no laboratório de microscopia eletrônica de varredura do Instituto de Geociências da UFPA.

### **3.2.15 Tratamento dos dados**

Para o tratamento dos dados granulométricos, químicos, mineralógicos, matéria orgânica, umidade e densidade do solo, foram utilizados os seguintes aplicativos:

- a) SYSGRAN v. 2.4- para os dados granulométricos que são apresentados na forma de tabela e diagramas triangulares tipo Shepard (1954).
- b) MICROSOFT EXCEL v. 10 e Origin - para os dados químicos, umidade, pH e densidade do solo são apresentados na forma de gráficos.
- c) APD (PHILIPS), XPERT - na identificação dos minerais nos solos e rocha, e são apresentados na forma de difratogramas.

## 4 CONTEXTUALIZAÇÃO MORFOLÓGICA REGIONAL DA SERRA TEPEQUÉM

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

A serra Tepequém está situada em região dominada pelo Planalto Dissecado do Norte da Amazônia (Figura 14), que consiste de serras, colinas, morros residuais e superfícies planas a levemente onduladas. Por outro lado, a serra Tepequém corresponde um setor do Planalto Sedimentar Roraima de Franco, Del'Arco e Rivetti (1975) e CPRM (1999). As feições morfológicas da paisagem regional considerada apresentam diferenças marcantes de altimetria (Figura 15) e declividade (Figura 16), e contribuem no estabelecimento de uma paisagem distinta no norte de Roraima.

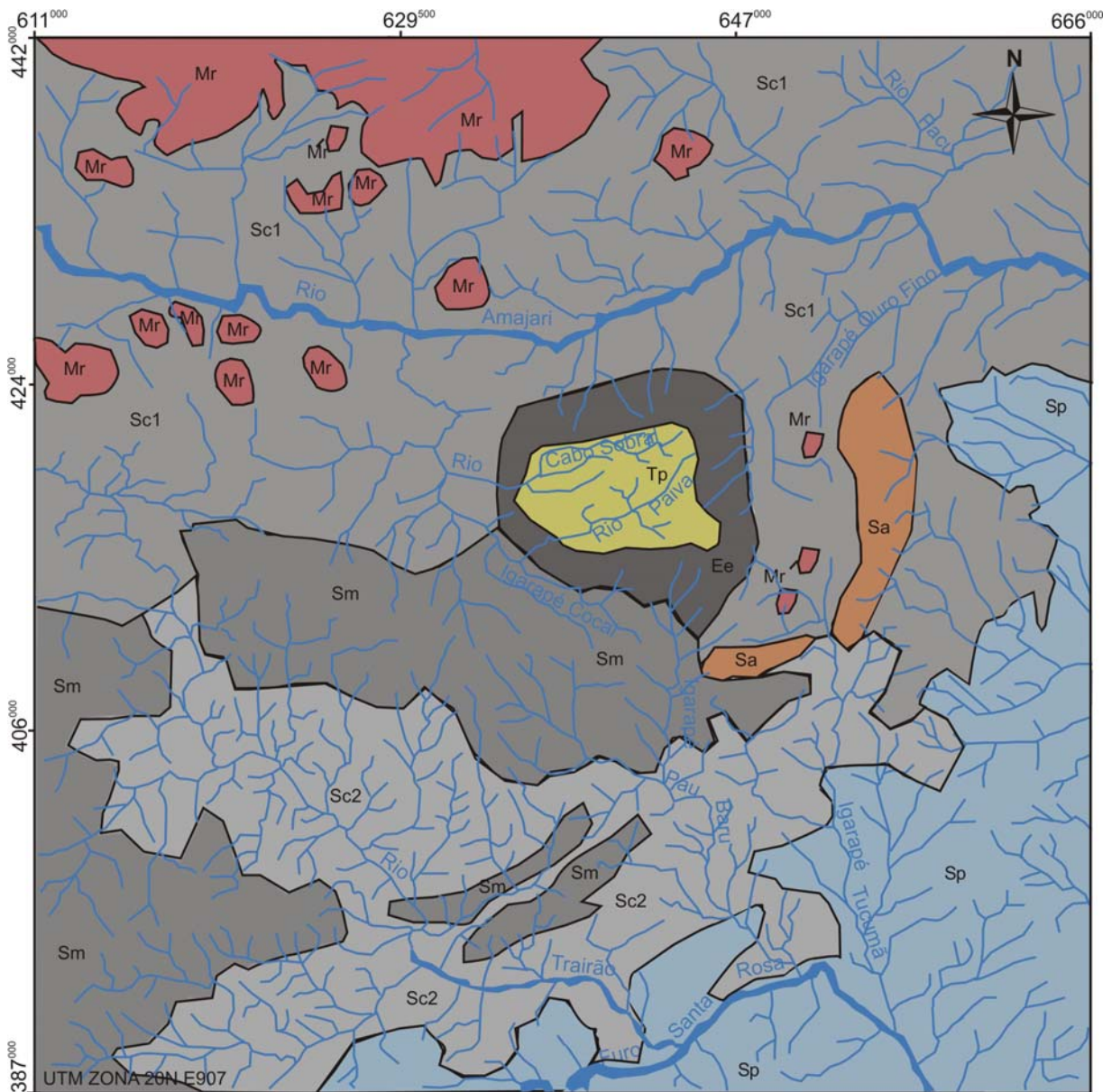
#### 4.1.1 Planalto Sedimentar Roraima

Esta unidade é representada na região pela serra Tepequém (Figura 17) apresenta altitudes entre 575 a 1.100 metros, exhibe contornos de escarpas erosivas representando recuo de planos de falhas normais, com vertente de declividade muito alta (superior a 30°) que no sopé se limitam com extensos pedimentos ravinados do Planalto Dissecado do Norte da Amazônia de Franco, Del'Arco e Rivetti (1975). A morfologia da serra Tepequém é elaborada sobre rochas sedimentares do Paleoproterozóico relacionadas à Formação Tepequém (CPRM, 1999).

#### 4.1.2 Planalto Dissecado do Norte da Amazônia

Esta unidade representa a maior parte do relevo da região considerada e compreende oito unidades morfológicas distintas:

a) Serra Aricamã (Sa) – Está situada a leste da serra Tepequém, com alinhamento principal N-S e secundário NE-SW e ENE-WSW à medida que se dirige para a terminação sul. Apresenta altitudes médias de 750 metros e pontões isolados que atingem até 905 metros na extremidade norte. Em geral, exhibe superfície de cristas convexas e vertentes ravinadas com declividade superior a 30°, recoberta pela floresta do tipo ombrófila densa. Sua morfologia representa um relevo de erosão diferencial elaborado em rochas granitóides do Paleoproterozóico da suíte intrusiva Saracura (CPRM, 1999) (Figura 18).

**LEGENDA****Planalto Sedimentar Roraima**

- Tp**  Serra Tepequém (575 a 1.100 m)
- Ee**  Escarpa erosiva de entorno da Serra Tepequém
- Rios e igarapés**

**Planalto Dissecado do Norte da Amazônia**

- Sa**  Serra Aricamã (750 m)
- Mr**  Morros isolados e agrupados (300 a 750 m)
- Sm**  Superfícies de morros (250 a 300 m)
- Sc1**  Superfícies colinosas (150 a 250 m)
- Sc2**  Superfícies colinosas (100 a 150 m)
- Sp**  Superfícies planas a levemente onduladas (<100 m)

**Figura 14-** Mapa geomorfológico da região da serra Tepequém elaborado a partir das unidades morfoestruturais de Franco, Del'Arco e Rivetti (1975) e CPRM (1999) e imagem integrada do MDT e a de multiplicação Landsat 5 (TM4 X TM5).



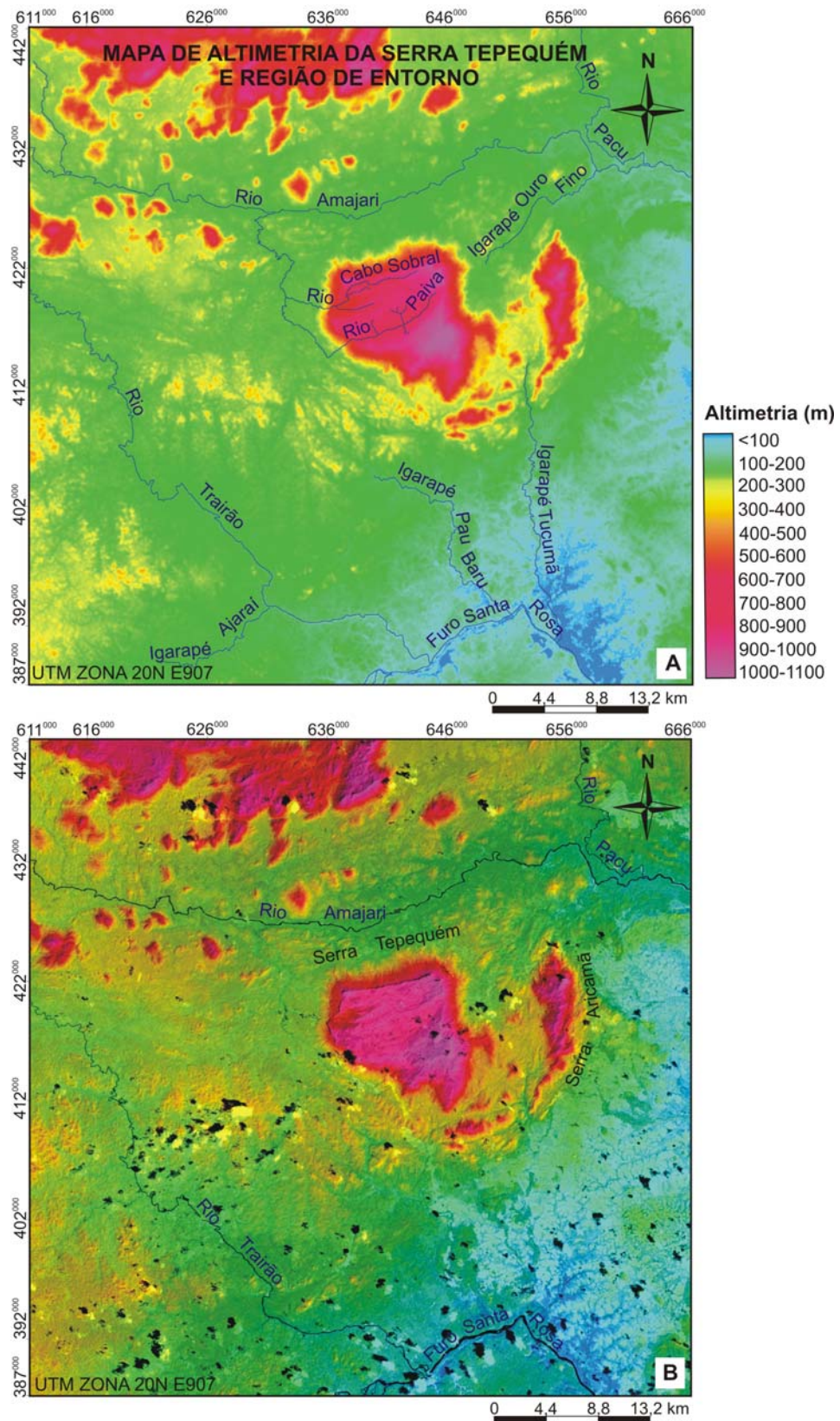


Figura 15- (A) Mapa de altimetria da serra Tepequém e região de entorno e (B) integração digital deste com a imagem Landsat 5TM (banda 4 e 5) de novembro de 1984.

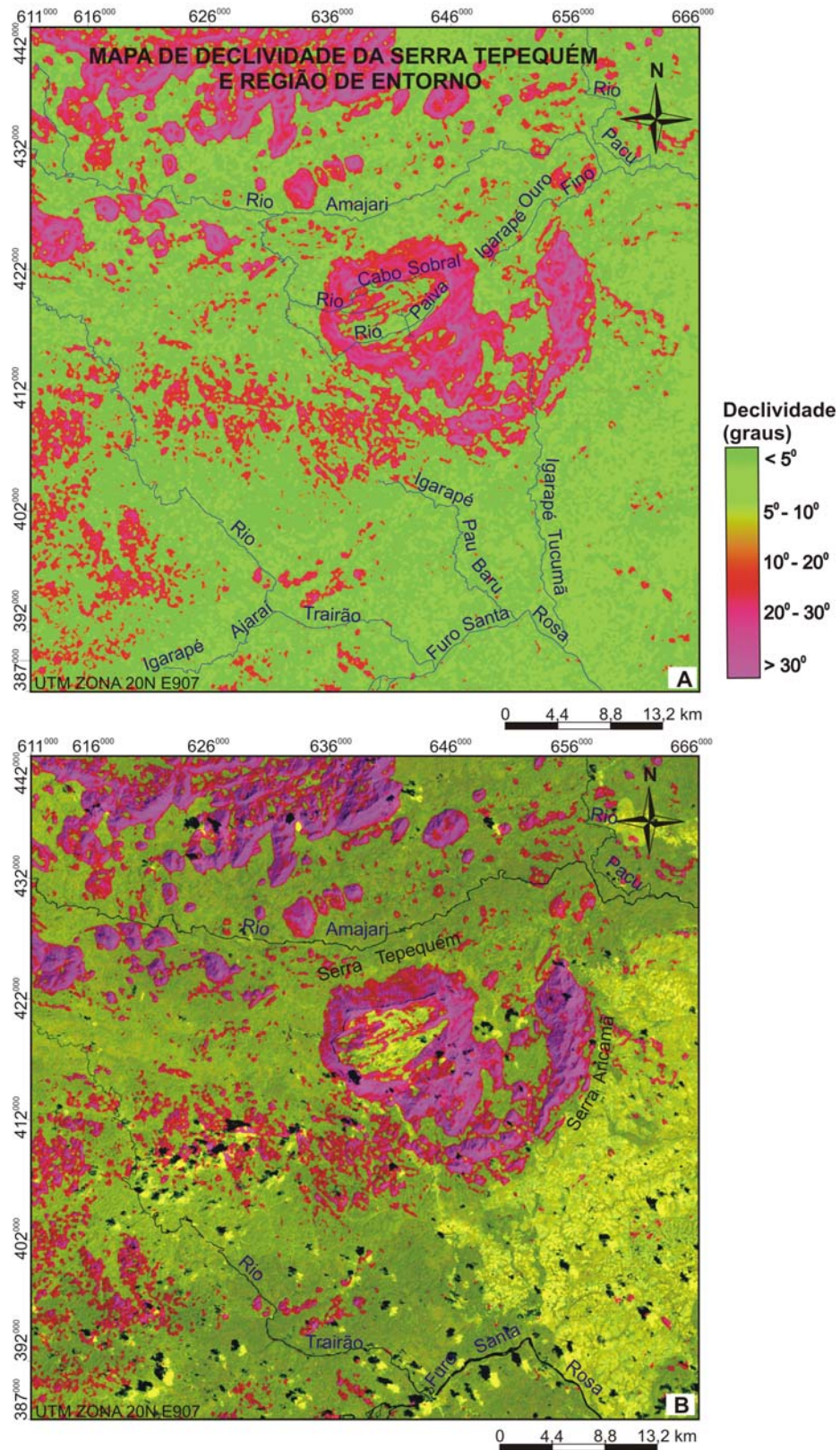
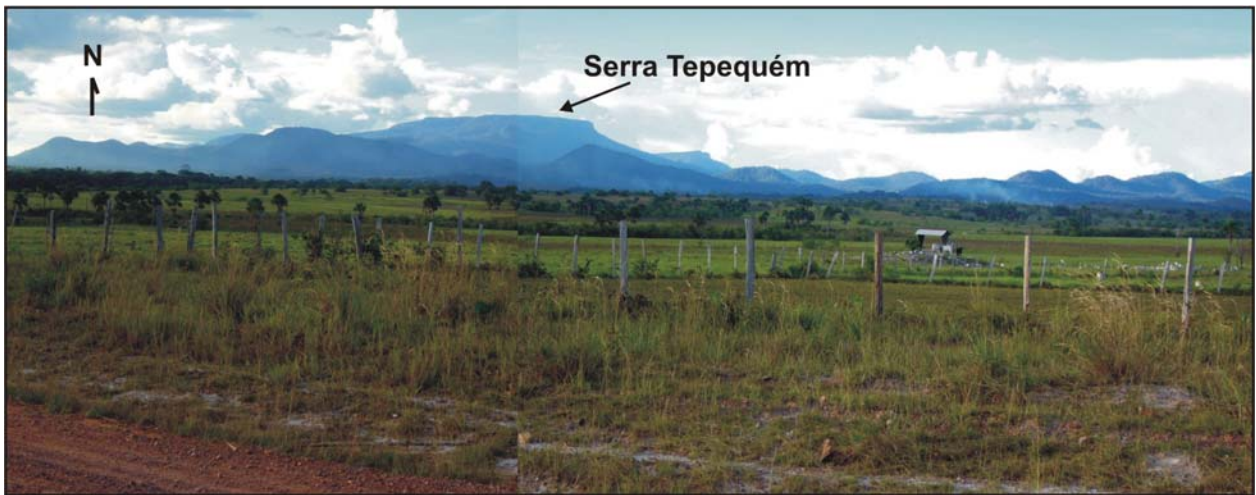


Figura 16- (A) Mapa de declividade da serra Tepequém e região de entorno (B) integração digital deste com a imagem Landsat 5TM (banda 4 e 5) de novembro de 1984.





**Figura 17- Serra Tepequém (Planalto Sedimentar Roraima) bordejada por relevo de colinas (Planalto Dissecado Norte da Amazônia) e em primeiro plano, a extensa superfície aplainada Rio Branco - Rio Negro.**



**Figura 18- Serra Aricamã representada por cristas e vertentes alinhadas e ravinadas recobertas pela floresta ombrófila densa.**

b) Morros isolados e agrupados (Mr) - O domínio de formas tipo morros isolados e agrupados encontram-se a norte e noroeste da serra Tepequém. Estes morros constituem formas de relevo tipo residual “*inselberg*” com altitudes que variam de 250 a 500 m (aqueles situados na margem direita do rio Amajari) e quando agrupados alcançam altitudes de até 750 m (margem esquerda do rio Amajari); apresentam topo de cristas convexas e vertentes de declividade que variam de 10° a 20° e se destacam na paisagem dominada por relevo plano a colinoso de altitudes entre 150 a 250 m; e encontram-se alinhados as direções E-W, ENE-WSW e NE-SW, e são elaborados nas rochas vulcânicas do Grupo Surumu (Paleoproterozóicas).

c) Superfícies de morros (Sm) - Estão situadas ao sul e sudoeste da serra Tepequém, representa um domínio de morros alongados WNW-ESE e subordinadamente NE-SW, próximo ao contato com as superfícies planas a levemente onduladas. Estas feições apresentam altitudes que variam de 250 a 300 m, topos convexas e vertentes com declividade superior a 20°, são elaboradas em rochas vulcânicas do Grupo Surumu (Paleoproterozóico).

d) Superfícies colinosas (Sc1) e (Sc2) - Abrangem áreas situadas a nordeste, oeste e sudeste da serra Tepequém, caracterizadas por colinas com altitudes entre 100 a 250 m, topo convexo e declividades variando de 5° a 10°, são elaboradas sobre rochas vulcânicas do Grupo Surumu e granodioríticas da suíte intrusiva Pedra Pintada (Paleoproterozóico). As superfícies colinosas exibem vales abertos e pedimentados, deste modo com fraco entalhamento.

f) Superfícies planas a levemente onduladas (Sp) - Situam-se a leste e sudeste da região considerada, constituem áreas com altitudes inferiores a 100 m e declividade abaixo de 5°, entretanto, localmente se observam colinas isoladas com altitudes de até 150 m, elaboradas em rochas granodioríticas da suíte intrusiva Pedra Pintada e litotipos do Grupo Cauarane, ambos do Paleoproterozóico.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM

A região do entorno da serra Tepequém é formada pelas bacias de drenagem dos rios Amajari e Trairão, que fluem de oeste para leste e noroeste para sudeste, sendo afluentes respectivamente da margem esquerda do rio Urariqüera e furo Santa Rosa a norte da ilha de Maracá. As bacias de drenagens dos respectivos rios são formadas por canais de até 4ª ordem na classificação de Strahler (1952). O rio Amajari apresenta padrão retilíneo de direção dominante E-W, nas coordenadas (UTM 433000 e 647000) assume a orientação NE-SW, em seguida, volta à direção anterior. O rio Trairão tem orientação NW-SE com longos trechos retilíneos, posteriormente adquire a orientação E-W (UTM 391000 e 638000), retornando a direção anterior próximo a desembocadura no furo Santa Rosa, tais direções são coincidentes com alinhamentos estruturais regionais.

### 4.2.1 Padrões de drenagem

A distribuição espacial da rede de drenagem delinea quatro zonas homólogas de drenagem (Figura 19), quanto ao tipo de padrão e suas propriedades, como: densidade de drenagem, angularidade, tropia e assimetria.

a) Zona homóloga (I) situa-se a norte-noroeste da região considerada, é caracterizada pelo padrão retangular angulado, densidade de drenagem média e confluências de canais formando ângulos retos, média angularidade segundo Veneziani e Anjos (1982), a exemplo dos afluentes da margem esquerda do rio Amajari. A rede de drenagem, neste setor, apresenta hierarquia de até 4ª ordem e canais que se distribuem de forma multidirecional ordenada. Verifica-se forte assimetria de vertentes, com canais mais longos na margem esquerda do rio Amajari, em relação aos da margem direita, forte indicador de soerguimento de bloco, trata-se de assimetria forte segundo Soares e Fiori (1976). O desenvolvimento do padrão retangular angulado neste setor deve-se principalmente, à adaptação às linhas estruturais de direção E-W e NE-SW.

b) Zona homóloga (II) localiza-se na serra Tepequém é caracterizada pelo padrão paralelo, com tributários geralmente espaçados, denotando baixa densidade de drenagem. A rede de drenagem caracteriza-se pela ocorrência de cursos d'água retilíneos com direção predominante NE-SW, apresenta baixa hierarquia (até a 2ª ordem), com fraca assimetria e angularidade variando de baixa (rio Cabo Sobral) a média (rio Paiva), com tropia bidirecional. Observa-se que os canais dos rios Cabo Sobral e Paiva, estão alinhados à direção preferencial das zonas de fraturas e falhas de direção NE-SW, estas são concordantes com o arranjo estrutural regional.

c) Zona homóloga (III) situa-se a sul, abrange a maior parte da drenagem da região considerada. O padrão de drenagem é do tipo treliça de falha, com alta densidade de drenagem e baixa assimetria de vertente, como se observa ao longo do rio Trairão. Os canais apresentam hierarquia de até 4ª ordem e confluência de canais de angularidade baixa, distribuídos de forma bidirecional.

d) Zona homóloga (IV) localizada a leste da serra Aricamã é caracterizada pelo padrão subparalelo, com baixa densidade de drenagem e confluências de canais de baixa angularidade, estes se distribuem de forma unidirecional. Neste setor, a hierarquia de canais atinge até a 2ª ordem, sugerindo que estes canais são bastante jovens.

No geral, a configuração da rede de drenagem da região considerada, demonstra um condicionamento a estrutura geológica, evidenciada pelos alinhamentos e mudanças bruscas de padrões de canais, a exemplo do rio Amajari, que exhibe trechos retilíneos de até 10 km, bem como curvas bruscas formando anomalias em cotovelo.



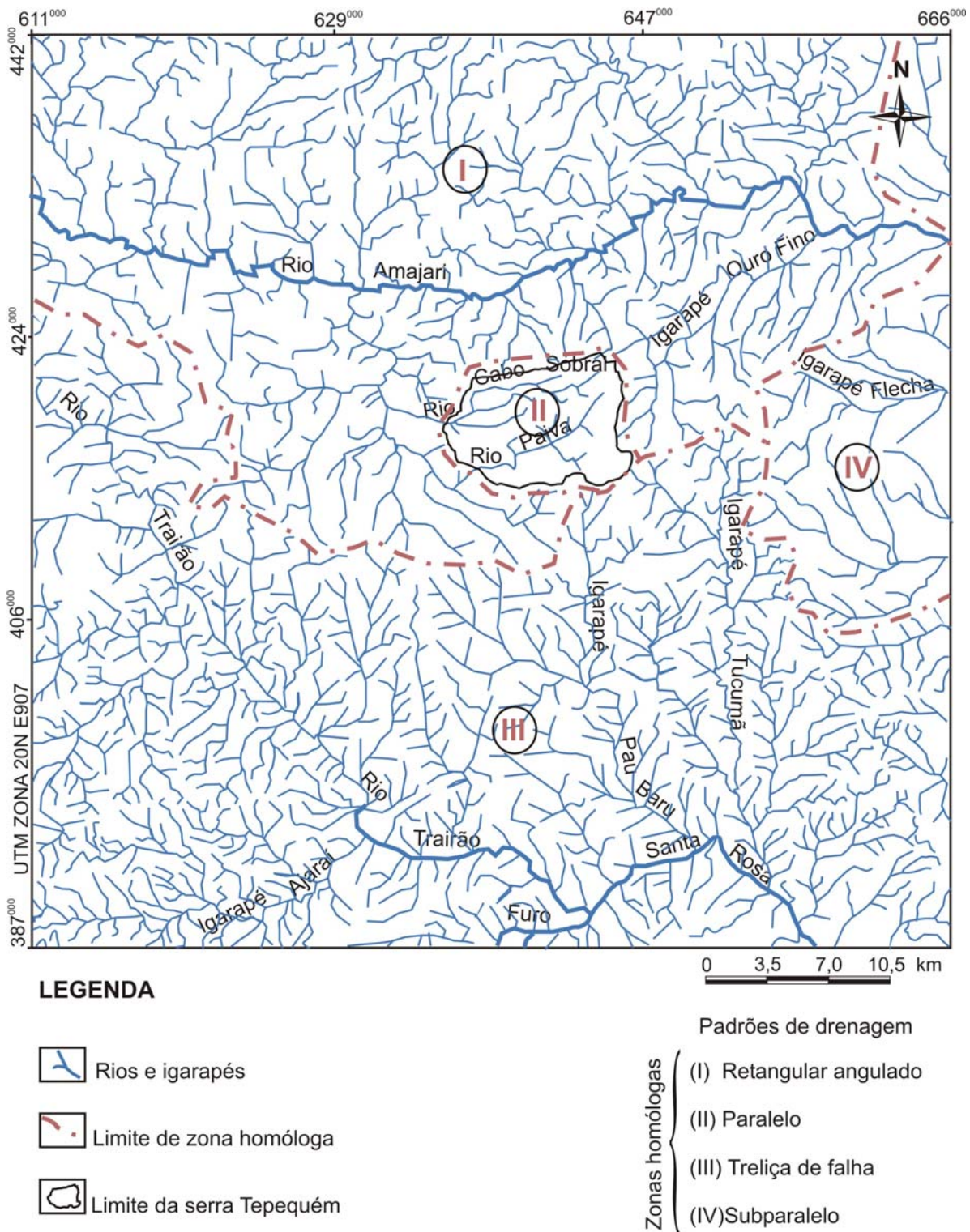


Figura 19- Mapa de zonas homólogas de drenagem da serra Tepequém e região de entorno elaborado a partir da interpretação da imagem Landsat 5TM (bandas 5, 4 e 2) de outubro/1995 e a carta plani-altimétrica, escala 1:100.000 (IBGE, 1983).

### 4.3 CONTROLE ESTRUTURAL E TECTÔNICO DO RELEVO E DRENAGEM

A configuração dos elementos naturais da paisagem da serra Tepequém e região de entorno representam uma subordinação ao arranjo estrutural e litológico, conduzindo os processos de construção e remodelamento da paisagem, evidenciados pelas peculiaridades dos sistemas de relevo e organização da rede de drenagem que caracterizam sua geomorfologia.

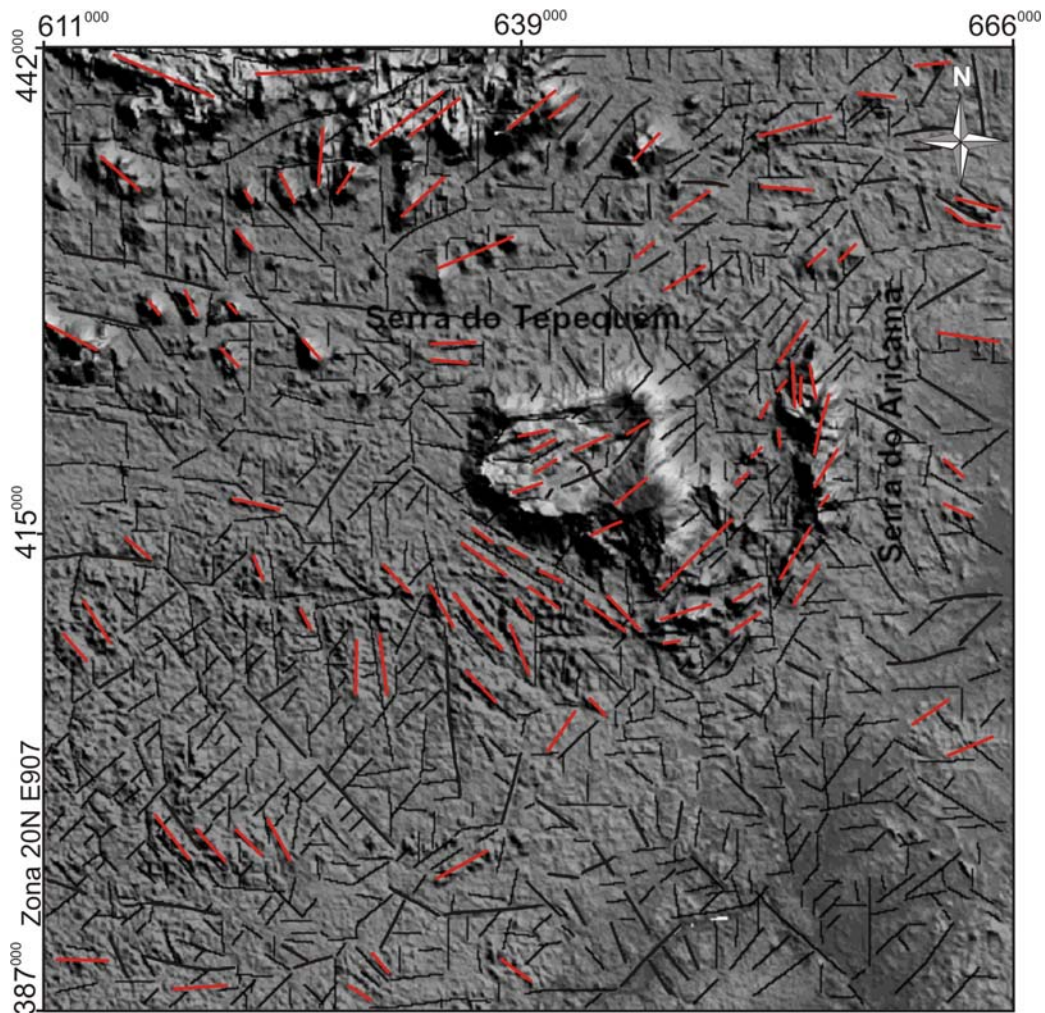
As formas de relevos, tipo serras alinhadas, morros residuais de cristas alongadas e topos convexos, bem como feições associadas às escarpas de falhas, a exemplo, de encostas íngremes com presença de facetas trapezoidais, alinhamento, assimetria e anomalias de drenagem, sugerem que as mesmas estejam condicionadas as estruturas tectônicas regionais, representadas por falhas normais, transcorrentes e inversas, as quais podem ser entendidas no contexto da geomorfologia tectônica.

A partir dos dados obtidos em campo e interpretação das imagens orbitais, bem como, de informações litológicas e estruturais de pesquisas anteriores (BORGES; D'ANTONA, 1988; COSTA et al., 1991; FERNANDES FILHO, 1990; FRAGA; REIS; PINHEIRO, 1994a; TAVARES JÚNIOR, 2004), foi possível a interpretação das feições lineares de relevo e drenagem (Figura 20), e por conseguinte, os lineamentos estruturais regionais E-W, NE-SW e NW-SE, os quais foram agrupados em feixes de lineamentos para fins de descrição (Figura 21). Destaca-se que estes lineamentos foram entendidos como provenientes da atuação de falhas em tempos da neotectônica (COSTA et al. 1996; HASUI, 1990, dentre outros).



a) Feixes E-W - Ocorrem três feixes de lineamentos orientados na direção E-W, localizados na porção norte (feixe 1), central (feixes 2) e sul (feixe 3) da região considerada. O feixe 1 corresponde às reativações de estruturas ligadas ao quadro regional pré-cambriano, dado pelas foliações miloníticas e zonas de cisalhamento, constituindo zonas preferenciais para instalação de falhas normais e transcorrentes destrais. Morfológicamente, estão expressas pelo alinhamento de drenagem, a exemplo, do rio Amajari que apresenta um padrão retilíneo com longos trechos de até 10 km orientados nesta direção, bem como de tributários de 1ª ordem formadores das sub-bacias da margem esquerda. O feixe 2 passa pelo centro da área, controlando a direção de escoamento da drenagem de 1ª e 2ª ordem e alinhamentos de relevo localizados a oeste da serra Tepequém, representadas por colinas de topo convexo com altitudes variando de 150 a 250 metros, elaboradas em rochas vulcânicas do Grupo Surumu (Figura 22). O Feixe de lineamento 3



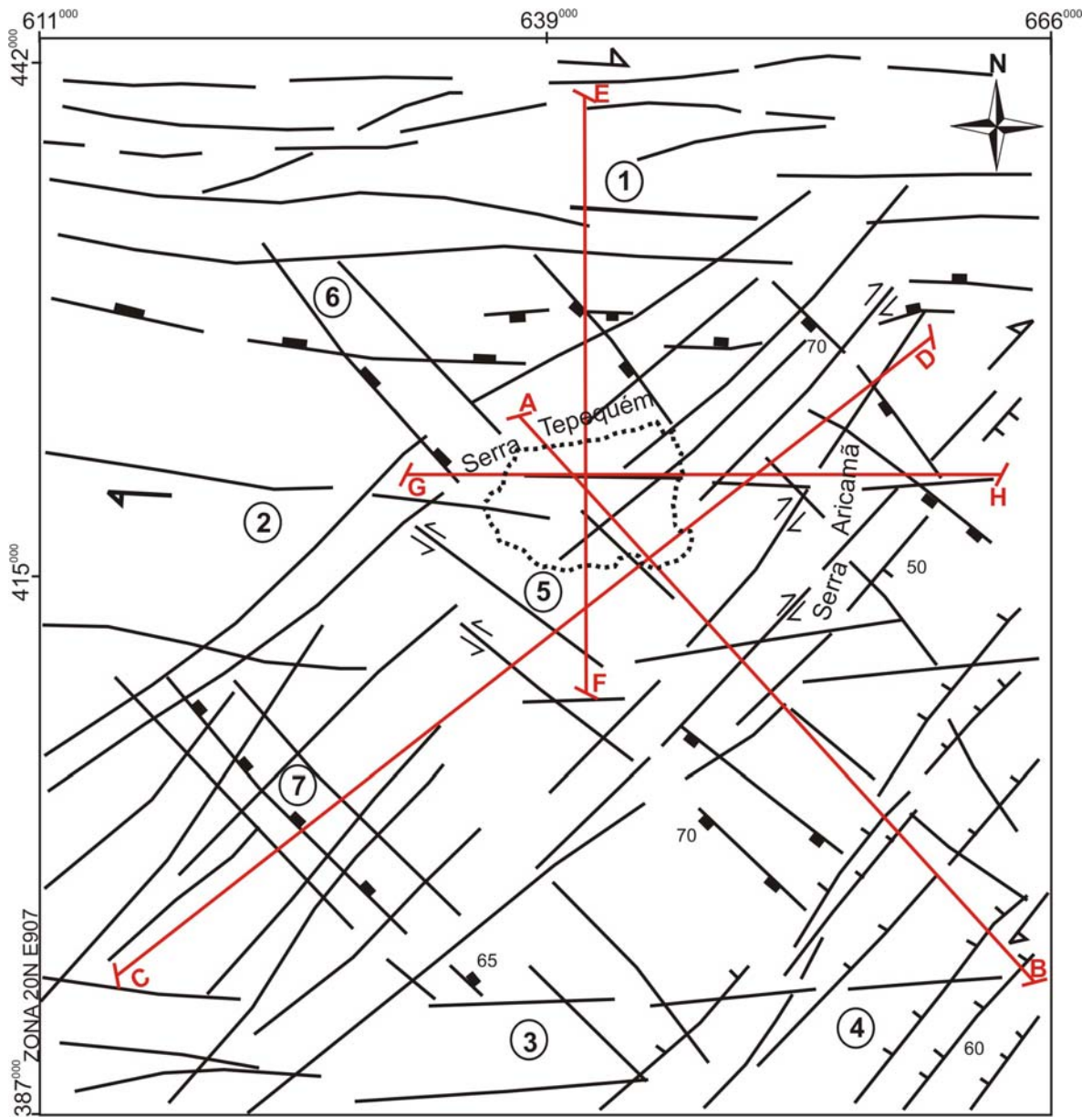
está expresso nos alinhamentos de drenagem de 1ª e 2ª ordem, é notável em trechos do rio Trairão, quando este tem seu vale orientado na direção NW-SE sendo capturado para a direção E-W (Coordenadas UTM 391000 e 638000).



### Legenda

-  Feições lineares de drenagem
-  Feições lineares de relevo

**Figura 20-** Feições lineares de relevo e drenagem da serra Tepequém e região de entorno. Os dados interpretados a partir das imagens orbitais e carta plani-altimétrica vila de Tepequém, foram sobrepostos ao modelo de elevação digital – SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).



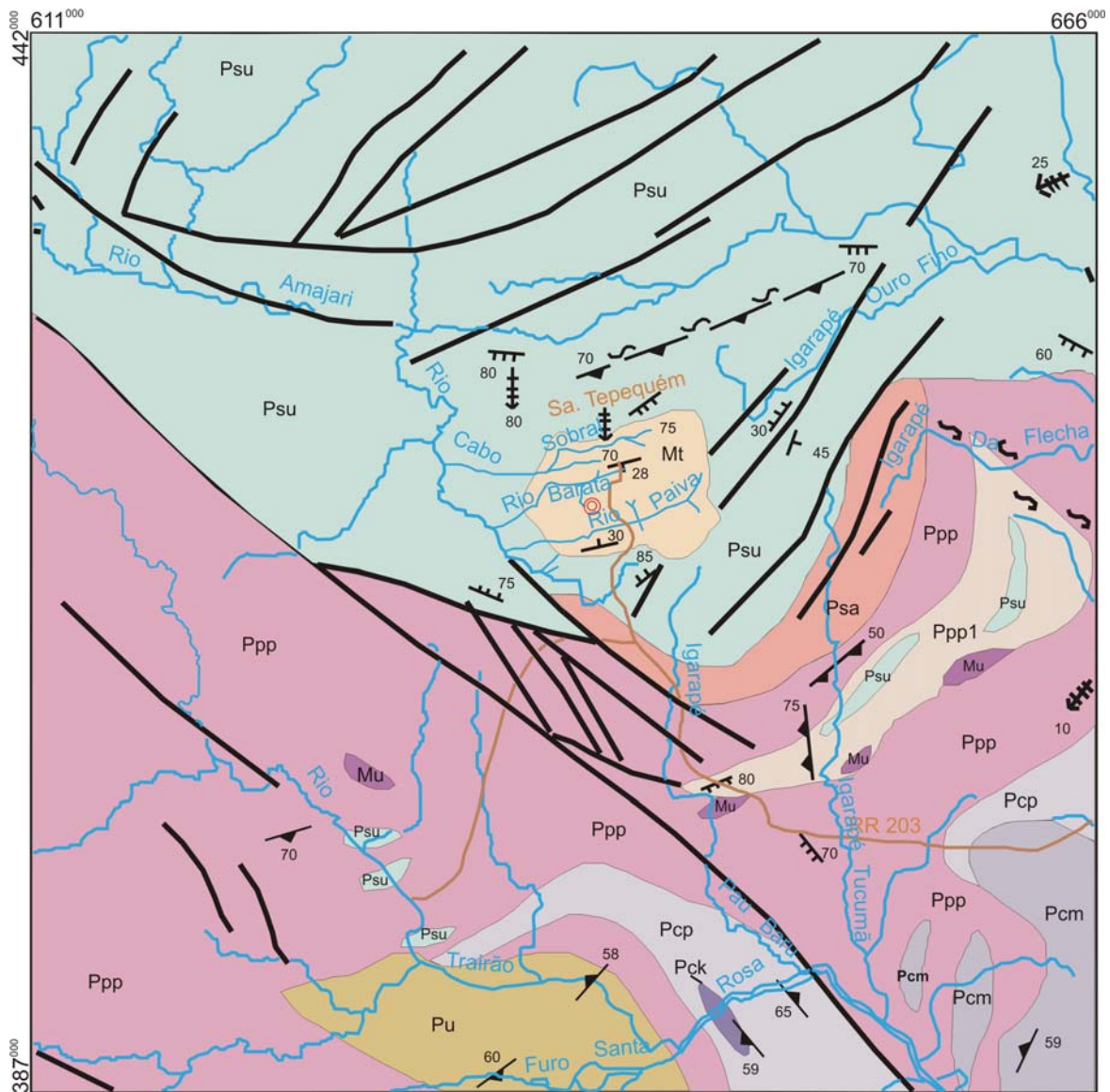
### Legenda

- Zonas de cisalhamento destrais
- Zonas de cisalhamento sinistrais
- Falha normal
- Falhas, fraturas ou zonas de cisalhamento
- Falha com mergulho medido
- Perfil
- Limite da serra Tepequém

0 3,5 7,0 10,5 km

**Figura 21-** Mapa de lineamentos estruturais da serra Tepequém e região de entorno, destacando os feixes de lineamentos de direção E-W, NE-SW e NW-SE.





### PALEOPROTEROZÓICO

- Mt Formação Tepequém  
Coberturas sedimentares
- Mu Suíte Máfica-ultramáfica Uraricaá
- Psa Suíte intrusiva Saracura  
Granitóides
- Psu Grupo Surumu  
Rochas Vulcânicas
- Ppp1 Suíte intrusiva Pedra Pintada  
Leucogranitos
- Pu Suíte metamórfica Urariqüera  
Ortognaisses
- Ppp Suíte intrusiva Pedra Pintada  
Granodioritos, tonalitos, sienogranitos

- Pcm Grupo Caurane
- Pcp Talco-clorita-tremolita xistos, rochas  
calcissilicáticas e subordinados
- Pck paragnaisses (m); xistos e anfíbolitos (p) e  
kinzigíticos (k).

- Lineamento de estiramento mineral  
pós-transamazônica com caimento medido
- Falha contracional com mergulho  
medido
- Falha normal
- Acamadamento com mergulho medido
- Zona de cisalhamento contracional
- Falha, fratura ou zona de  
cisalhamento

0 2,5 5,0 7,5 km

Drenagem

Estrada

Vila Tepequém

**Figura 22- Mapa geológico da serra Tepequém e região de entorno.**

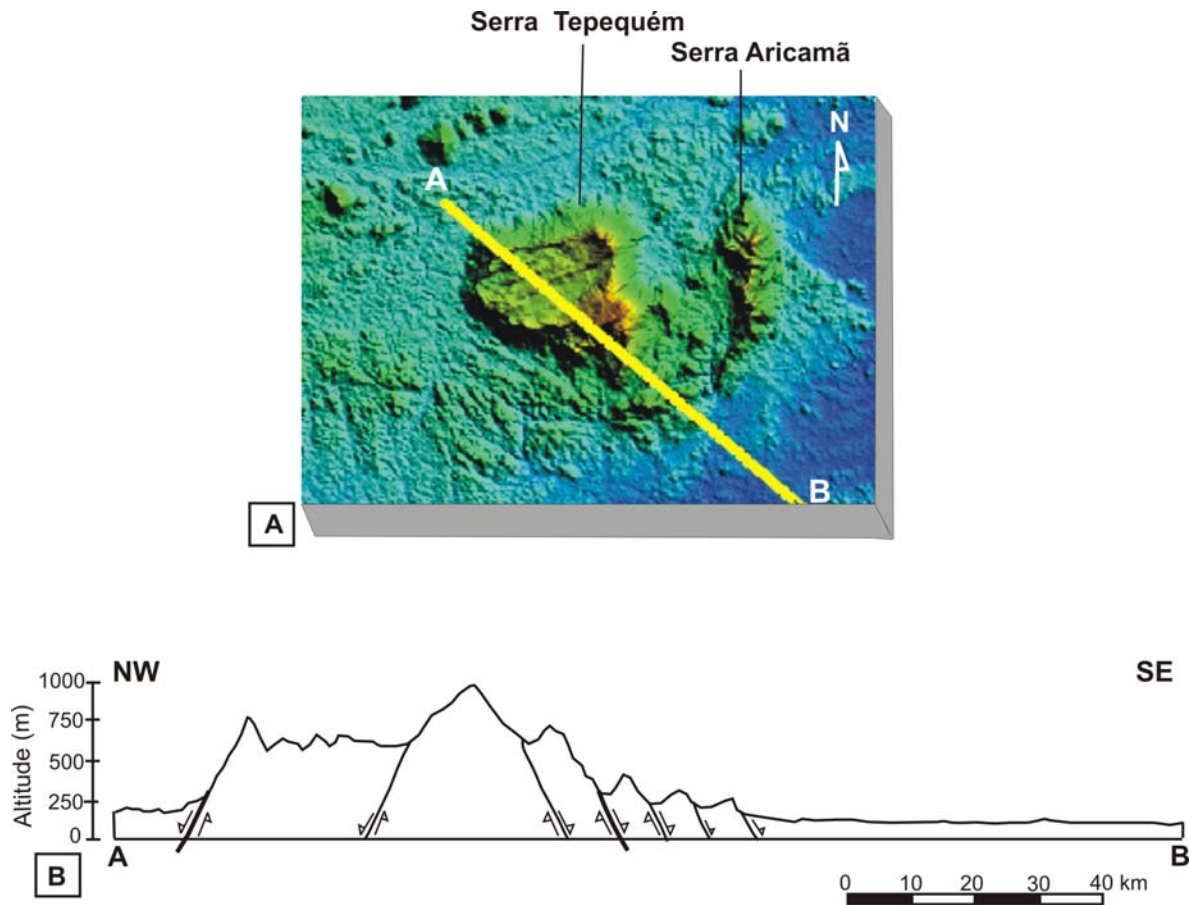
Fonte: Modificado de CPRM (1999).

b) Feixes NE-SW - Correspondem a dois feixes de lineamentos orientados na direção NE-SW localizados na porção sudeste (feixe 4) e central (feixe 5) da área de estudo. O feixe de lineamentos 4 corresponde às falhas com características direcionais que condicionam a drenagem de 1ª e 2ª ordem. É bastante evidente a orientação dos rios na direção NE-SW, a exemplo, do canal do furo Santa Rosa (rio Urariqüera) que escoar nessa direção até a confluência do igarapé Pau Baru, e a jusante deste tem inflexão para NW-SE. Essa mudança de direção é um indicativo de que as feições estruturais controlam a orientação do vale. O feixe de lineamentos 5 corresponde a estruturação regional pré-cambriana, representada por foliações miloníticas e zonas de cisalhamento, constitui zonas preferenciais para instalação de falhas normais e transcorrentes destrais.

Tavares Júnior (2004) destaca que as principais estruturas interpretadas na região da serra Tepequém são as zonas de cisalhamento de direção NE-SW destrais, que limitam a área da serra a norte e sudeste e, que esse sentido de movimentação, proporciona a criação de áreas extensionais, que condicionaram a formação e configuração romboédrica da bacia, que acolheu os sedimentos Paleoproterozóicos da Formação Tepequém.

Este arranjo estrutural da serra Tepequém, impresso por falhas normais e fraturas de direção NE-SW, concordantes às zonas de cisalhamento transcorrentes, desempenha um notável controle na organização da rede de drenagem, a exemplo, dos rios Paiva e Cabo Sobral, e na morfologia do relevo através dos alinhamentos de morros e escarpas de falhas incorporando facetas trapezoidais observadas no topo da serra Tepequém.

As falhas normais reativadas a partir das zonas de cisalhamento pré-cambrianas de direção NE-SW se refletem nas escarpas íngremes de entorno da serra Tepequém, principalmente a sudeste (Figura 23) onde se observa uma seqüência de falhas normais que desempenha um controle na morfologia do relevo.

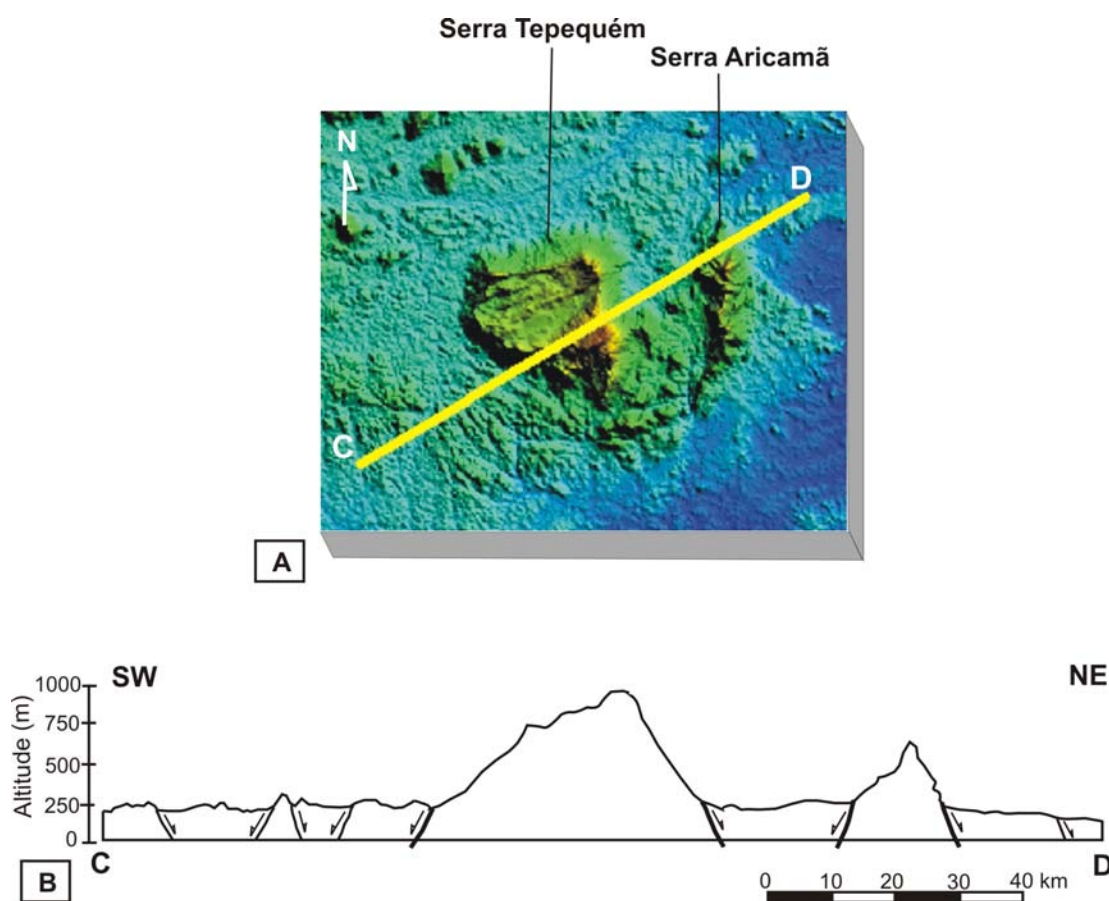


**Figura 23-** (A) Detalhe do modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil NW-SE com esquema do processo de desnivelamento de blocos pela atuação de falhas normais NE-SW.

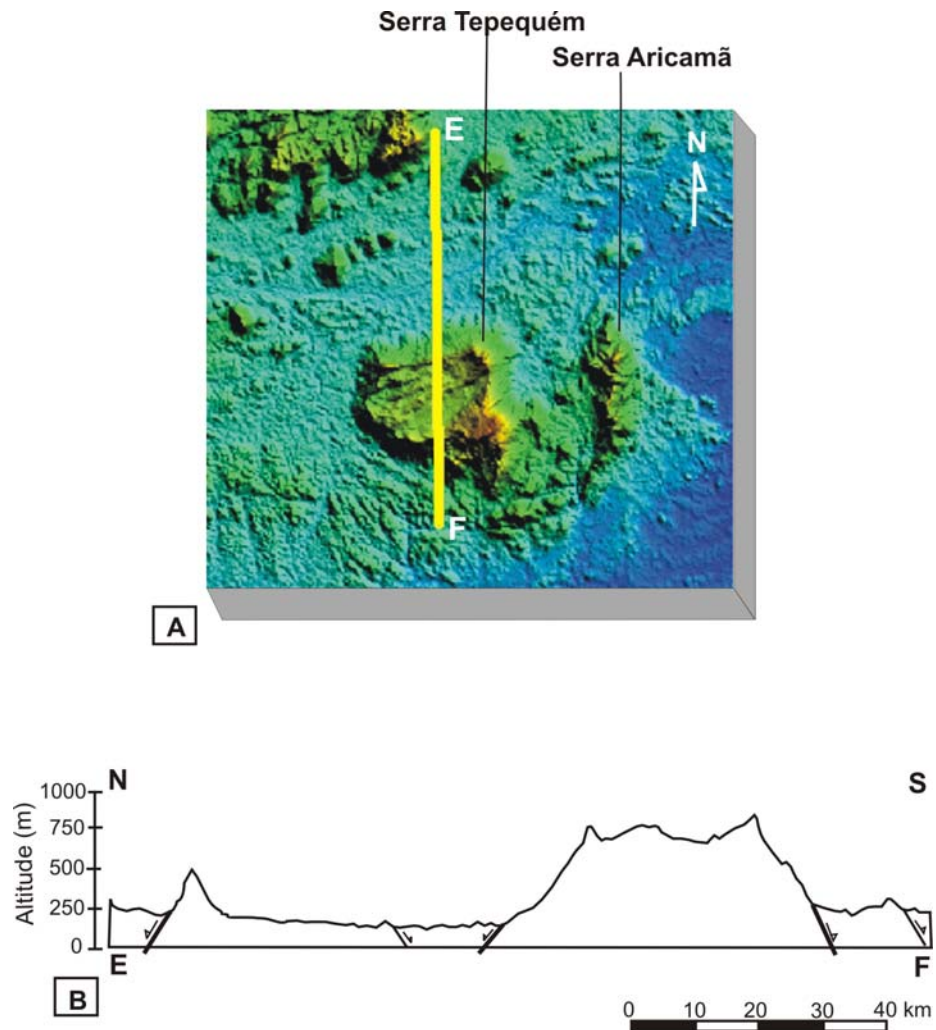
c) Feixes NW-SE – Correspondem aos feixes de lineamentos 6 e 7 de direção NW-SE, localizados no centro e sudoeste da região considerada. Estes feixes de lineamentos correspondem à estruturação regional pré-cambriana, representada por zonas de cisalhamentos, constituindo zonas preferenciais de falhas normais e transcorrentes de movimentação sinistral (Figura 24). Morfologicamente controlam a direção de escoamento da drenagem de 1ª e 2ª ordem, assim como, os alinhamentos de relevo localizados a sudoeste da serra Tepequém, representados por superfícies de morros de topo convexo, com altitudes variando de 250 a 300 metros, elaborados em rochas vulcânicas do Grupo Surumu. Os feixes de lineamentos NW-SE, segundo CPRM (1999), delineiam arranjos sugestivos de movimentações sinistras, estes

articulam a estruturação que controla a disposição da seqüência sedimentar tipo Roraima (Formação Tepequém).

As falhas normais são os principais elementos responsáveis pela elaboração do relevo na área. No norte da serra Tepequém, essas falhas afetaram as rochas vulcânicas do Grupo Surumu e limitam áreas abatidas (Figura 25), com a rede de drenagem se adaptando aos planos, a exemplo, do rio Amajari que evidencia o controle das feições estruturais na assimetria da bacia, com canais mais longos na margem esquerda em relação aos da margem direita. A leste da serra Tepequém, observa-se o controle das falhas normais e zonas de cisalhamento destrais de direção NE-SW na morfologia da paisagem, representado por diferentes patamares do relevo com altitudes que variam de 250 a 500 metros (Figura 26), e formação de amplo vale situado entre as serras Tepequém e Aricamã.

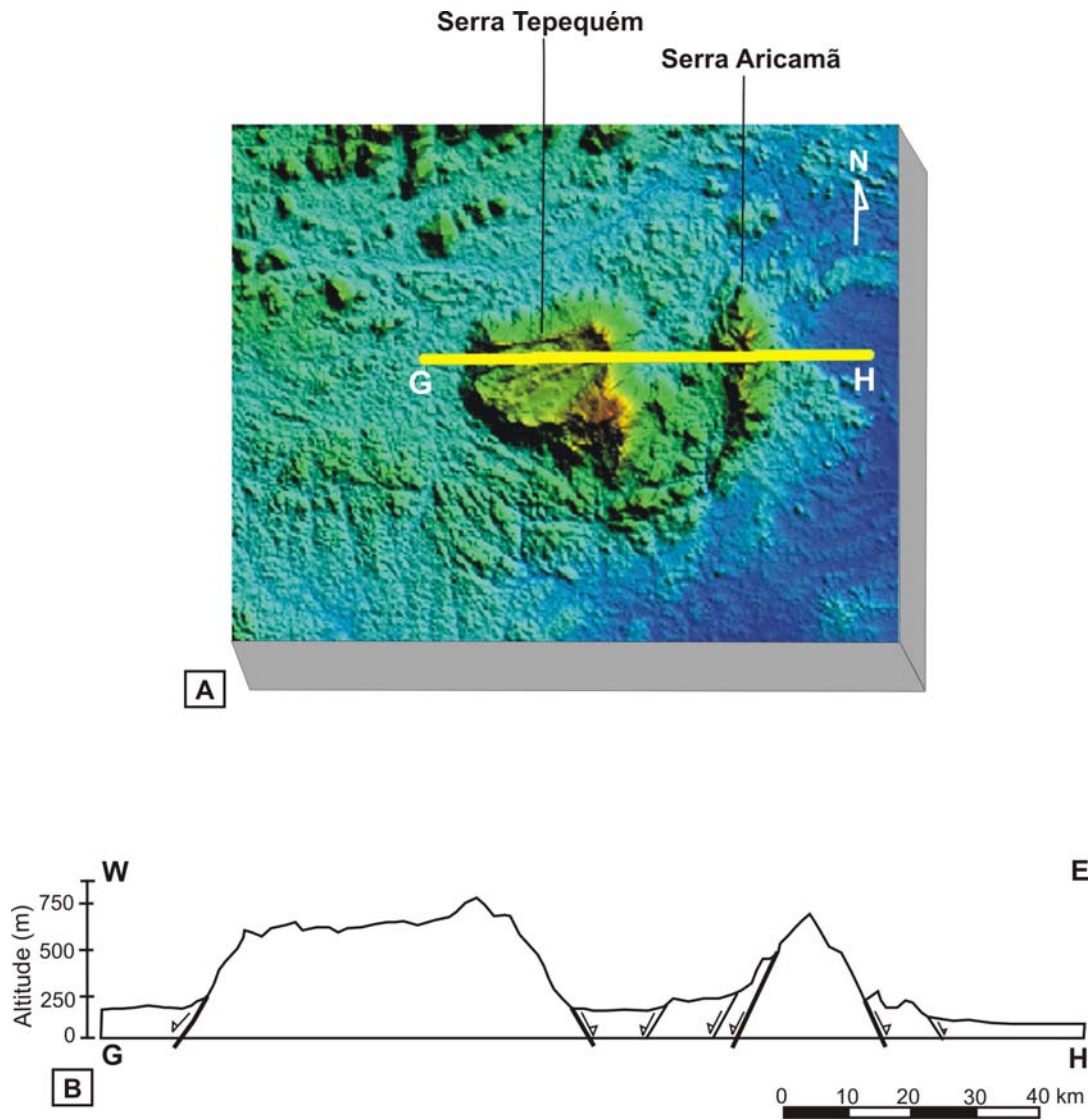


**Figura 24-** (A) Detalhe do modelo de elevação digital (SRTM) da região da serra Tepequém e (B) perfil NE-SW com esquema do processo de abatimento de blocos pela atuação de falhas normais neotectônicas reativadas e zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais pré-cambrianas de direção NW-SE.



**Figura 25-** (A) Modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil N-S apresentando a geometria decorrente do abatimento de blocos pela atuação de falhas reativadas de zonas de cisalhamento transcorrentes destrais pré-cambrianas de direção NE-SW situadas a norte da serra do Tepequém.





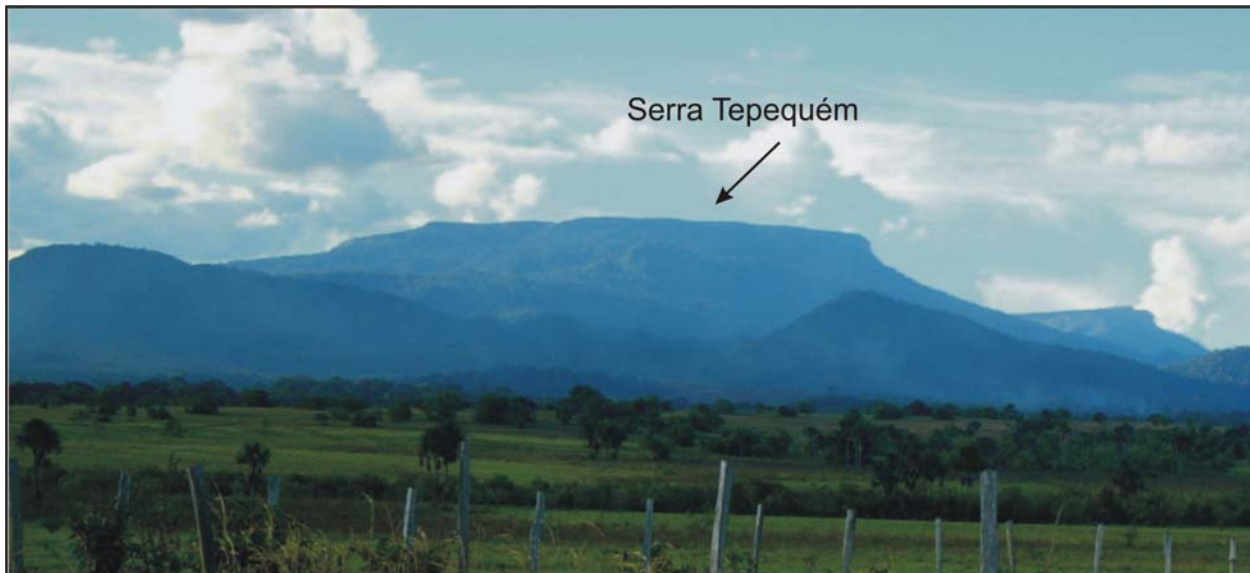
**Figura 26- (A) Modelo de elevação digital (SRTM) da serra Tepequém e região de entorno e (B) perfil E-W mostrando a geometria dos blocos pela atuação de falhas normais reativadas e zonas de cisalhamento transcorrentes destrais de direção NE-SW, situadas à leste da serra Tepequém. Observar que entre as serras Tepequém e Aricamã ocorrem áreas rebaixadas com altitudes não superiores a 250 metros.**



## 5 CENÁRIO DA SERRA TEPEQUÉM

### 5.1 O MODELADO DA SERRA TEPEQUÉM

A serra Tepequém apresenta nítido contraste de topografia quando comparada com a paisagem do entorno (Figura 27), por configurar-se como uma estrutura de topo irregularmente aplainado, com altitudes máximas de aproximadamente 1.100 metros. Destaca-se em meio à paisagem, dominada por relevo de colinas ravinadas e serras alinhadas, com altitudes de até 900 metros, circundada por uma extensa superfície aplainada, com altitudes não superiores a 250 metros.

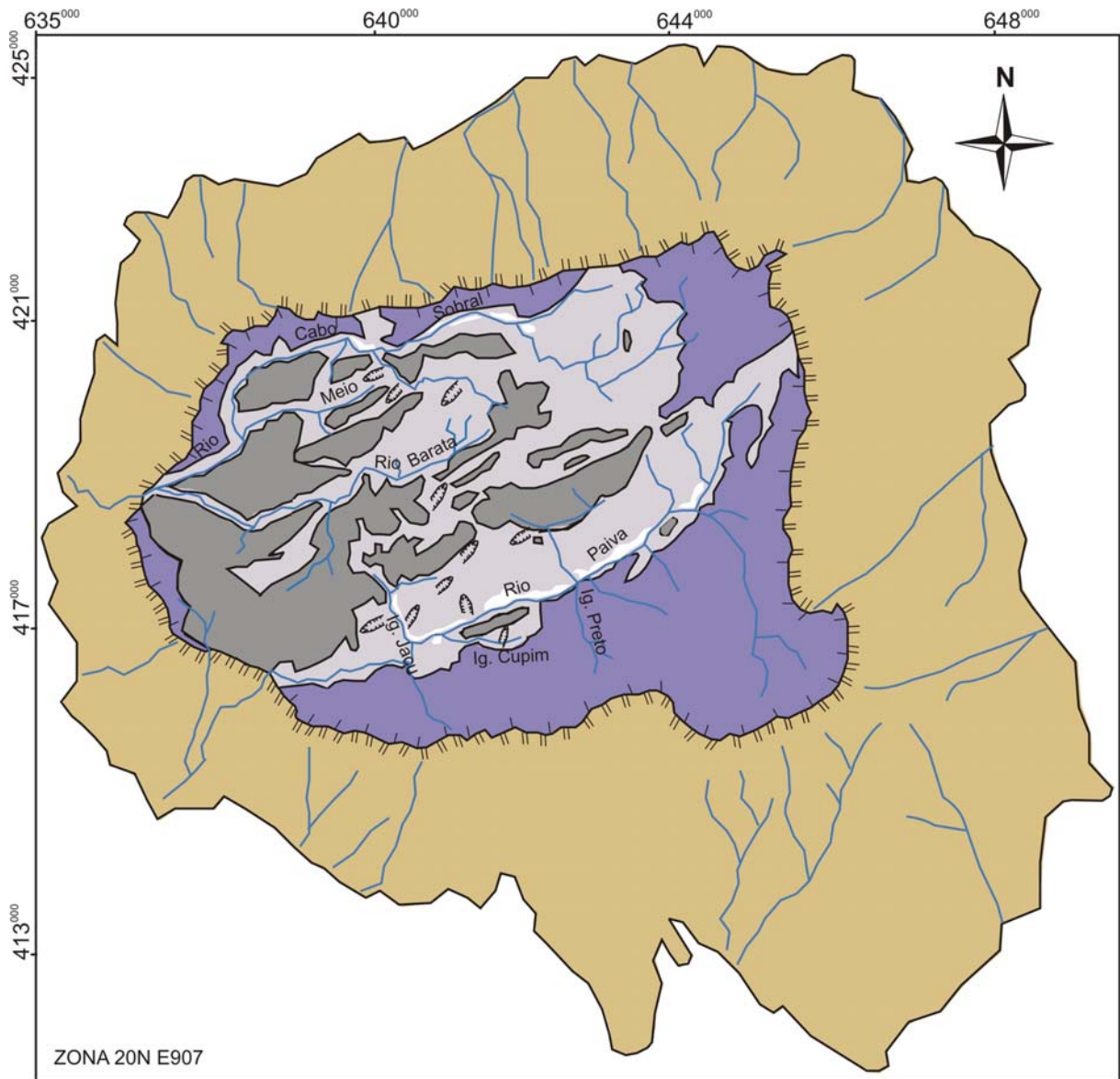


**Figura 27- Serra Tepequém com formato em superfície quase retangular a rômbico, destaca-se em meio às colinas e áreas aplainadas do Planalto Dissecado Norte da Amazônia.**

A serra Tepequém com cerca de 70 Km<sup>2</sup> de superfície, exibe formato quase retangular a romboédrico. Constitui um bloco alongado em direção E-W com mergulho suave para sudoeste e contorno de bordas soerguidas guardando a morfologia de uma sinclinal (GUERRA, 1957; PINHEIRO; REIS; COSTI, 1990), com eixo principal mergulhando para WSW. Esta define morfologia de superfície erosiva, com desníveis de até 500 m que separam o nível de base local (planícies intravales) da encosta sudeste (área mais elevada). Tais características diferem de feições geomorfológicas com superfície tabular, a exemplo do monte Roraima (BRICEÑO;

SCHUBERT, 1990). Apesar de apresentar topo com desníveis altimétricos que variam de 575 a 1.100 metros, dependendo do ângulo de observação (sul-sudeste), na paisagem regional, exhibe um perfil longitudinal com frontão muito regular e horizontalizado, o que leva a configurar-se como morfologia tabular, que regionalmente é conhecida por tepui (palavra indígena Taurepang que define montanha de topo plano).

Na configuração da paisagem da serra Tepequém, pode se reconhecer na morfologia do relevo quatro unidades de compartimentos geomorfológicos: escarpas erosivas de entorno, vertentes íngremes, morros e colinas residuais e superfícies aplainadas (Figura 28), tais compartimentos serão descritos a seguir.



### Legenda

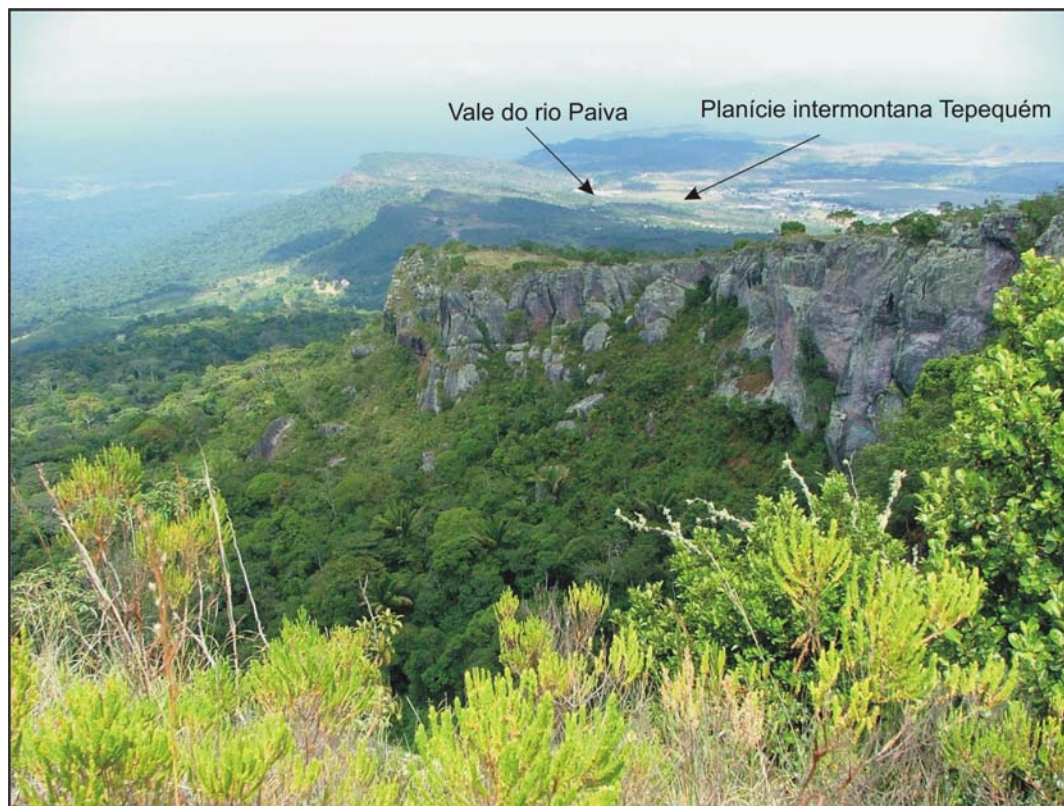
- Aluviões
- Superfícies aplainadas
- Morros e colinas residuais
- Vertentes íngremes
- Escarpa erosiva de entorno da serra Tepequém
- Rios e igarapés
- Voçorocas
- Escarpa abrupta
- Encosta íngreme

0 0,9 1,8 2,7 km

**Figura 28-** Mapa dos compartimentos geomorfológicos identificados na serra Tepequém – RR.

a) Escarpas erosivas do entorno - As escarpas erosivas formam as faces do entorno da serra Tepequém, são íngremes e com ângulo de inclinação superior a  $30^\circ$ , representam recuo de planos de falhas normais elaboradas nos arenitos da Formação Tepequém (CPRM, 1999). O traçado das escarpas desenha alinhamento na direção E-W (a norte), NE-SW (a norte, leste e sudeste), NW-SE (a oeste e sudoeste), tais direções correspondem à estruturação regional pré-cambriana, interpretada por Fraga, Reis e Pinheiro (1994a) e Tavares Júnior (2004) como foliações miloníticas e zonas de cisalhamentos, constituindo zonas preferenciais de falhas normais e transcorrentes de movimentação dextral e sinistral.

A face da encosta sudeste da serra foi interpretada por Barbosa e Ramos (1959) como uma estrutura do tipo hogback. No topo, as escarpas exibem paredões com declive muito acentuado, observa-se a exposição dos arenitos, enquanto na base, normalmente preenchidos por colúvios pedogenizados, encontra-se a presença da floresta ombrófila densa (Figura 29) que recobre toda a área do entorno da serra Tepequém.



**Figura 29-** Em primeiro plano é observada a escarpa erosiva do entorno (face sul-sudeste), recoberta por floresta densa e em segundo plano (à direita) verifica-se o caimento das vertentes sudoeste em direção ao vale do rio Paiva e superfície aplainada (planície intermontana Tepequém).  
Fonte: Foto de Roberto Carlos Caleffi.



b) Vertentes íngremes - As vertentes voltadas para o interior do topo (Figura 30), formam bordas soerguidas que se elevam a 1.100 metros (a sudeste), 930 metros (a nordeste), 850 metros (a noroeste) e 750 metros (a sudoeste), estão elaboradas em arenitos finos a grossos e arenitos ortoquartzíticos com intercalações de conglomerados polimíticos da Formação Tepequém (FERNANDES FILHO, 1990).

As vertentes exibem forma côncava linear com declive que varia entre 20 e 25°. Foi observada na porção mediana da encosta sudeste (coordenada UTM - 643661 e 426255) a presença de um patamar erosivo em altitude de 834 metros, com direção predominante NE-SW, mantido pelos arenitos, sugerindo um controle estrutural no processo de construção do relevo desta área. As vertentes apresentam-se recobertas por savana do tipo arbustiva, com presença marcante de inúmeras espécies de orquídeas.

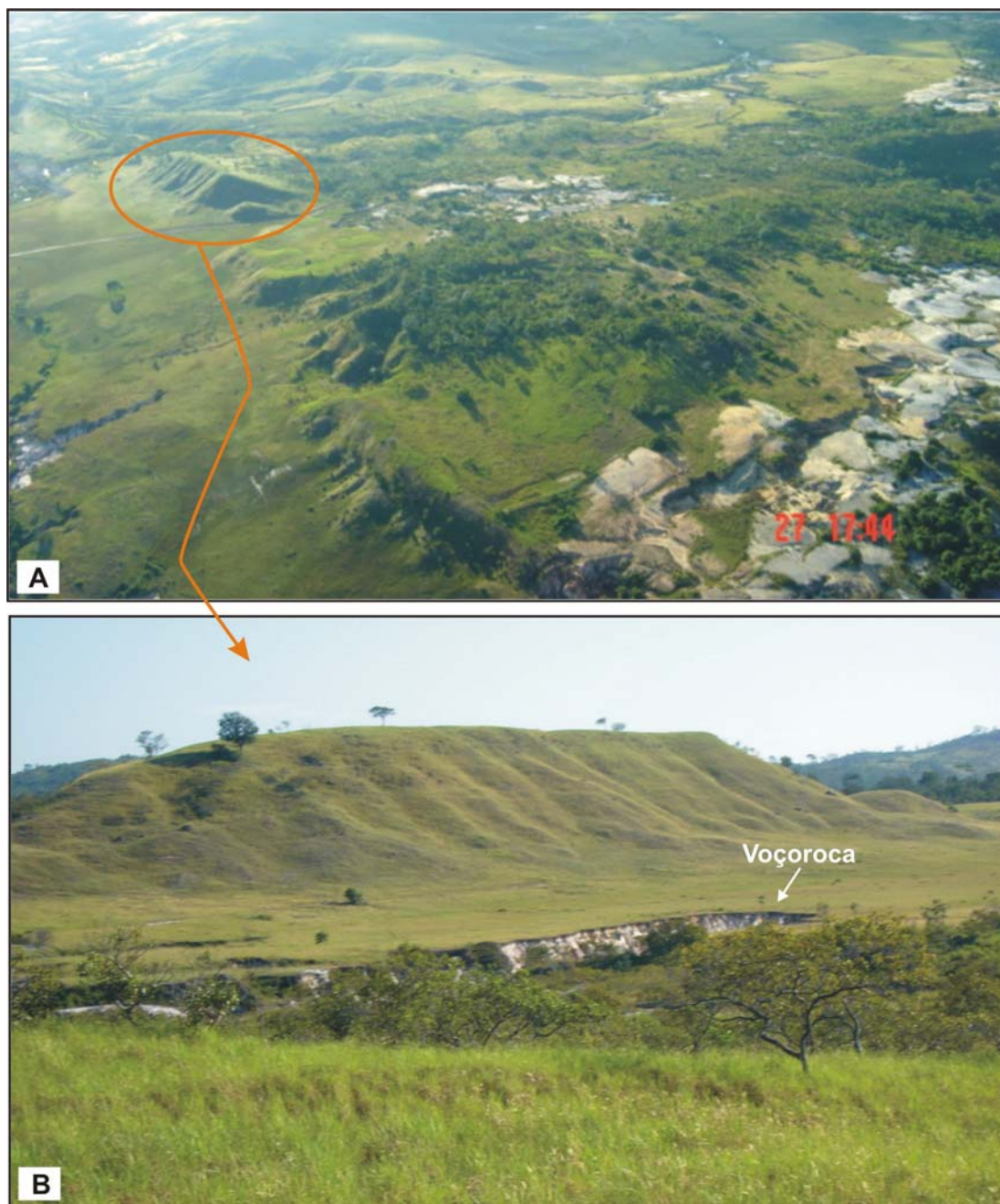


**Figura 30- Vertente íngreme localizada na encosta sudeste e em primeiro plano a extensa superfície aplainada margeada pelo rio Paiva.**

c) morros e colinas residuais – Os morros e colinas residuais apresentam-se alinhados segundo a direção NE-SW com altitudes que chegam a atingir 744 m. Exibem cristas convexas-retilíneas alongadas, estas feições formam faces trapezoidais com vertentes dissecadas côncavas-convexas, que por vezes apresentam no sopé acúmulos de sedimentos coluvionares, os quais se interligam a vales abertos de fundo chato (Figura 31 A e B), formadores das planícies intermontanas.

Estes morros e colinas residuais estão elaborados nos arenitos grossos e ferruginosos com intercalações de conglomerados da Formação Tepequém (FERNANDES FILHO, 1990). É comum a exposição de grandes blocos de arenitos conglomeráticos e fragmentos lateríticos capeando a superfície, a exemplo, do Morro da Antena (coordenada UTM-640503 e 418377) situado a norte da vila de Tepequém. Estes morros e colinas constituem os interflúvios dos rios

Cabo Sobral, a norte, Meio e Barata na parte central e Paiva, a sul. A vegetação que recobre estas feições de relevo é a savana arbustiva aberta, com predomínio de gramíneas, as quais proporcionam baixa densidade de cobertura ao solo.



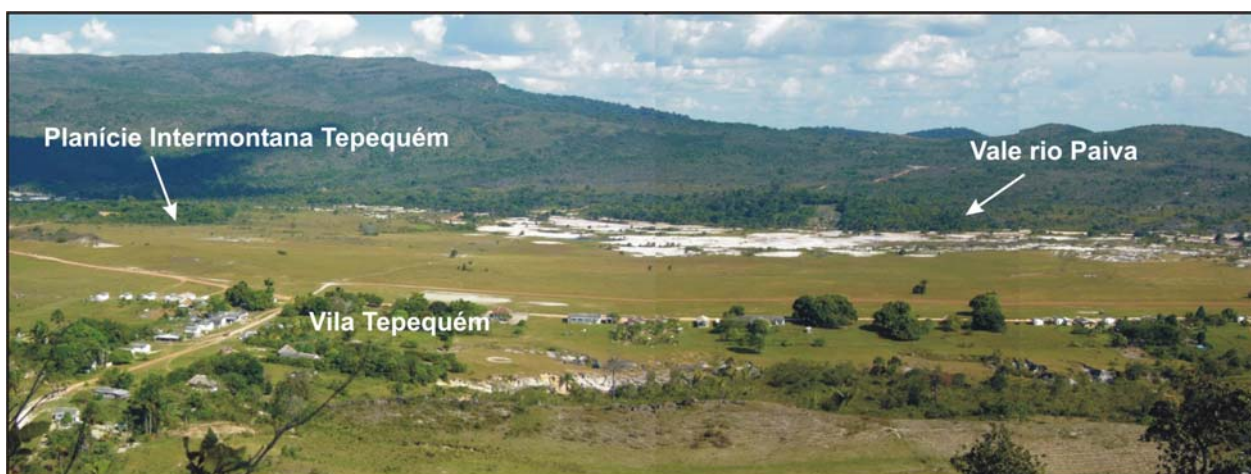
**Figura 31-** (A) Morros de cristas convexas-retilíneas alinhados na direção NE-SW, no detalhe (B) verifica-se que estas feições formam facetas trapezoidais com vertentes dissecadas côncava-convexas. Interligam-se à superfície aplainada ligeiramente inclinada, onde ocorre a instalação de feição erosiva linear (voçoroca).

Fonte: Foto A de Marcondes Lima da Costa

d) Superfícies aplainadas – As superfícies aplainadas formam planícies intermontanas que se situam ao longo dos vales dos rios Cabo Sobral, Barata e Paiva. Estas superfícies aplainadas se apresentam ligeiramente inclinadas para W-SW, com ângulo de inclinação variando de 3° a 5° e altitudes entre 575 e 670 metros. As planícies se desenvolvem sobre arenitos arcoseanos, arenitos grossos e ferruginosos da Formação Tepequém (FERNANDES FILHO, 1990) e encontram-se recobertas por solos arenosos, bem lixiviados. Localmente, estes solos podem ser caracterizados como podzóis.

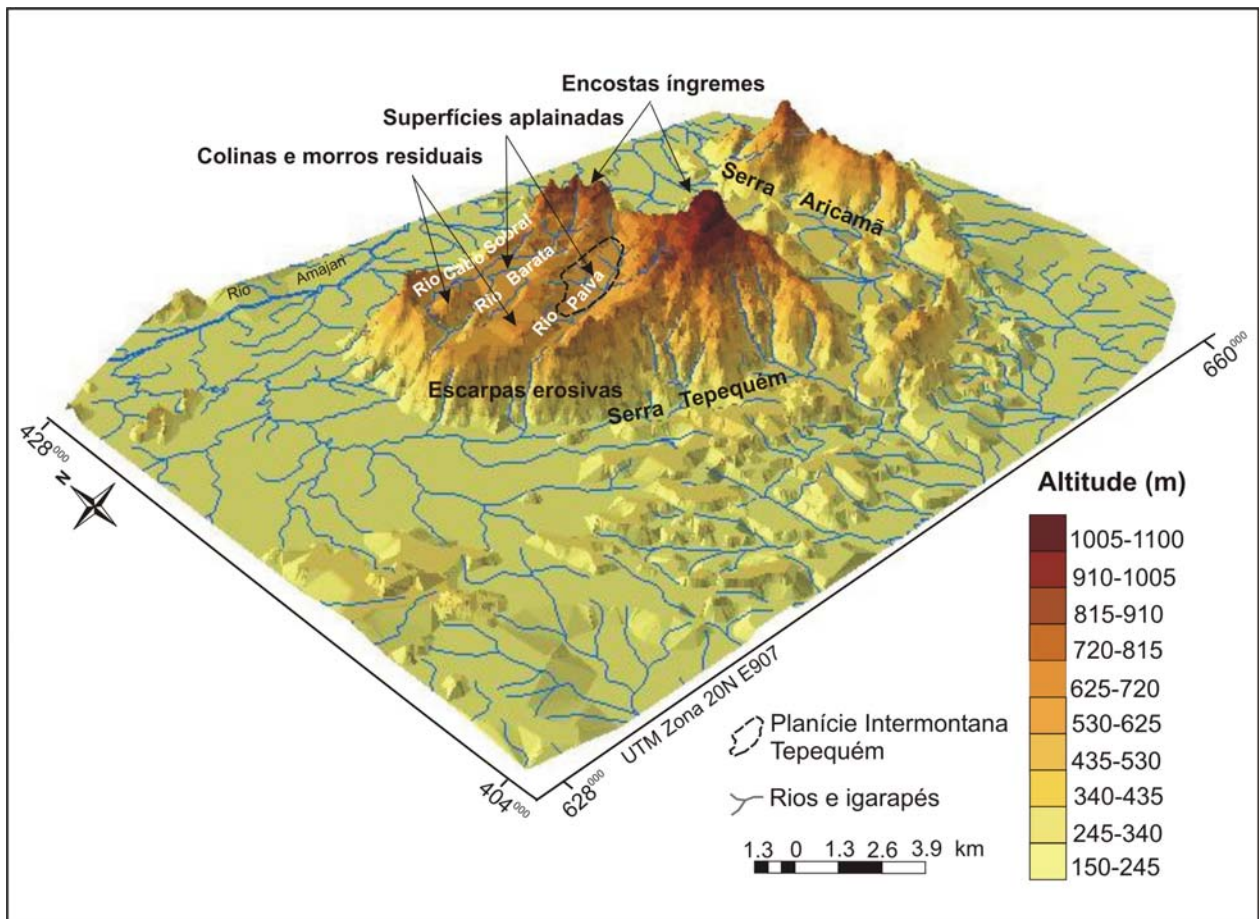
Dentre as superfícies aplainadas, a denominada planície intermontana Tepequém (BESERRA NETA; COSTA; BORGES, 2007) (Figura 32), situada à margem direita do rio Paiva (Coordenada UTM-640804 e 417755), constitui a mais extensa, com área de 5,11 km<sup>2</sup> e se estende ao longo da direção E-W. A planície intermontana Tepequém na direção WSW é descontinuada ou não se formou, devido à presença de encostas íngremes igualmente na direção SSE, provavelmente como fruto de falhas ocorridas pré-planície. As planícies são recobertas por savana arbustiva gramínea, apresenta baixa densidade de cobertura do solo, favorecendo a atuação da erosão pluvial.

Os diferentes níveis topográficos e as principais feições morfológicas que formam a paisagem atual da serra Tepequém, são visualizados de forma bastante nítida no modelo numérico de terreno (Figura 33), e são reconhecidos por Guerra (1957), como uma grande superfície de erosão com pronunciado grau de dissecação das formas de relevo.



**Figura 32-** Superfície aplainada denominada de planície intermontana Tepequém, em primeiro plano, circundada por vertente íngreme e relevos residuais, e em segundo plano, os sedimentos aluvionares ao longo da margem direita do rio Paiva.





**Figura 33-** Modelo numérico de terreno apresentando as principais feições de relevo que formam a paisagem atual da serra Tepequém- RR. Modelo elaborado a partir de dados da carta planialtimétrica Vila de Tepequém na escala 1:100000 do IBGE (1983).



## 5.2 DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL E ATIVIDADE GARIMPEIRA DIAMANTÍFERA NA SERRA TEPEQUÉM DURANTE OS ÚLTIMOS 22 ANOS

A paisagem da serra Tepequém e as evidências de modificações na cobertura vegetal foram analisadas a partir de imagens ópticas em períodos distintos (1984, 1995 e 2006), o que possibilitou a análise temporal-espacial dos últimos vinte e dois anos.

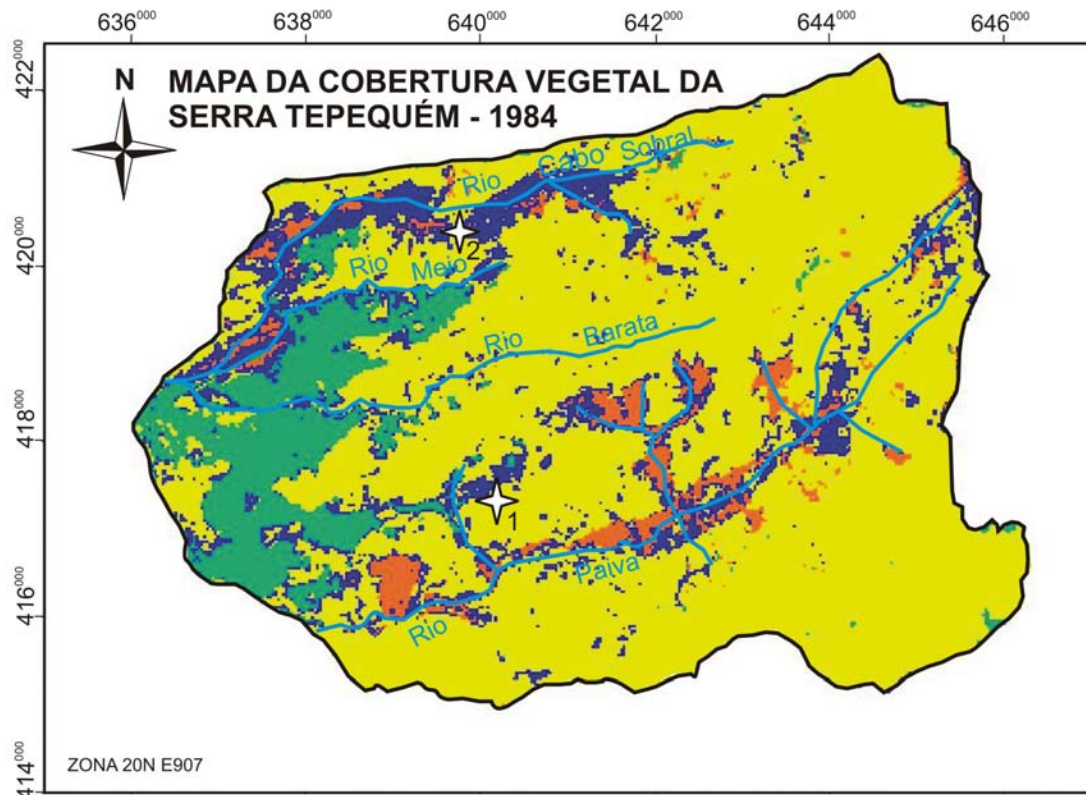
As atividades exploratórias para diamante se estabeleceram neste cenário desde 1937 (BARROS, 1995; GUERRA, 1957), ao longo dos rios Paiva e Cabo Sobral, nos conglomerados da Formação Tepequém e ainda nos aluviões e secundariamente em elúvios e colúvios provenientes da mesma. A atividade garimpeira tornou-se ao longo das décadas subseqüentes a principal atividade da região e deixou marcado na paisagem mudanças significativas, a exemplo da perda da cobertura vegetal ao longo das drenagens.

A cobertura vegetal que se destaca na paisagem da serra Tepequém é do tipo floresta ombrófila densa nas áreas de escarpas de entorno e no topo na porção oeste-sudoeste; enquanto nas superfícies aplainadas, morros e colinas residuais, a fisionomia dominante é a savana arbustiva graminosa. A mata ciliar concentra-se em pequenas manchas, principalmente ao longo dos rios Cabo Sobral e Paiva.

### *- Cobertura vegetal da serra Tepequém para o período de 1984*

A paisagem da serra Tepequém, configurada no mapa da cobertura vegetal de 1984, demonstra uma extensa área de exposição de aluviões (7,5 km<sup>2</sup>), correspondente a 13,9% da área total, localizada ao longo dos rios Paiva, Meio e Cabo Sobral. As maiores exposições estão localizadas na margem direita do vale do rio Cabo Sobral, prolongando em direção a cachoeira do Funil na porção noroeste da serra, isto se deve à concentração do garimpo de diamante, que segundo Borges e D'Antona (1984), consistiu uma das áreas mais mineralizadas, portanto, mais trabalhada na década de 80, restando poucos trechos virgens (no âmbito da serra). O aumento areal de exposição de aluviões, ao longo das drenagens, sugere uma redução de áreas recobertas por mata ciliar, que no período de 1984 ocupava 2,8 km<sup>2</sup> da área total, equivalente a 5,3%.

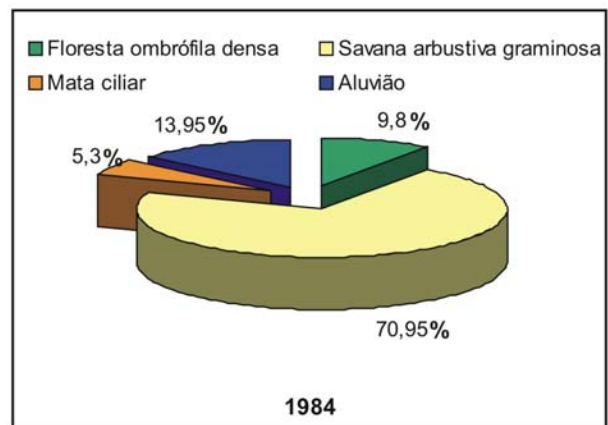
Nas superfícies aplainadas, morros, colinas residuais e vertentes que bordejam o topo da serra Tepequém, a savana estépica graminosa, ocupava em 1984 uma área de 38,16 km<sup>2</sup>, correspondendo a 70,9 %, enquanto a floresta ombrófila densa recobria uma área de 5,27 km<sup>2</sup>, equivalente a 9,8 % do total da área (Figura 34).



**LEGENDA**

- Floresta ombrófila densa
- Savana arbustiva gramínea
- Mata ciliar
- Aluviões
- Rios e igarapés
- Vila
- 1- Tepequém
- 2- Cabo Sobral

0 0,85 1,7 2,55 km



**Figura 34-** Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém – Roraima para o período de 1984. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes de cobertura vegetal e aluvião

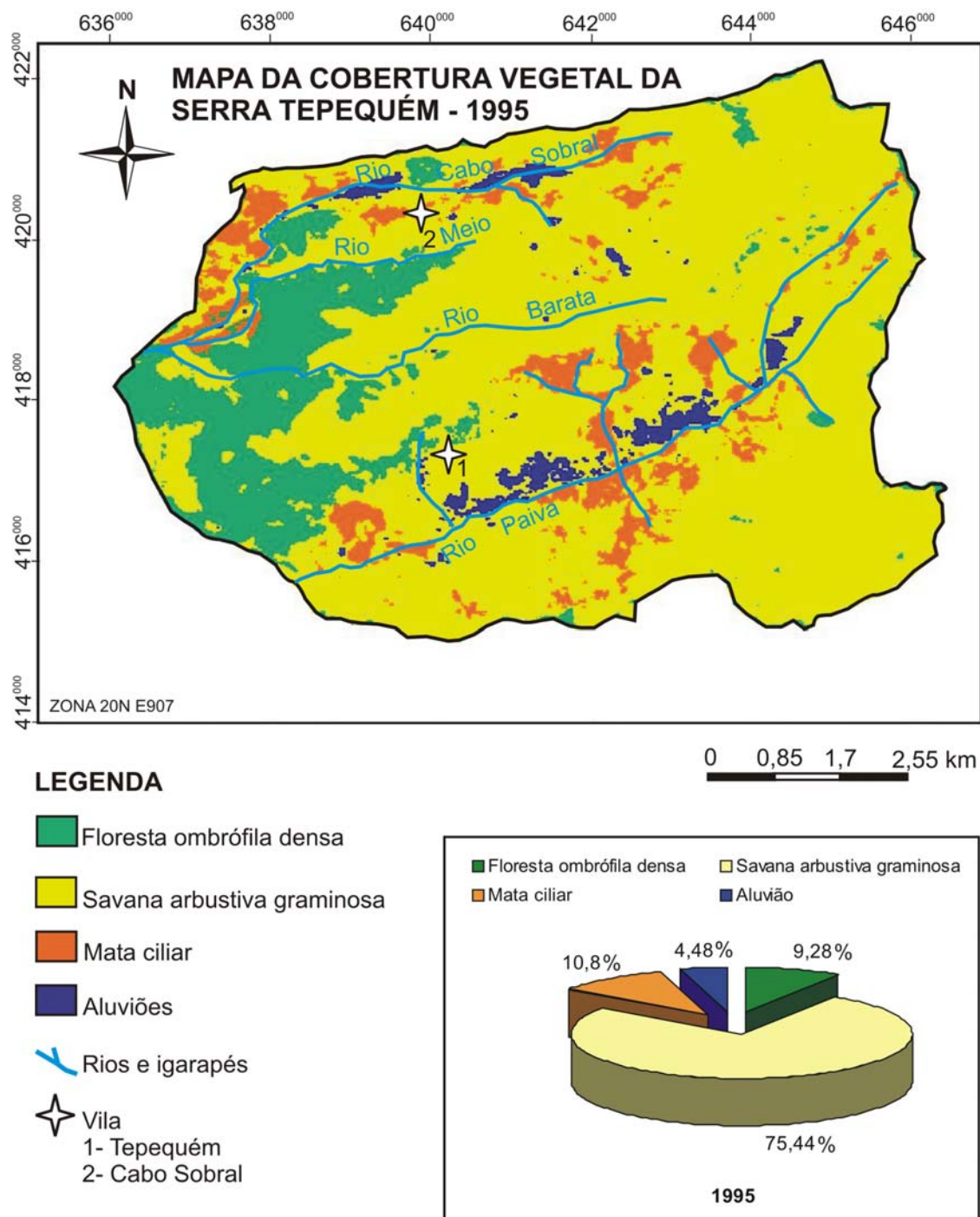
*- Cobertura vegetal da serra Tepequém para o período de 1995*

Os dados obtidos para 1995, demonstraram que as áreas recobertas por mata ciliar aumentaram, quando comparados com o período anterior (1984), atingindo 5,8 km<sup>2</sup> da área o que corresponde a 10,8 % do total, sendo verificado uma recomposição da mata ciliar no vale do rio Cabo Sobral, principalmente na porção noroeste da serra. Em função disto, é notório a redução de aluviões expostos ao longo do rio Cabo Sobral, passando a ser mais representativa na margem direita do rio Paiva, totalizando para o período de 1995, uma área de 2,41 km<sup>2</sup>, correspondendo a 4,48 % do total.

As áreas de savana estépica graminosa (40,5 km<sup>2</sup>), correspondente a 75,4 % do total da área para o período de 1995, teve um relativo aumento em relação ao período anterior (1984). Enquanto as áreas recobertas pela floresta ombrófila densa (4,9 km<sup>2</sup>), constituindo 9,28 % do total, apresentou decréscimo entre os períodos de 1984 e 1995.

O mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém para 1995 (Figura 35), demonstra que as atividades de garimpo de diamante, se expandiram mais para a porção sul da serra, ao longo do curso do rio Paiva (margem direita), isto se deve ao declínio do garimpo nas áreas marginais do rio Cabo Sobral. A Vila Cabo Sobral situada na margem esquerda do rio homônimo, já apresentava neste período (1995) reflexos do declínio da atividade do garimpo, com a redução do número de moradores.

Almeida Filho e Shimabukuro (2002) estimaram as áreas degradadas pela atividade do garimpo na serra Tepequém (topo e entorno da serra), em um total de 94,4 ha (1987), 286,4 ha (1991) e 404,4 ha (1994).



**Figura 35-** Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém - Roraima para o período de 1995. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes cobertura vegetal e aluvião.

- Cobertura vegetal da serra Tepequém para o período de 2006

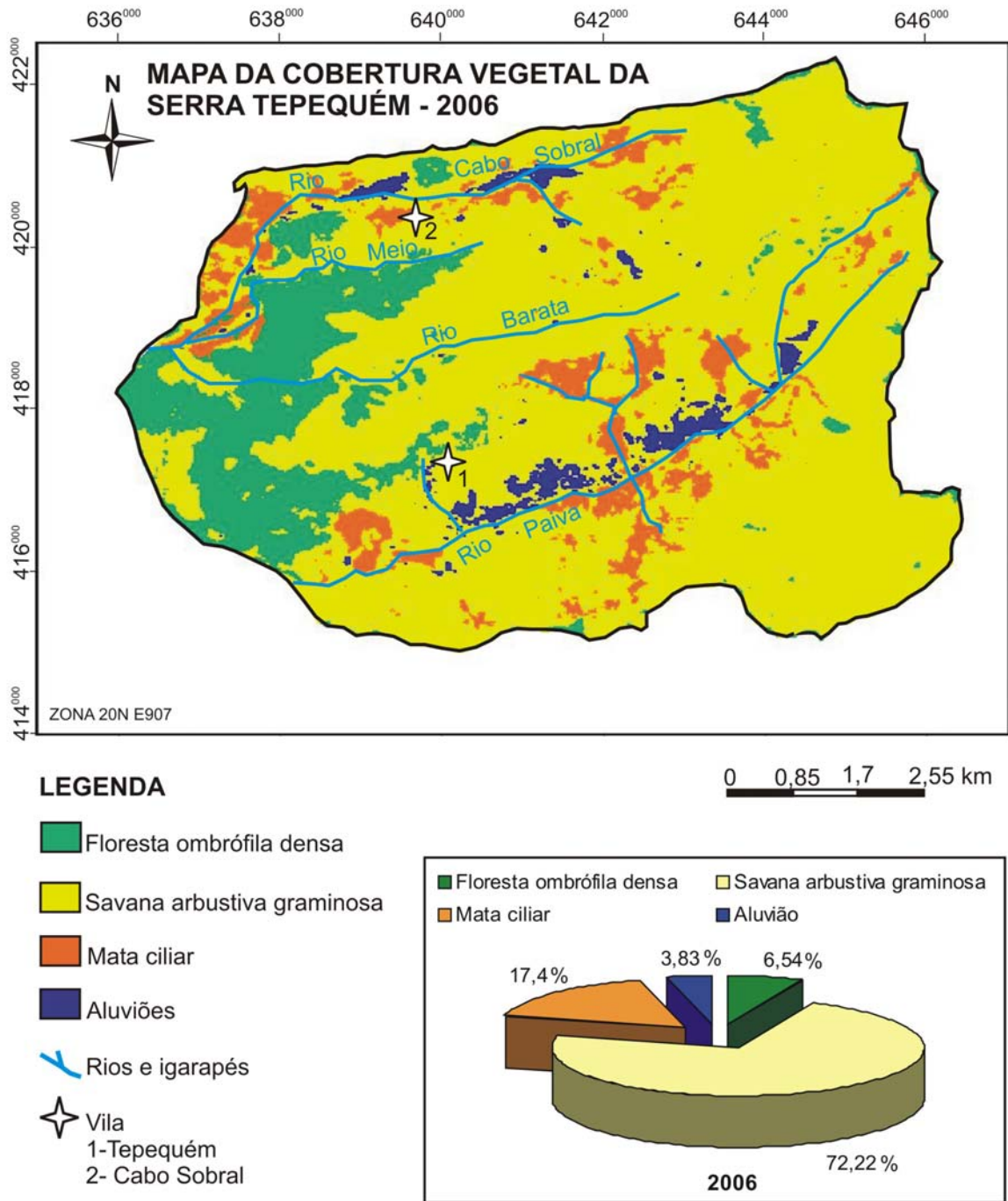
A paisagem da serra Tepequém configurada no mapa da cobertura vegetal de 2006, evidencia redução das áreas recobertas por floresta ombrófila densa (3,57 km<sup>2</sup>) e savana arbustiva graminosa (39,47 km<sup>2</sup>), quando comparada com o período anterior (1995). Neste período, se observa a expansão da área de mata ciliar (9,5 km<sup>2</sup>) em detrimento da redução das áreas de exposição de aluviões, ao longo dos rios Cabo Sobral, Paiva e tributários, totalizando uma área de 2,1 km<sup>2</sup>. Dessa forma, a redução de áreas de aluviões, ao longo das drenagens, deve-se, sobretudo, à diminuição da atividade garimpeira diamantífera, devido às ações governamentais de controle da atividade de garimpo informal na região no início da década de noventa (século XX).

Atualmente, se observa a implantação de novas atividades econômicas, a exemplo, da atividade de piscicultura realizada nas cavas deixada pelo garimpo e que hoje são utilizadas como tanques criatórios. Estas cavas concentram-se principalmente ao longo da margem direita do rio Paiva, área em que se observa uma visível expansão das exposições de aluviões em detrimento da retirada da mata ciliar (Figura 36 e 37).



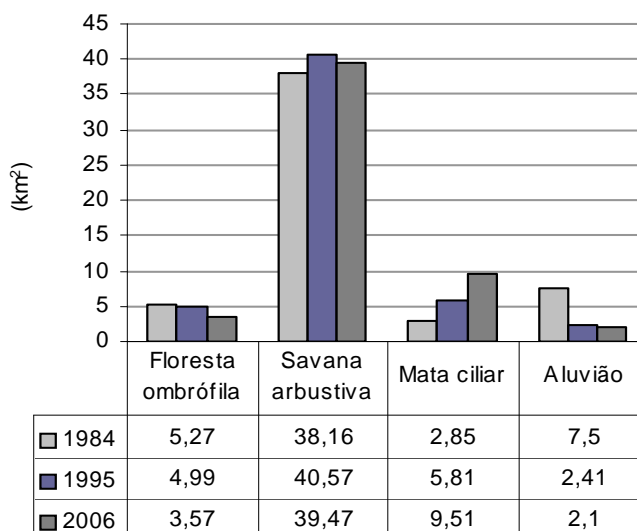
**Figura 36- Área garimpada na margem direita do rio Paiva, em destaque as cavas que são utilizadas para a atividade de piscicultura. As setas indicam a direção do fluxo do rio Paiva.**





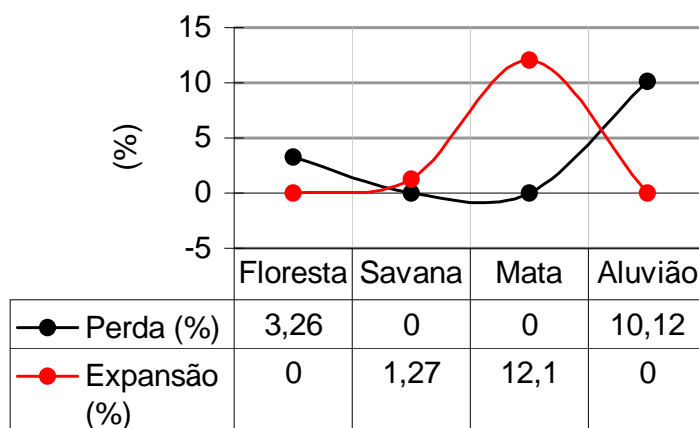
**Figura 37-** Mapa da cobertura vegetal da serra Tepequém para o período de 2006. No detalhe porcentagem da ocupação areal das classes cobertura vegetal e aluvião.

A figura 38 demonstra que a fisionomia dominante, na serra Tepequém, é a vegetação do tipo savana arbustiva graminosa, esta juntamente com a floresta ombrófila densa, não apresentaram grande variação de ocupação areal durante o período analisado (22 anos).



**Figura 38-** Distribuição de ocupação areal (km<sup>2</sup>) das classes cobertura vegetal e aluvião na serra Tepequém para os períodos de 1984, 1995 e 2006.

A relação da ocupação areal (km<sup>2</sup>) da mata ciliar e aluviões expostos ao longo da drenagem, é inversamente proporcional, os dados entre os anos de 1984 e 2006 (Figura 39), demonstram significativa expansão da mata ciliar (12%), em detrimento da perda areal (10%) de exposição de aluvião. Tal fato confirma que o processo de recuperação das áreas degradadas pela atividade do garimpo na serra Tepequém, encontra-se em franco desenvolvimento.



**Figura 39-** Valores em porcentagem das perdas e expansão areal da cobertura vegetal e áreas de aluvial na serra Tepequém entre o período de 1984 e 2006.

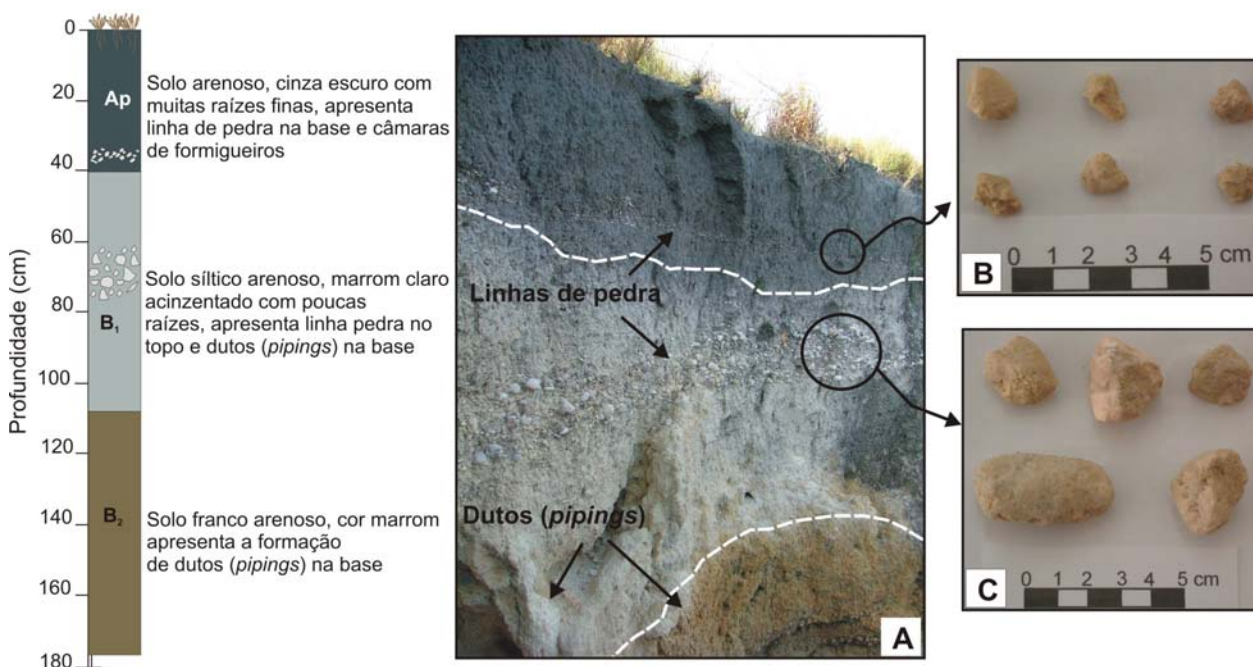
## 6 OS SOLOS, COLÚVIOS E LATERITOS DA SERRA TEPEQUÉM

### 6.1 PERFIS DE SOLO E COLÚVIOS (TALUDE DAS VOÇOROCAS)

#### -Voçoroca Tepequém 1

No perfil de solo da voçoroca Tepequém 1, no intervalo de 176 cm, foram identificados três horizontes: o horizonte Ap, apresenta textura arenosa e cor cinza escuro (10YR 4/1); horizonte B<sub>1</sub> de textura síltico-arenosa, cor marrom claro acinzentado (10YR 7/4); horizonte B<sub>2</sub> de textura arenosa e cor predominante marrom forte (7,5YR 5/8) (Figura 40 A).

Linhas de pedra ocorrem dentro dos horizontes Ap e B<sub>1</sub> (Figura 40 B e C), sendo mais espessa em B<sub>1</sub>, com 10 cm. Câmaras de formigueiros com 5 a 15 cm de largura, encontradas no horizonte Ap e dutos (*pipings*) de dimensões de 12 a 20 cm na base do perfil aumentam a macroporosidade do solo.

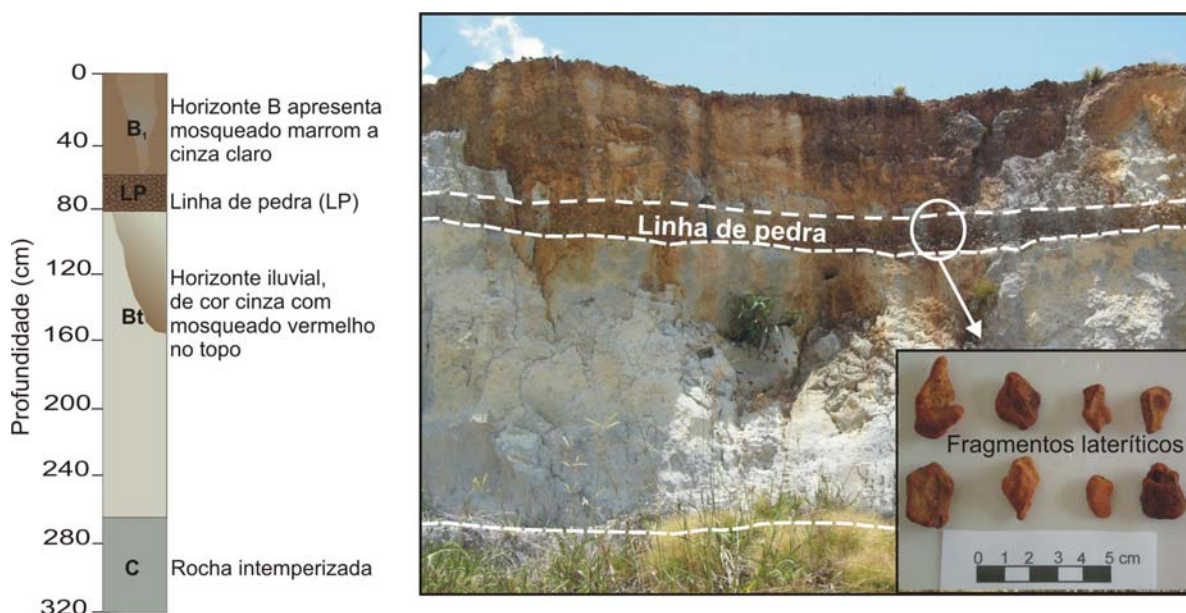


**Figura 40-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 1 (VT1) - Serra Tepequém-Roraima (A). No detalhe seixos de quartzo angulosos a subarredondados das linhas de pedra (B e C).



### -Voçoroca Tepequém 2

O perfil de solo da voçoroca Tepequém 2, nos seus 320 cm, compreende quatro horizontes: equivalente a B<sub>1</sub> no topo com textura siltico-arenosa e cor marrom claro acinzentado (10YR 7/3); sotoposto a linha de pedra, com 22 cm de espessura, de cor marrom escuro (7,5YR 3/4) formada por fragmentos de lateritos de 10 a 20 mm de diâmetro, angulosos a subarredondados, em matriz arenosa; a linha de pedra sobrepõe-se a um horizonte tipo Bt, siltico-arenoso com acúmulo de silte e argila, e cor cinza variando entre 10YR 5/1 a 10YR 6/1; na base encontra-se o horizonte C (saprólito), arenoso e cor marrom claro acinzentado (10YR 8/2) (Figura 41).

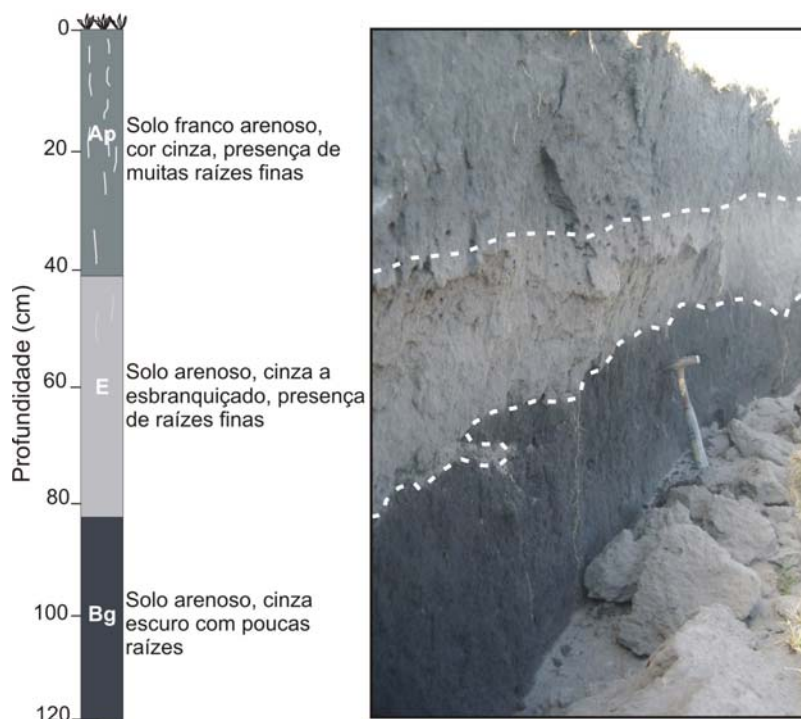


**Figura 41-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 2 (VT2) – Serra Tepequém-Roraima. No detalhe fragmentos de crostas lateríticas, componentes da linha de pedra.

A exposição superficial do horizonte B<sub>1</sub>, a linha de pedra abaixo, sugere que o perfil foi erosivamente truncado.

### - Voçoroca da Lixeira

No perfil de solo no intervalo de 120 cm, foram identificados três horizontes: o horizonte Ap de cor dominante cinza (7,5YR 3/1); e os horizontes E e Bg, de cor dominante cinza claro (7,5YR 7/1) e cinza escuro (7,5YR 4/1), respectivamente. Predomina em todo perfil a textura arenosa (Figura 42).



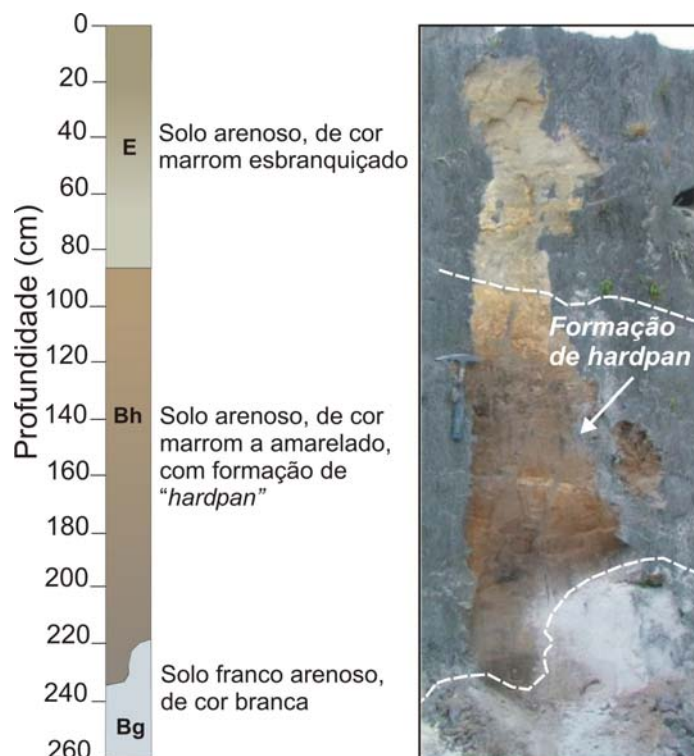
**Figura 42-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca da Lixeira (VL) - Serra Tepequém - RR.

*- Voçoroca Morro da Antena*

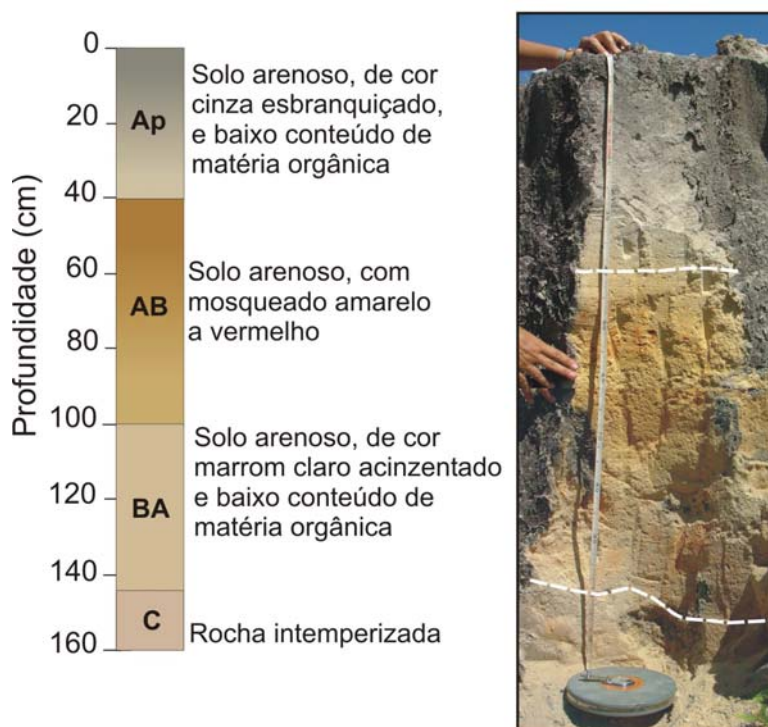
O perfil de solo exposto na parede da voçoroca Morro da Antena, até 260 cm de profundidade, compreende três horizontes: no topo o horizonte E, com textura arenosa e cor marrom (10YR 5/3); o horizonte Bh, arenoso e cor marrom a amarelado (10YR 5/4); na base encontra-se o horizonte Bg, franco arenoso e cor branca (10YR 8/1) (Figura 43). Um *hardpan* no horizonte Bh é indicativo de uma superimposição de processos de podzolização, muito comum nas planícies intermontanas da serra Tepequém.

*- Voçoroca Cabo Sobral I*

No perfil de solo, no intervalo de 160 cm de profundidade, foram identificados quatro horizontes: o horizonte Ap de cor predominante cinza (7,5YR 6/1); horizonte AB de cor amarela (10YR 7/6) com mosqueado avermelhado, impressa pelos oxi-hidróxidos de ferro; horizonte BA de cor marrom claro acinzentado (10YR 7/4); e o horizonte C (saprólito) (Figura 44). Em todo perfil, a textura arenosa é predominante.



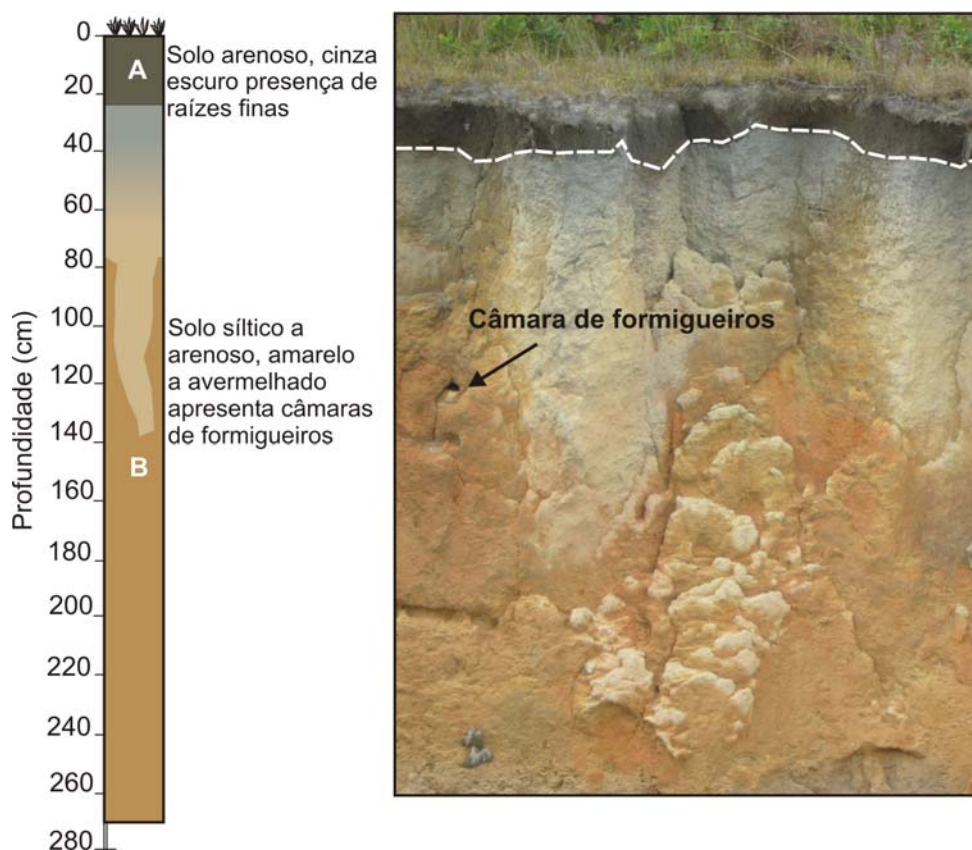
**Figura 43-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca localizada próximo ao Morro da Antena (VM) - Serra Tepequém - RR.



**Figura 44-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Cabo Sobral 1 - Serra Tepequém - RR.

- *Voçoroca Tepequém 3*

No perfil de solo, no intervalo de 270 cm de profundidade, foram identificados dois horizontes: o horizonte A, de textura arenosa e cor cinza escuro (10YR 4/1); e o horizonte B de textura siltico arenosa com mosqueado variando de amarelo avermelhado (5YR 6/6) na base, a marrom acinzentado (10YR 8/2) no topo (Figura 45). Câmaras de formigueiros com 5 a 10 cm de largura foram encontradas nos dois horizontes.



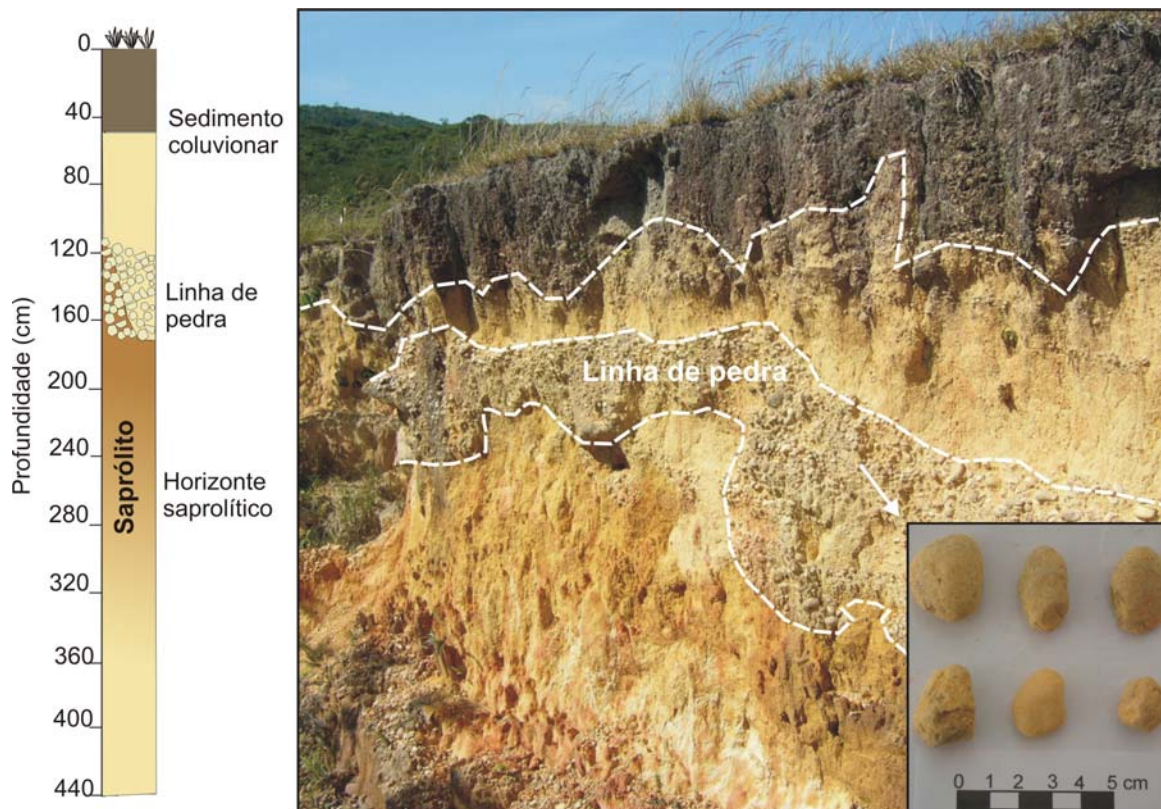
**Figura 45-** Perfil de solo exposto na parede da voçoroca Tepequém 3 - Serra Tepequém - RR.

- *Voçoroca do Paiva*

Nos primeiros 440 cm de profundidade, foram identificados três horizontes do topo para a base: coluvionar, de textura siltica arenosa, cor marrom claro acinzentado (10 YR 8/4) a cinza escuro (7,5YR 4/1) apresenta acúmulo de matéria orgânica; linha de pedra, com 20 a 40 cm de espessura, formada por seixos de quartzo leitoso de 10 a 25 mm de diâmetro, subarredondados a arredondados, em matriz arenosa; o horizonte saprolítico, de textura areia siltica, baixa coesão, de



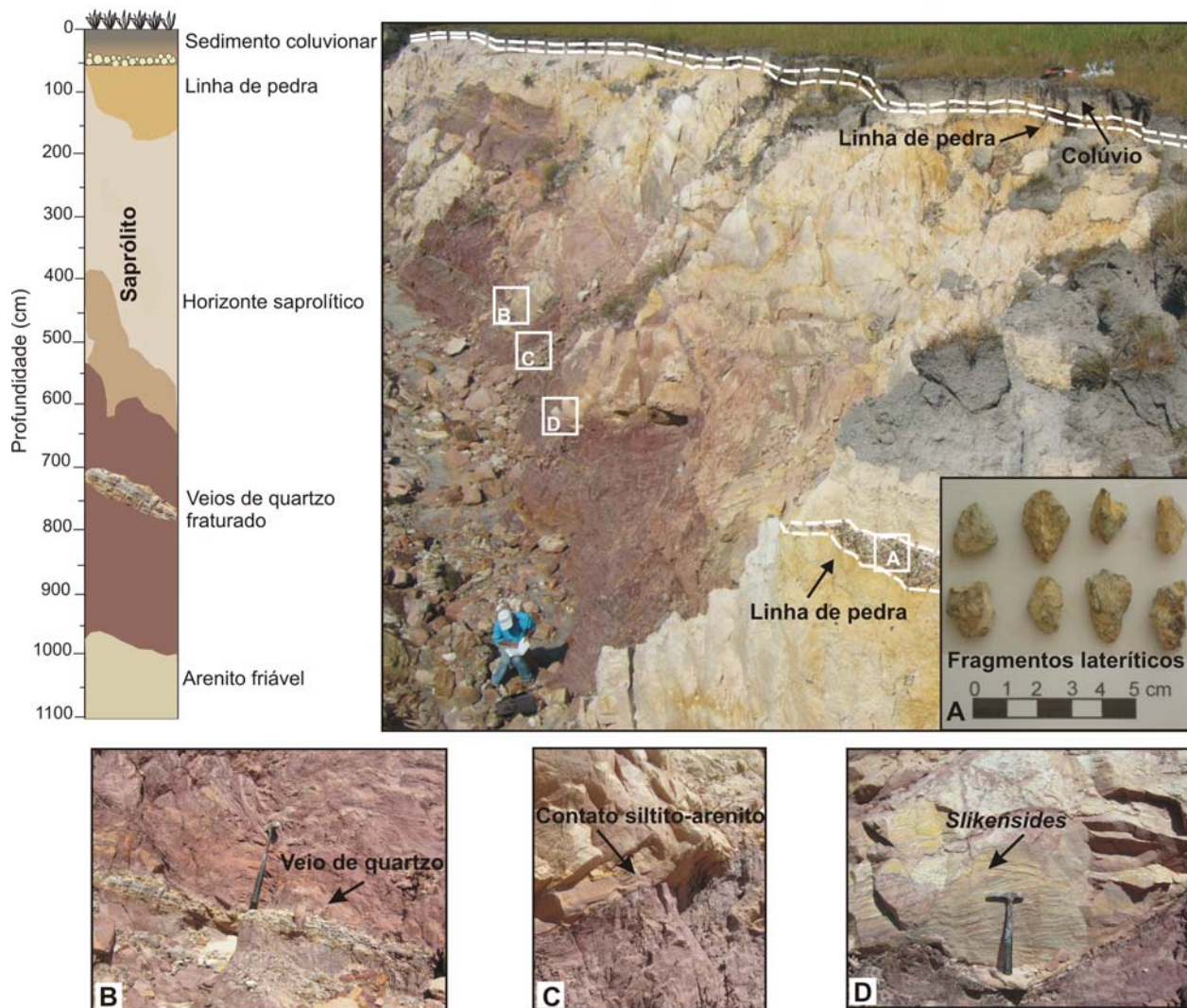
cor branca rosada (7,5 YR 8/2) com aspecto mosqueado vermelho a amarelo (5YR 4/6) preservando na base a estrutura da rocha (arenitos e siltitos) (Figura 46).



**Figura 46-** Perfil saprolítico desenvolvido em arenitos e siltitos da Formação Tepequém – Voçoroca do Paiva - Serra Tepequém - Roraima. No detalhe seixos de quartzo leitoso, subarredondados a arredondados, componentes da linha de pedra.

#### - Voçoroca do Barata

Na voçoroca do Barata, o perfil de alteração exposto alcança 11 m de profundidade, compreende três horizontes: a cobertura coluvionar, de textura arenosa e cor cinza escuro (5YR 3/1); sotoposta encontra-se a linha de pedra, com 5 a 20 cm de espessura, formada por fragmentos lateríticos ferroaluminosos, de 5 a 20 mm de diâmetro, angulosos e subarredondados (Figura 47 A), envoltos em matriz arenosa; a linha de pedra sobrepõe-se ao horizonte saprolítico, síltico arenoso, de cor variando de rosada (7,5YR 8/4) a vermelho claro acinzentado (7,5YR 5/3) tendo na base arenito friável, de cor branca (10YR 8/1). Veios de quartzo, contatos tectônicos, litológicos, *slikensides* (espelho de falha) e microfraturas nestas rochas alteradas caracterizam o saprólito (Figura 47 B, C e D).



**Figura 47-** Perfil de alteração intempérica exposto na parede da voçoroca do Barata. Em destaque: (A) fragmentos de lateritos da linha de pedra; (B) veio de quartzo microfraturado; (C) contato siltito-arenito e (D) arenito com *slikensides* (espelho de falhas).

## 6.2 OS LATERITOS

Os lateritos foram encontrados nas colinas situadas no centro-norte da serra Tepequém. Em perfil de 2,5 m de profundidade, foram identificados dois horizontes: o mosqueado colunar na base, vermelho tendendo a amarelo (7,5YR 5/1), com uma zona intermediária, tipo pedra de ferro com estruturação planar subhorizontal, com 25 cm de espessura, de coloração rosada a



avermelhada (7,5YR 8/4); e crosta ferruginosa concrecionária de cor marrom avermelhado (7,5YR 5/8), parcialmente dismantelada (Figura 48).



**Figura 48-** Perfil laterítico exposto em colinas situadas no centro-norte da serra Tepequém – RR. São evidentes estruturas colunares e pedra de ferro subhorizontal.

### 6.3 GRANULOMETRIA DOS SOLOS E COLÚVIOS

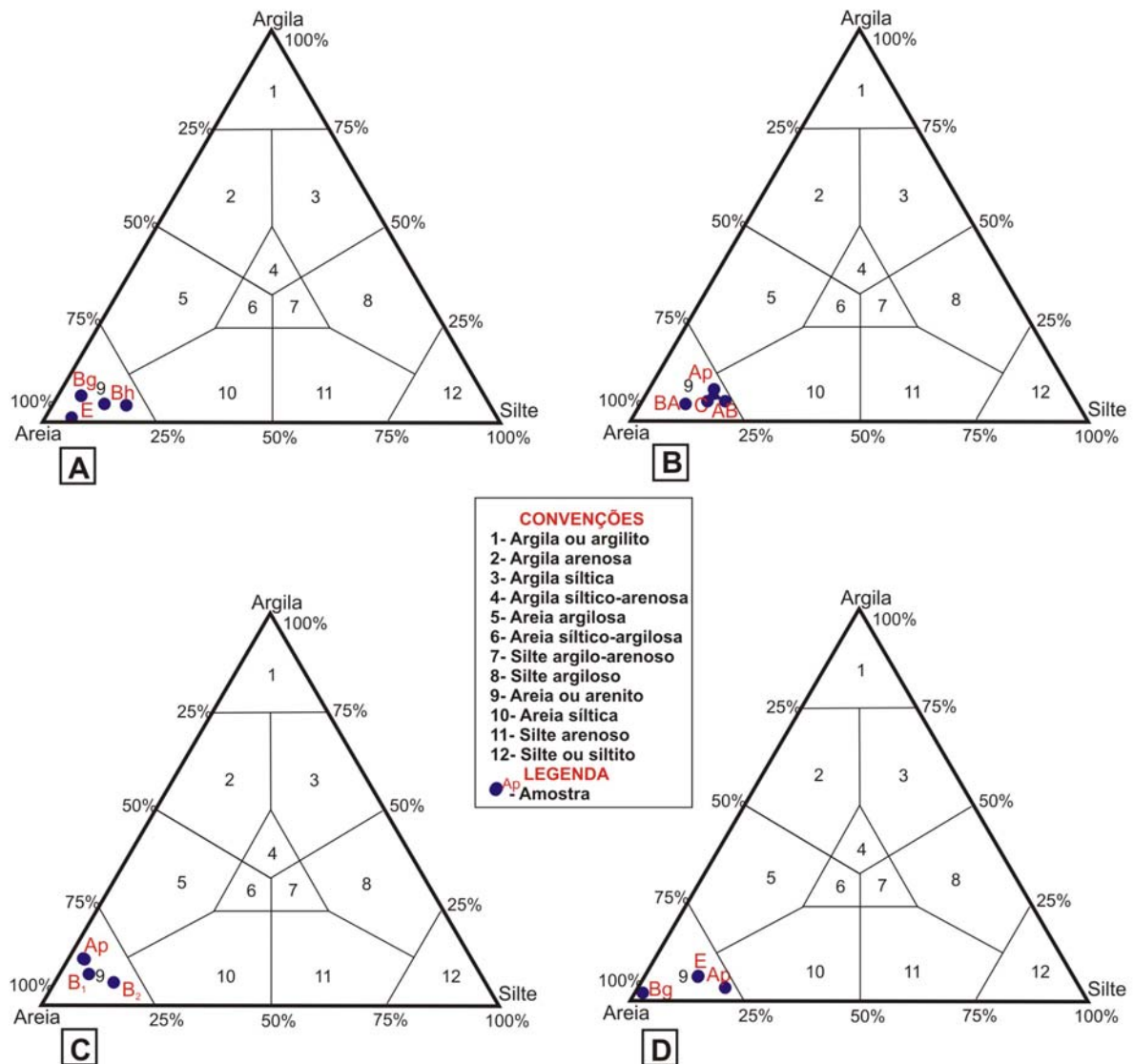
Os solos onde se situam as voçorocas do Morro da Antena, Tepequém 1, Cabo Sobral 1 e Lixeira (Figura 49) são predominantemente arenosos, enquanto os das voçorocas Paiva, Barata, Tepequém 2 e 3 (Figura 50), arenosos silticos. Nas linhas de pedra, a matriz dos seixos é formada de areia média à grossa (0,2496 a 0,4992 mm).

O grau de seleção dos grãos da fração areia variou de 1,0 a 2,5, caracterizando como pobremente selecionados a muito pobremente selecionados. Sugere transporte a curta distância possivelmente por movimentos de massa, escorregamento ou fluido de alta densidade, portanto, incapaz de selecionar e distribuir, de modo característico, os diferentes tipos de grãos (SUGUIO, 1973). Os valores de assimetria, de 0,1 a 1,2, classificam estes grãos como assimétricos positivos



a muito positivos, exceto na amostra do perfil saprolítico (material siltico) que obteve valor de 0,01 caracterizando-se como aproximadamente simétrico (Tabela 3).

Os valores de curtoses, de 0,2 a 1,5, classificam os grãos como muito platocúrticos a muito leptocúrticos tendo poucos valores no campo mesocúrticos. Segundo Suguio (1973), as medidas de curtose refletem a dinâmica seletiva, que no caso específico corresponde a escorregamento e fluxo de massa.



**Figura 49- Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard - voçoroca do Morro da Antena (A); voçoroca Cabo Sobral 1 (B); voçoroca Tepequém 1 (C) e voçoroca da Lixeira (D).**

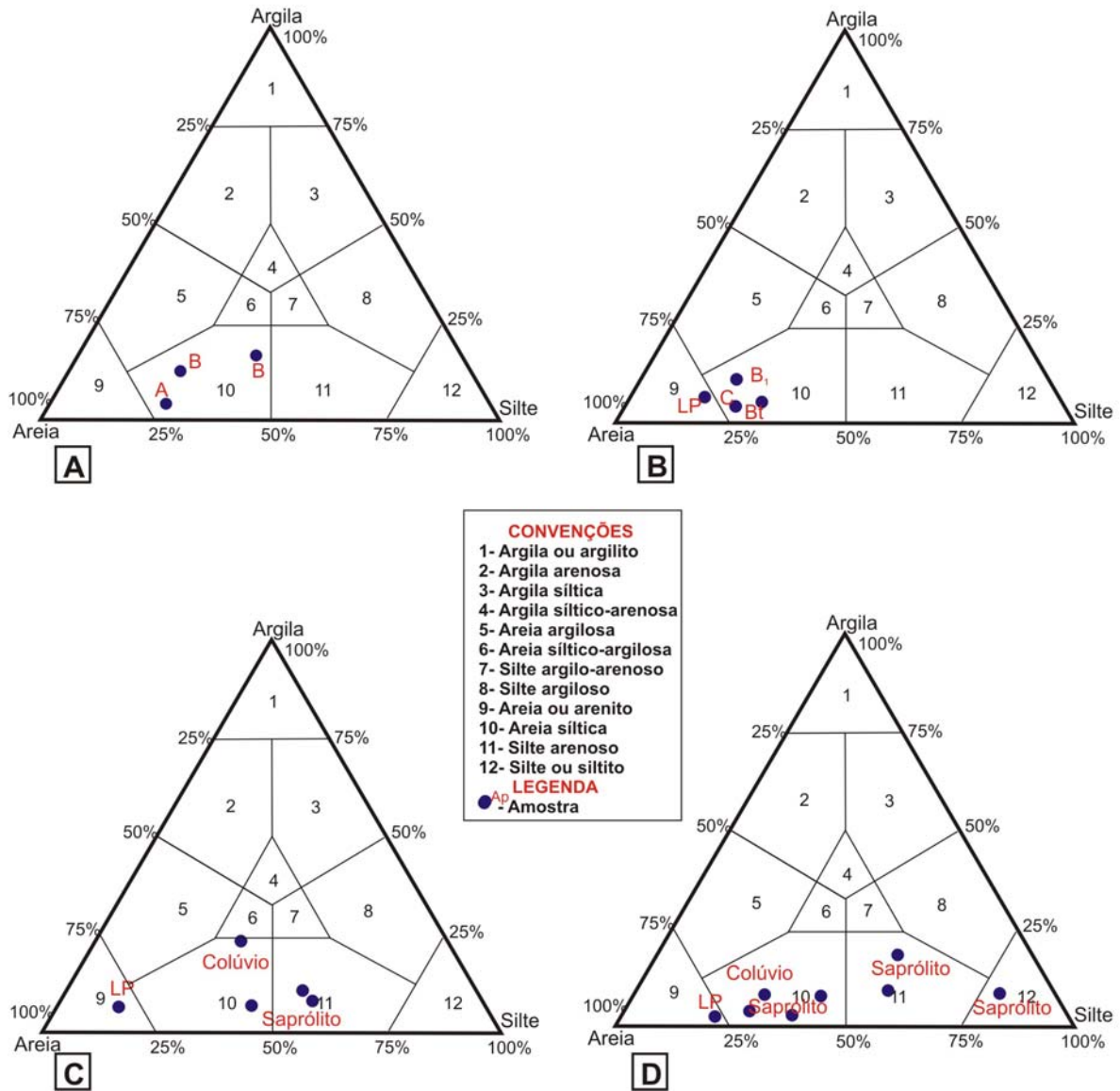


Figura 50- Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard - voçoroca Tepequém 3 (A); voçoroca Tepequém 2 (B); voçoroca do Paiva (C) e voçoroca Barata (D).

**Tabela 3- Análise de freqüência dos dados granulométricos dos perfis de solo estudados nos taludes das voçorocas na serra Tepequém – Roraima**

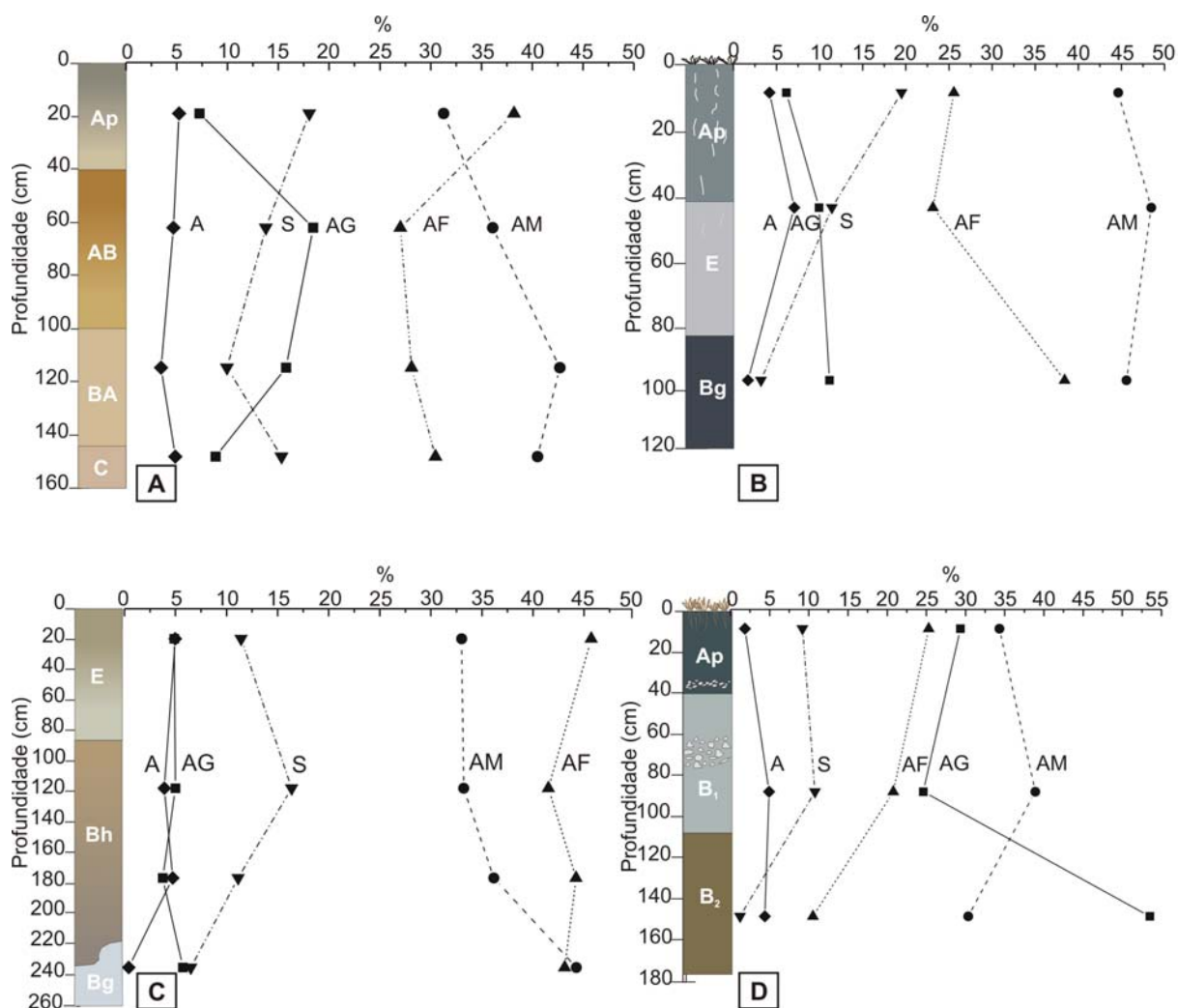
| Perfil de solo/<br>voçoroca | Diâmetro médio das partículas (mm)               | Grau de seleção   | Grau de assimetria                                     | Curtose                                       |
|-----------------------------|--|---|--|---|
| <b>Morro da Antena</b>      | areia fina (0,1248 a 0,2496)                     | pobrememente selecionado (1,0-1,5)                      | assimétricos muito positivos (0,32-0,37)               | mesocúrticos a leptocúrticos (0,9-1,3)        |
| <b>Tepequém 1</b>           | areia fina a grossa (0,1248 a 0,4992)            | pobrememente selecionado (1,4-1,9)                      | assimétricos positivos (0,2-0,3)                       | muito platicúrticos a platicúrticos (0,2-0,8) |
| <b>Tepequém 2</b>           | areia muito fina a média (0,0625 a 0,2496)       | pobrememente a muito pobrememente selecionado (1,6-2,5) | assimétricos muito positivos (0,3-1,2)                 | platicúrticos a mesocúrticos (0,7-0,9)        |
| <b>Tepequém 3</b>           | silte grosso a areia muito fina (0,031 a 0,0625) | pobrememente selecionado (1,4-1,9)                      | assimétricos positivos a muito positivos (0,1-0,3)     | mesocúrticos (0,9-1,0)                        |
| <b>Cabo Sobral 1</b>        | areia muito fina (0,0625)                        | pobrememente selecionado (1,4-1,9)                      | assimétricos positivos a muito positivos (0,2-0,4)     | mesocúrticos a muito leptocúrticos (1,0-1,5)  |
| <b>Paiva</b>                | silte grosso a areia média (0,031 a 0,2496)      | pobrememente selecionado a muito pobrememente (1,5-2,5) | assimétricos negativos a muito positivos (-0,2-0,9)    | platicúrticos a muito leptocúrticos (0,7-1,5) |
| <b>Lixeira</b>              | areia fina a média (0,1248 a 0,2496)             | moderadamente a pobrememente selecionado (0,8-1,7)      | assimétricos positivos a muito positivos (0,1-0,5)     | platicúrticos a muito leptocúrticos (0,8-1,5) |
| <b>Barata</b>               | silte grosso a areia fina (0,031 a 0,1248)       | Moderadamente a pobrememente selecionado (0,9-1,6)      | aproximadamente simétrico a muito positivo (0,01-0,58) | platicúrticos a leptocúrticos (0,7-1,2)       |

*-Distribuição das frações granulométricas nos perfis de solo*

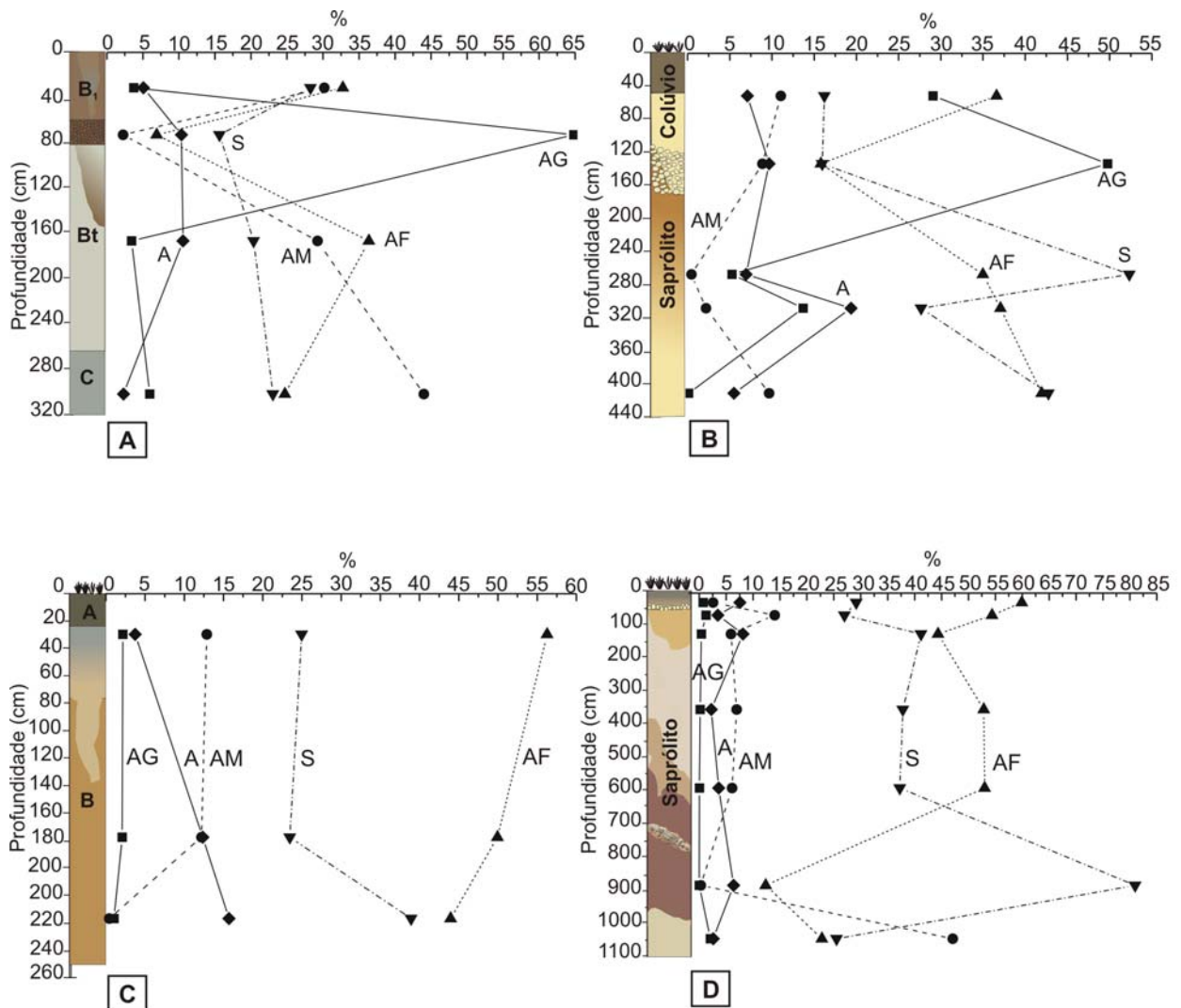
A distribuição granulométrica dos perfis de solos das voçorocas Cabo Sobral 1, Lixeira e Morro da Antena (Figura 51 A, B e C) se assemelham quanto ao domínio de areia média e fina, que tendem a aumentar nos horizontes B e C, com argila concentrando-se em AB e a fração siltica no horizonte A. O Perfil de solo da voçoroca Tepequém 1 (Figura 51 D) se destaca dos anteriores apenas pelo domínio de areia grossa, que aumenta significativamente no horizonte B<sub>2</sub>. O perfil de solo da voçoroca Tepequém 3 (Figura 52 C) diverge dos anteriores pelo domínio de areia fina e silte, a primeira decrescendo e a segunda aumentando com a profundidade. A fração argila também aumenta com a profundidade.

No Perfil de solo da voçoroca Tepequém 2, a normalidade da distribuição granulométrica das voçorocas descritas anteriormente é modificada pela fração seixos da linha de pedra, demonstrando tratar-se, portanto, de material alóctone, ao contrário dos anteriores, nitidamente autóctones. O padrão granulométrico deste perfil, na porção inferior à linha de pedra, é similar

aos demais, confirmando assim o seu caráter autóctone próximo à zona saprolítica. (Figura 52 A). Aspecto similar é apresentado pelo perfil de solo da voçoroca do Paiva, em que a distribuição granulométrica no perfil ilustra a zona saprolítica similar a base dos perfis anteriores, a linha de pedra com seixos de quartzo predominando e material de cobertura (colúvio) divergentes (Figura 52 B). No entanto, o perfil da voçoroca do Barata (Figura 52 D), mostra uma grande variação na distribuição granulométrica abaixo da linha de pedra, correspondente a zona saprolítica, e reflete fundamentalmente as variações litológicas, de arenitos e siltitos, que constituem a Formação Tepequém.



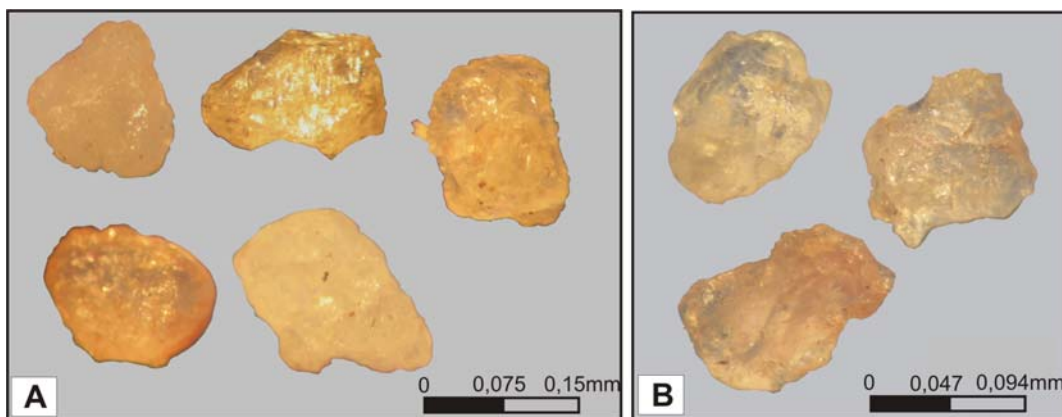
**Figura 51- Variação granulométrica nos perfis de solo das voçorocas Cabo Sobral 1 (A), Lixeira (B), Morro da Antena (C) e Tepequém 1 (D) - Serra Tepequém - Roraima. (Legenda: AG - areia grossa, AM - areia média, AF - areia fina, S - silte e A- argila).**



**Figura 52- Variação granulométrica nos perfis de solo das voçorocas Tepequém 2 (A), Paiva (B), Tepequém 3 (C) e Barata (D) - Serra Tepequém - Roraima. (Legenda: AG - areia grossa, AM - areia média, AF - areia fina, S - silte e A - argila).**

#### - Morfologia dos grãos

Os grãos, formados principalmente por quartzo leitoso, variam de subangulosos (69 %), subarredondados (22 %) a arredondados (9 %) (Figura 53). A presença de grãos de quartzo arredondados nos colúvios (linha de pedra) indica que os mesmos são provenientes de rochas em que eles já se encontravam arredondados, a exemplo dos conglomerados da Formação Tepequém. Os grãos das amostras dos saprólitos se apresentam sem arredondamento.



**Figura 53-** Grãos de quartzo dos solos estudados na serra Tepequém – RR. (A) grãos subangulosos a subarredondados de cor castanha e (B) grãos com fissuras na superfície.

A esfericidade dos grãos é moderada no colúvio e linhas de pedra e baixa nos saprólitos. Sob o microscópio (MEV) estes grãos apresentam fendas, sulcos e cavidades, que podem ser atribuídos à dissolução química em decorrência da ação dos ácidos húmicos. Tais características foram observadas nos grãos de quartzo das amostras de colúvio (Figura 54 A e B) e linha de pedra (Figura 54 C e D). No saprólito, observa-se a coexistência de grãos subangulosos, sem corrosão, com aqueles que mostram indícios de dissolução química na superfície (Figura 54 E, F, G e H).



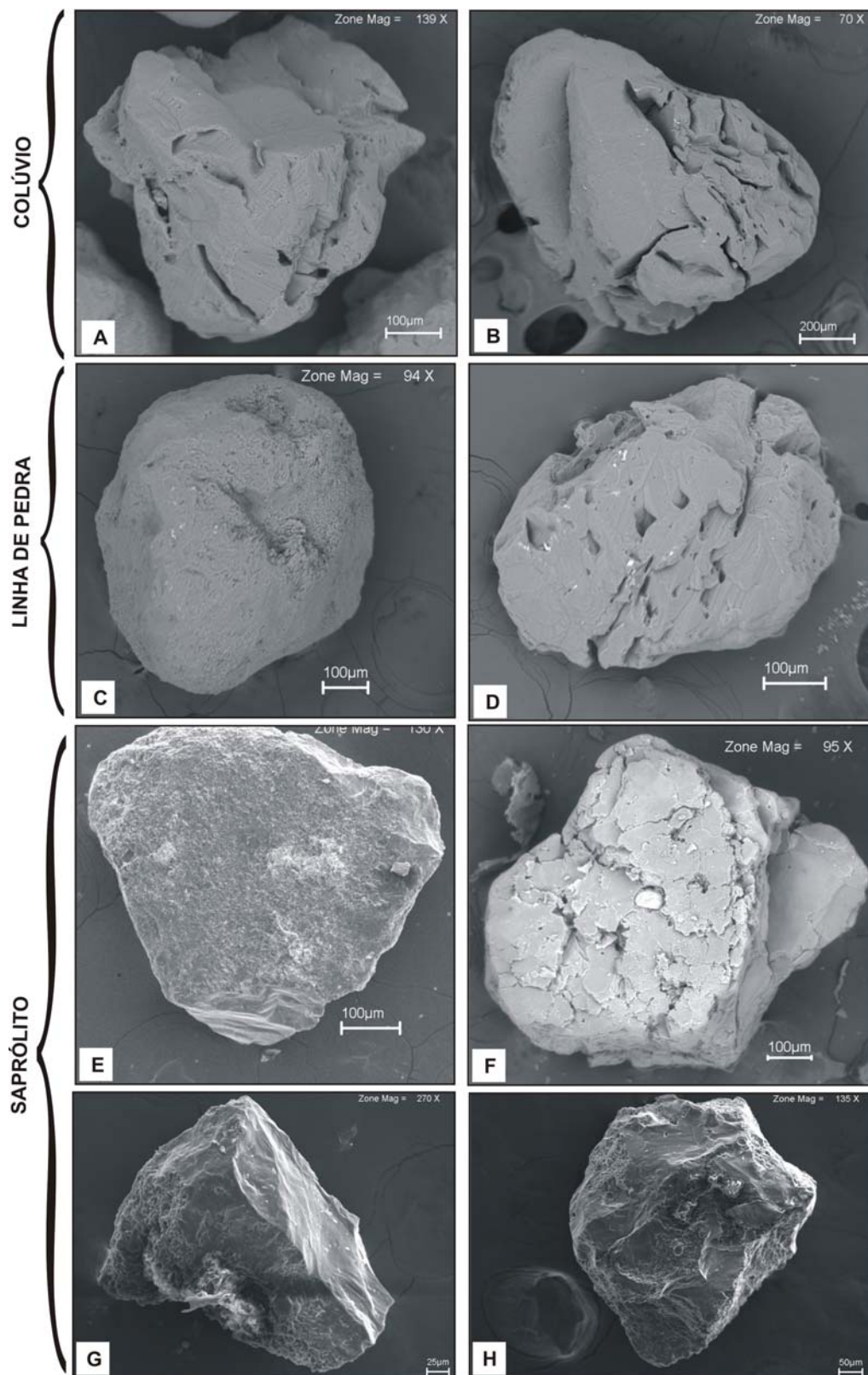


Figura 54- As imagens de MEV revelam grãos de quartzo com feições tipo fenda, sulcos e cavidades (A, B, C e D), grãos apresentando indícios de corrosão química na superfície (E e F) e grãos subangulosos sem corrosão (G e H).



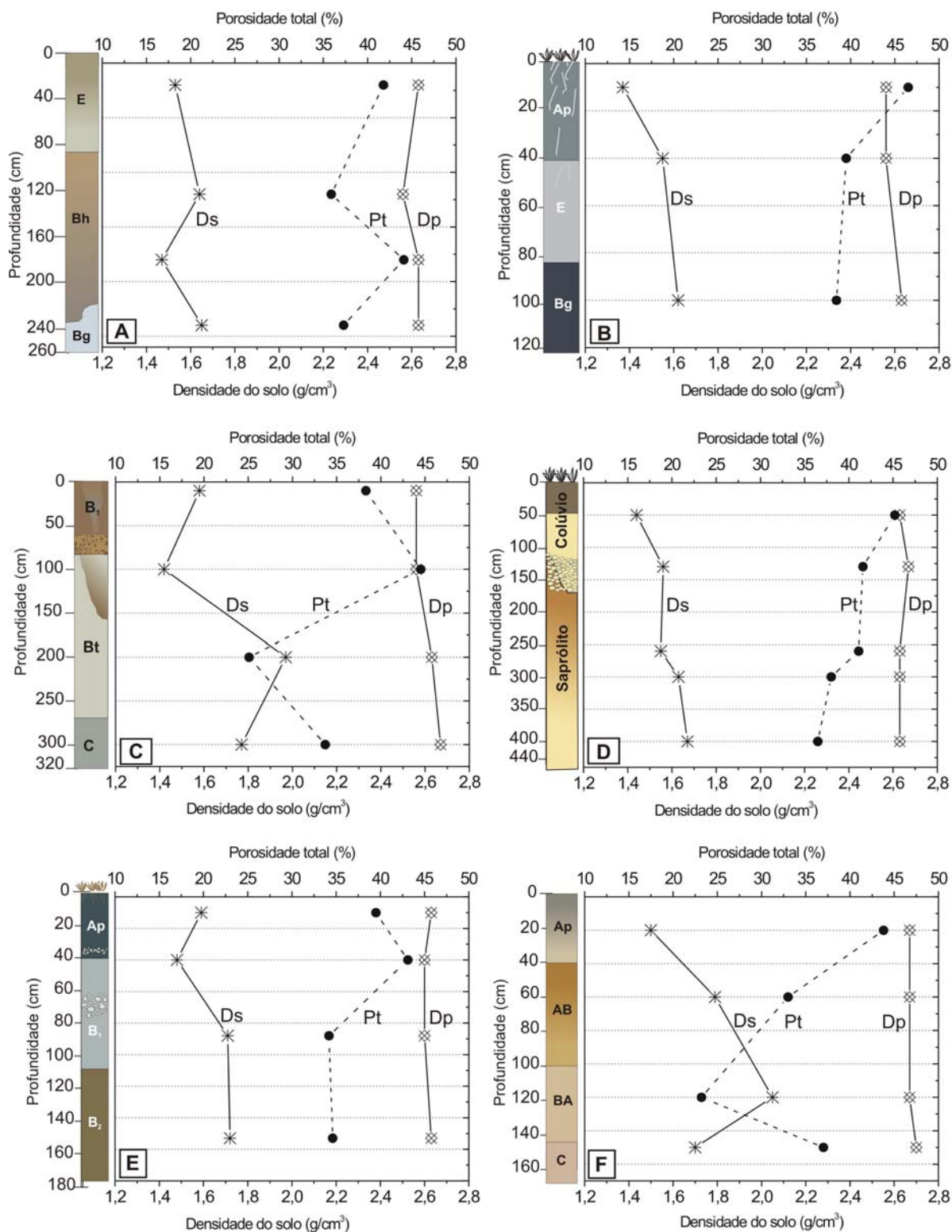
#### 6.4 DENSIDADES E POROSIDADE DO SOLO

A densidade dos solos nos perfis aumenta com a profundidade: de 1,4 a 2,0 g/cm<sup>3</sup> (Figura 55 A, B, C, D, E e F). Localmente em alguns perfis, observa-se diminuição na interface dos horizontes A e B. Estes valores de densidade se assemelham aos encontrados por Schaefer e Dalrymple (1996), em solos de savanas em Roraima, com valores de 1,4 a 1,65 g/cm<sup>3</sup>. Os referidos autores associam os baixos valores de densidade encontrados na superfície do solo à maior concentração de matéria orgânica, responsável pela estrutura granular do solo.

A porosidade total é inversamente proporcional à densidade do solo, variando de 39,5 a 46,5%, quando em perfis não truncados. Neste caso, os valores podem decrescer em superfície, a exemplo do perfil da voçoroca Tepequém 2 (Figura 55 C).

A densidade de partículas dos solos não apresentou grande variação ao longo dos perfis (2,5 a 2,7 g/cm<sup>3</sup>). Isto reflete a composição mineralógica à base de quartzo, cuja densidade é de 2,65 em todos os horizontes, e secundariamente de muscovita e caulinita.

A porosidade é um parâmetro importante no entendimento da estabilidade do solo ao processo erosivo. Sander (2002) destaca que a distribuição e o tamanho dos poros influenciam significativamente no balanço de água e ar e conseqüentemente na permeabilidade do solo. Guerra (1998) destaca que mesmo em solos arenosos, com alta permeabilidade a alta porosidade e supostamente maior capacidade de infiltração, a presença de grãos finos, associados com o baixo teor de matéria orgânica, pode produzir crostas na superfície do solo, diminuir a porosidade e por conseqüência aumentar as taxas do escoamento superficial (*runoff*) e a perda do solo.



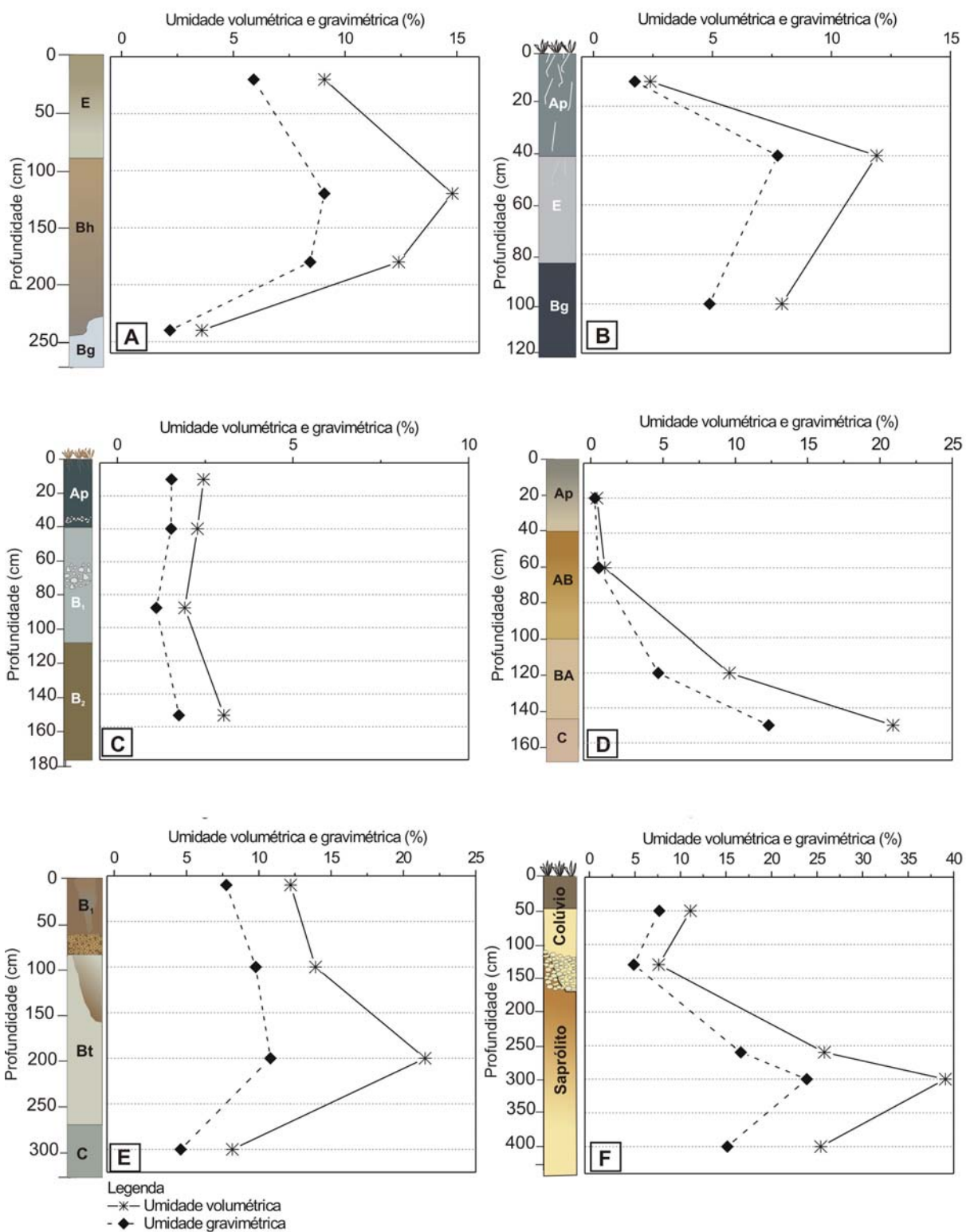
**Figura 55-** Variação das densidades do solo e partículas e porosidade total nos perfis de solo das voçorocas Morro da Antena (A), Lixeira (B), Tepequém 2 (C), Paiva (D), Tepequém 1 (E) e Cabo Sobral 1 (F). Legenda: Ds-Densidade do solo, Pt-Porosidade total e Dp-Densidade de partículas.

## 6.5 UMIDADE DO SOLO

Os valores mais elevados de umidades volumétrica e gravimétrica foram encontrados nos horizontes Bh, interface Ap-E e no saprólito.(Figura 56 A, B, E e F). Enquanto no perfil Tepequém 1 esses valores são baixos (1,5 e 2,4%), no Cabo Sobral 1 varia desde muito baixo (Ap: 0,2 e 0,4%; AB: 0,5 e 0,9%), alto (C: 12,3 e 21%) (Figura 56 C e D) a muito alto no perfil da voçoroca do Paiva (Figura 56 F). O grande aumento de umidade para a base do perfil mostra a proximidade do lençol freático, que chega aflorar nestas áreas. Os valores de umidades para os solos com domínio de areia encontram-se abaixo daqueles obtidos por Santoro e Fulfaro (1996), de 3,8 a 7 %, em solos arenosos derivados de arenitos na região de São Pedro (SP).

Em geral, os valores mais elevados de umidades foram encontrados nos perfis com solos mais ricos em silte, a exemplo das voçorocas do Paiva e Tepequém 2, enquanto os valores mais baixos, naqueles com domínio de areia, como Tepequém 1, Lixeira e Morro da Antena.

No perfil Cabo Sobral 1, a umidade elevada retrata a proximidade do lençol freático, observado no campo. Estes valores retratam o período de estiagem, quando foram feitas as medidas. O índice de precipitação pluviométrica, em setembro de 2005, atingiu 103,6 mm, bem inferior a julho de 2005 (período mais chuvoso), com 520,5 mm (CPRM, 2005).



**Figura 56- Variação dos teores de umidade volumétrica e umidade gravimétrica nos perfis de solos das voçorocas Morro da Antena (A), Lixeira (B), Tepequém 1 (C), Cabo Sobral 1 (D), Tepequém 2 (E) e Paiva (F) – Serra Tepequém – RR**

## 6.6 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Os solos estudados são constituídos predominantemente de quartzo, contendo ainda muscovita e caulinita. Ocorrem ainda gibbsita, goethita e hematita em perfis lateríticos, e fragmentos destes, encontrados nas linhas de pedra. A caulinita, muscovita e quartzo foram identificados em todos os horizontes dos perfis de solos e colúvios analisados (Figuras 57 a 65).

A superfície dos grãos de quartzo encontra-se normalmente corroída e a muscovita ocorre em plaquetas sub-milimétricas e incoesas; a caulinita é parte da matriz e ainda envolve parcialmente os grãos de quartzo (Figura 66).

Os cálculos estequiométricos mostram que de fato o quartzo é o mineral mais abundante em todos os horizontes dos perfis analisados, com teores variando de 43 a 98 %. A muscovita é mais expressiva em solos de textura areno-siltosas a silte arenosas, atingindo 45% no perfil de alteração saprolítica da voçoroca do Barata (Figura 67). Diferente dos solos predominantemente arenosos, a exemplo dos perfis das voçorocas Morro da Antena, Lixeira e Tepequém 1, os teores de muscovita são inferiores a 2% (Figura 68). A caulinita que se encontra em pequenas proporções menores do que a muscovita, em geral tende a mostrar distribuição em perfil similar a esta (exceto nos perfis das voçorocas Paiva e Barata), concentrando-se nos horizontes E e B; nos solos areno-siltosos variam de 2 a 18% e distribui-se de forma quase uniforme ao longo dos horizontes. Os teores de goethita e/ou hematita oscilam entre 0,3 e 6%, as maiores concentrações estão nas linhas de pedra, a exemplo da voçoroca Tepequém 2. Rutilo e/ou anatásio apresentam-se abaixo de 1 %.

A composição mineralógica dos perfis de solos estudados indica forte similaridade entre os perfis, indicando que os mesmos derivaram da alteração de rocha comum, tipo arenitos e siltitos micáceos, em parte conglomerados, da Formação Tepequém, e de perfis lateríticos, demonstrados gibbsita, goethita e hematita, que ocorrem nos arredores dos perfis de solo.

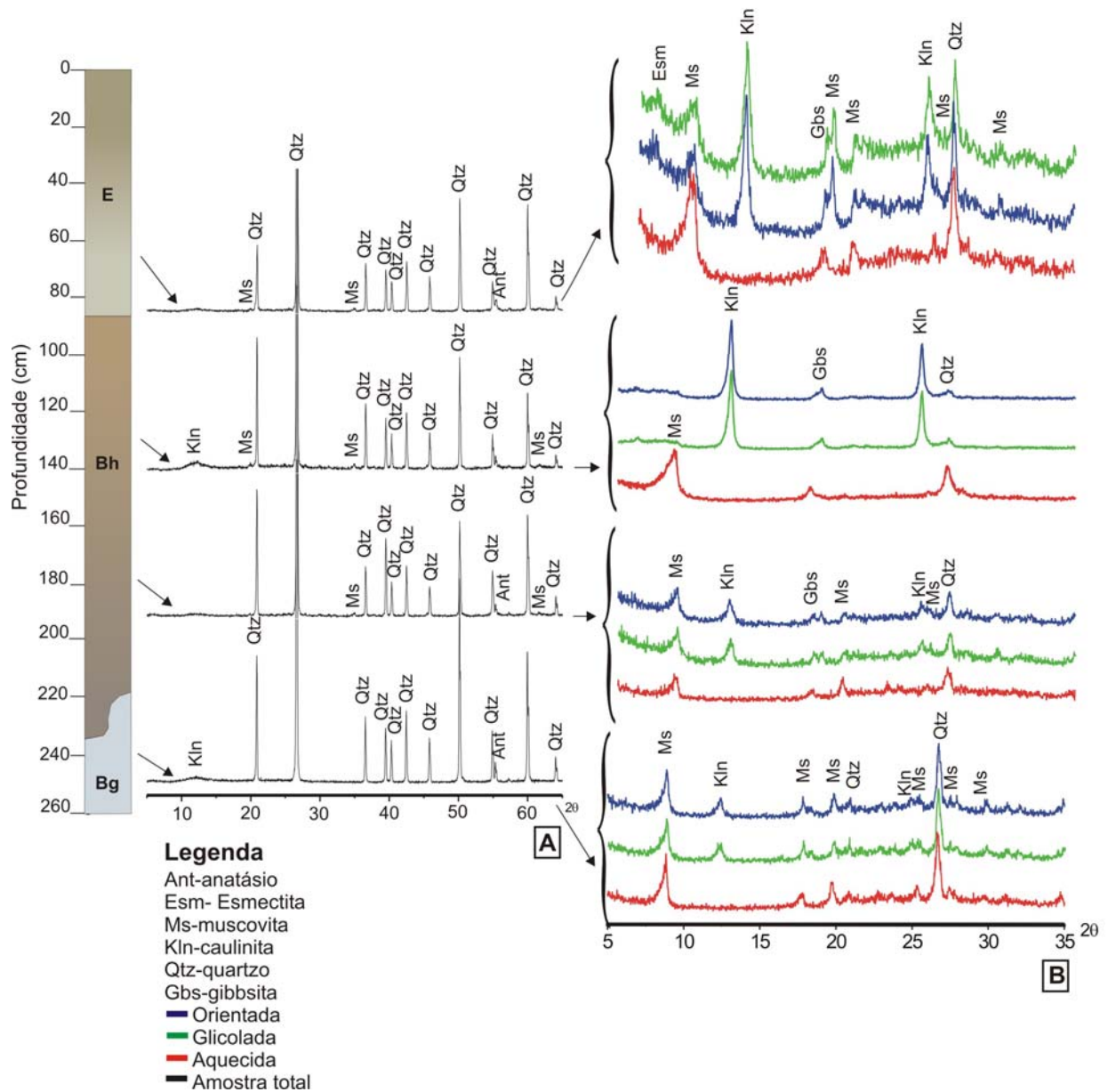


Figura 57- Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita e anatásio presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca do Morro da Antena, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).









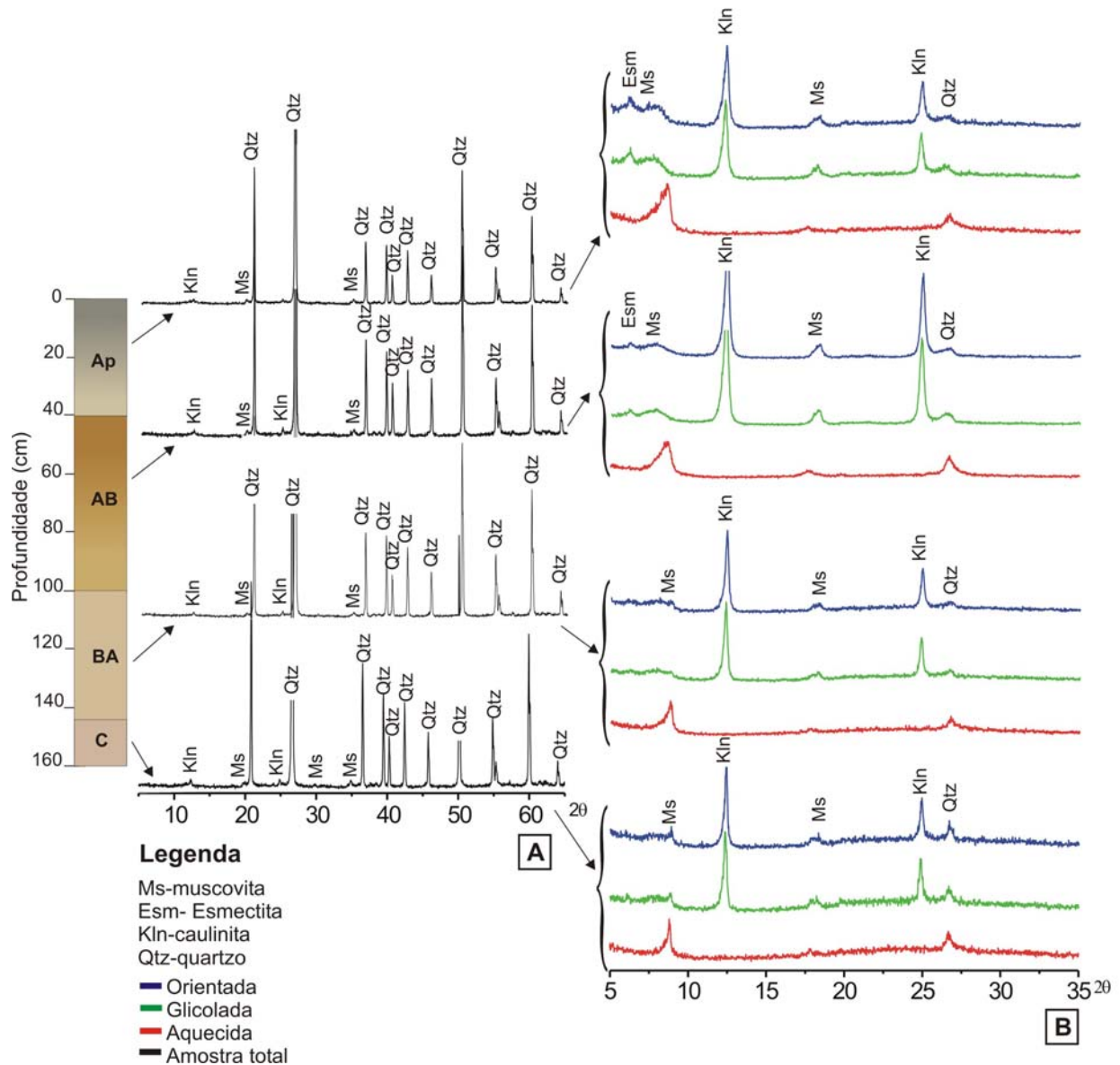
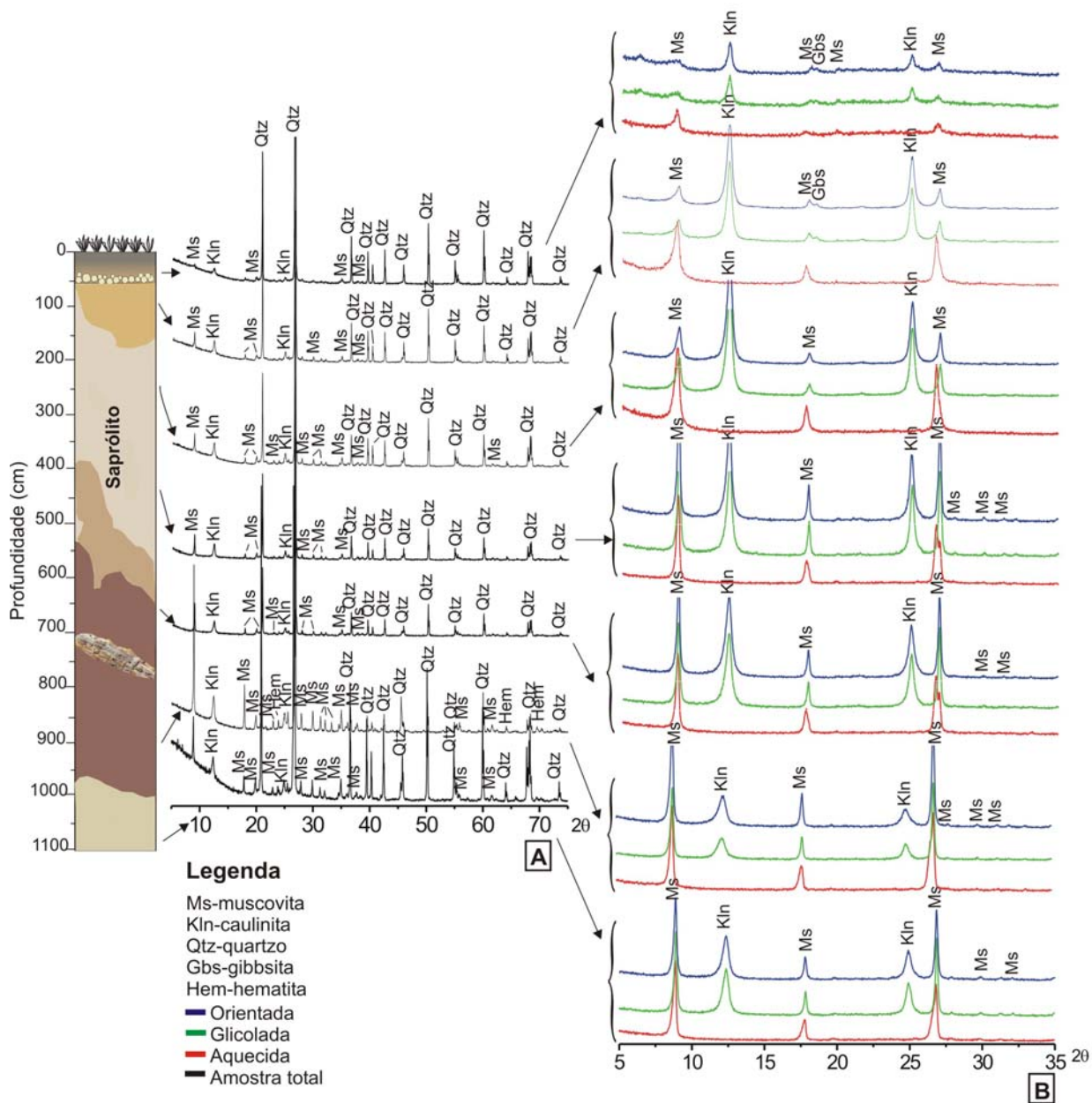


Figura 61- Muscovita, caulinita e quartzo presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca Cabo Sobral 1, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).









**Figura 64- Muscovita, caulinita, quartzo, gibbsita e hematita presentes nos solos do perfil observado na parede da voçoroca do Barata, determinados por DRX em amostras totais (A) e de argilominerais (B).**





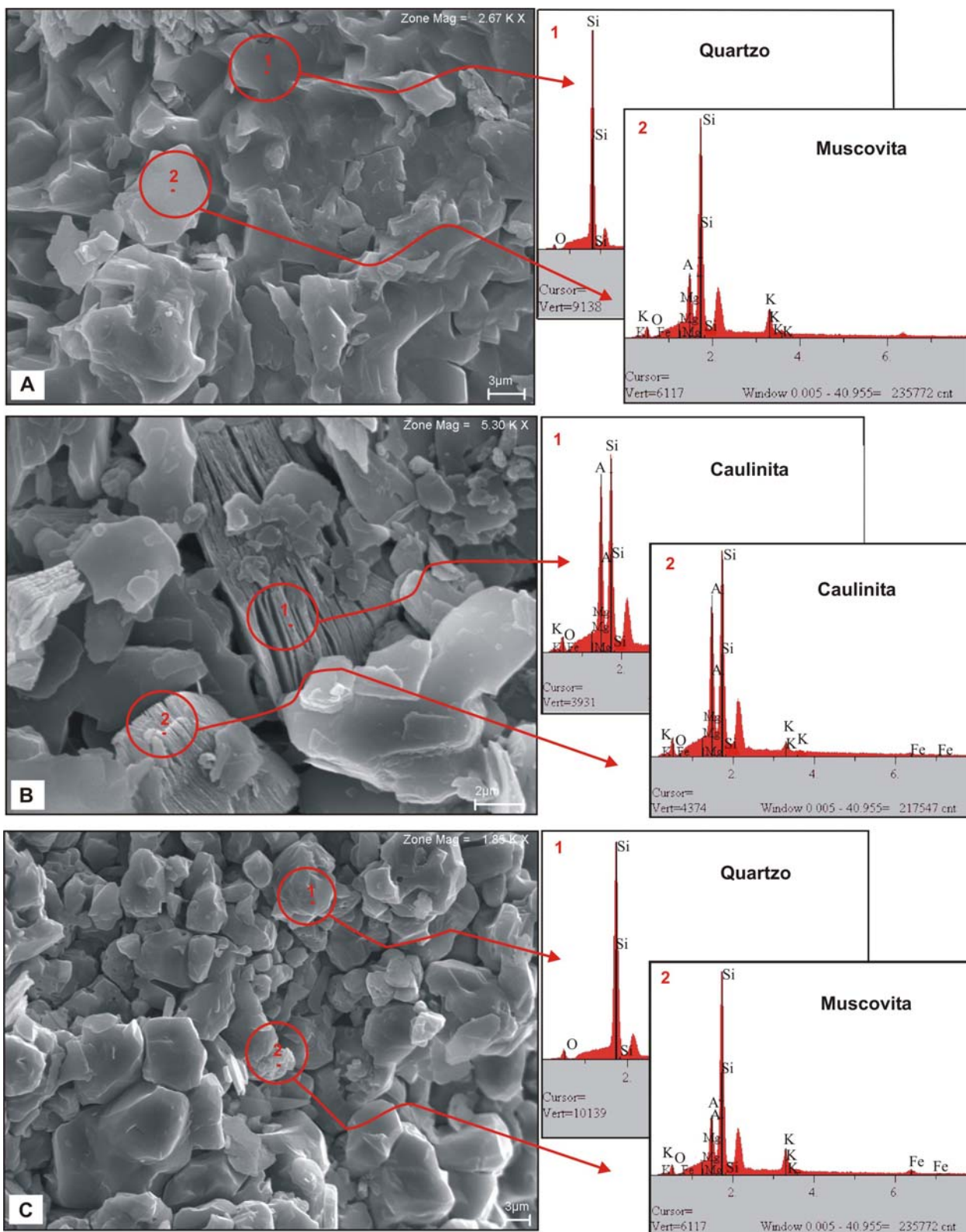
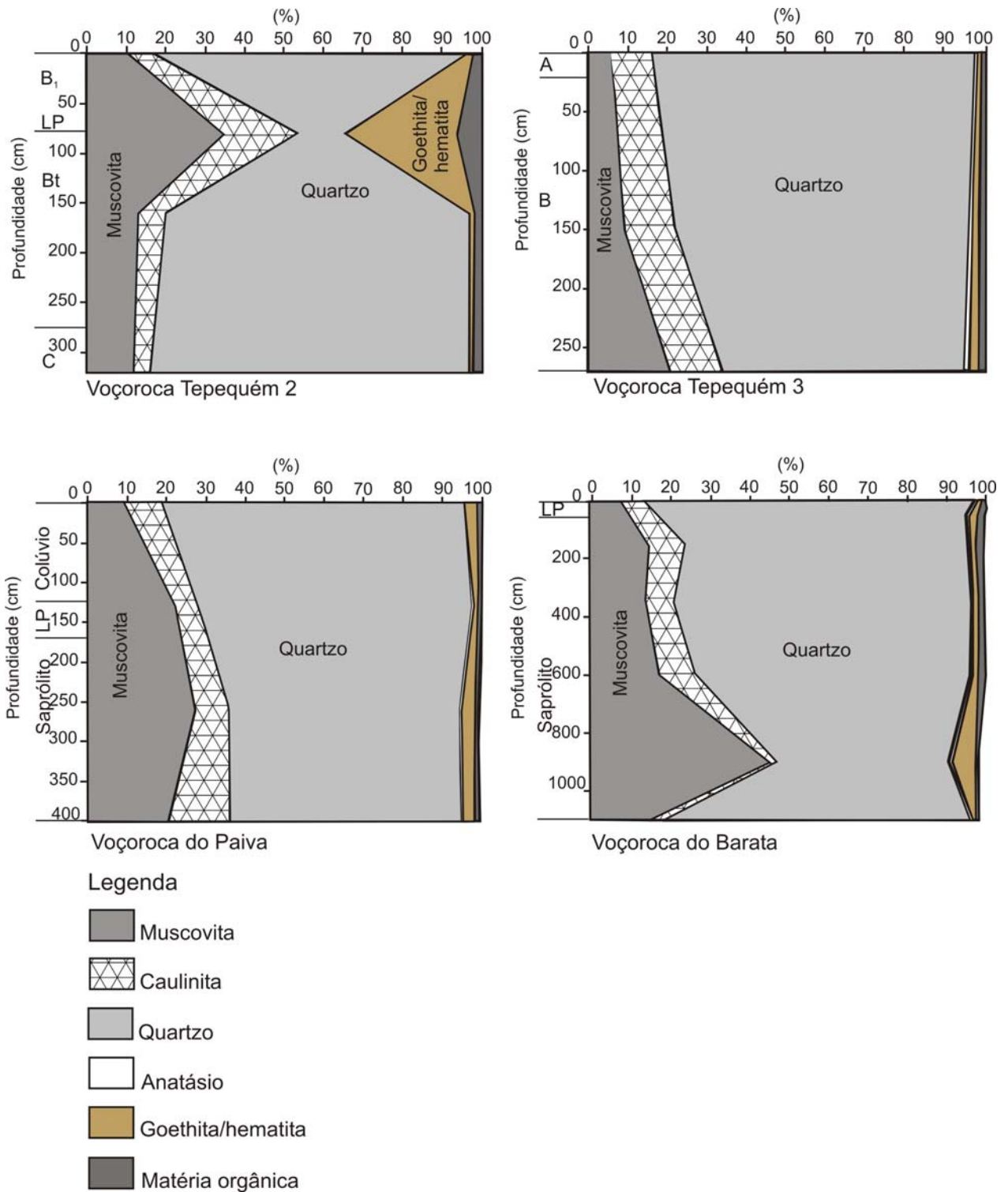
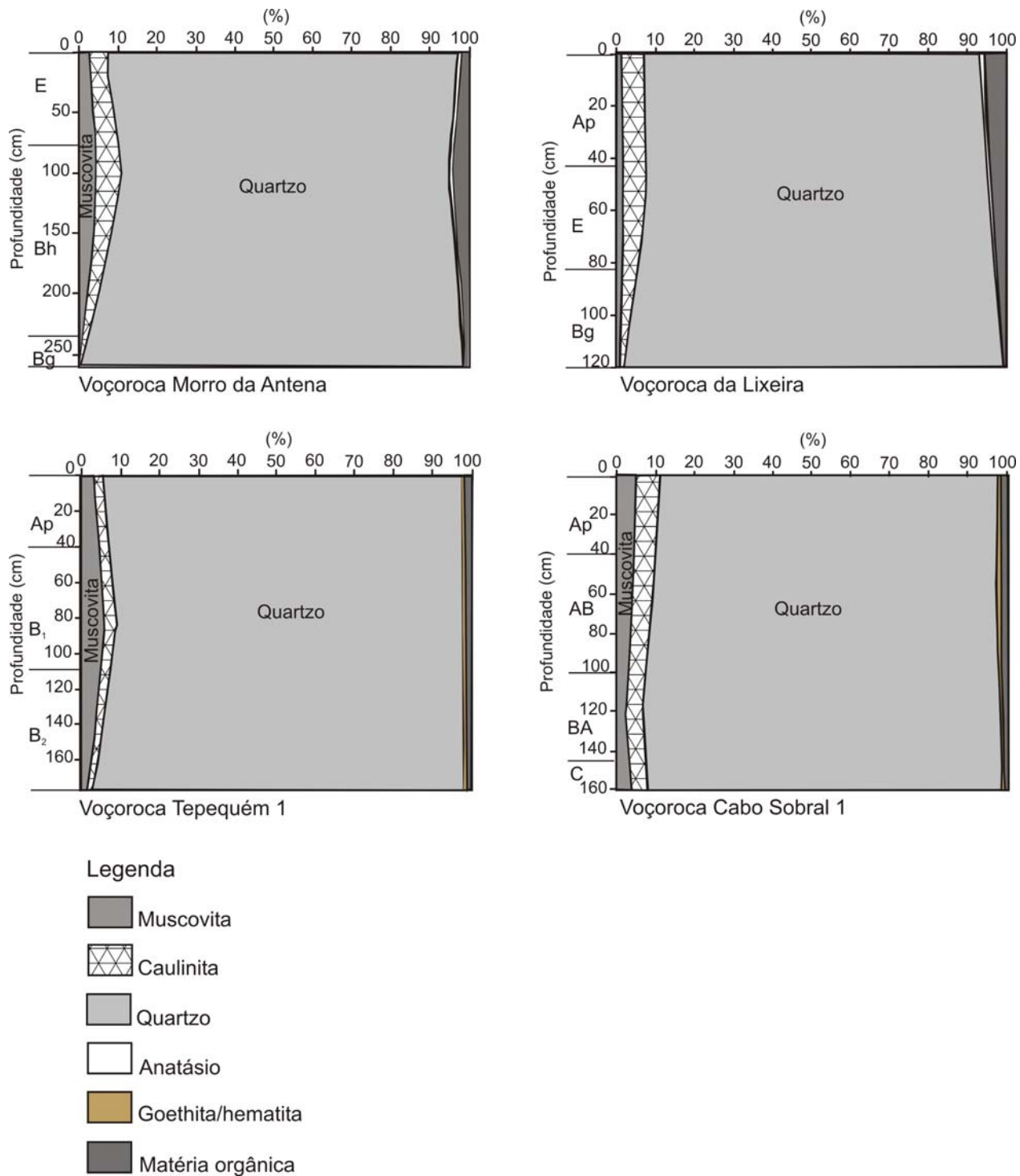


Figura 66 - Micromorfologia e análise química semiquantitativa de partículas obtidas por MEV e EDS em solos in natura da serra Tepequém-(A) grãos de quartzo e plaquetas sub-milimétricas de muscovita (B) plaquetas de caulinita e (C) plaquetas de muscovita entre os grãos de quartzo.



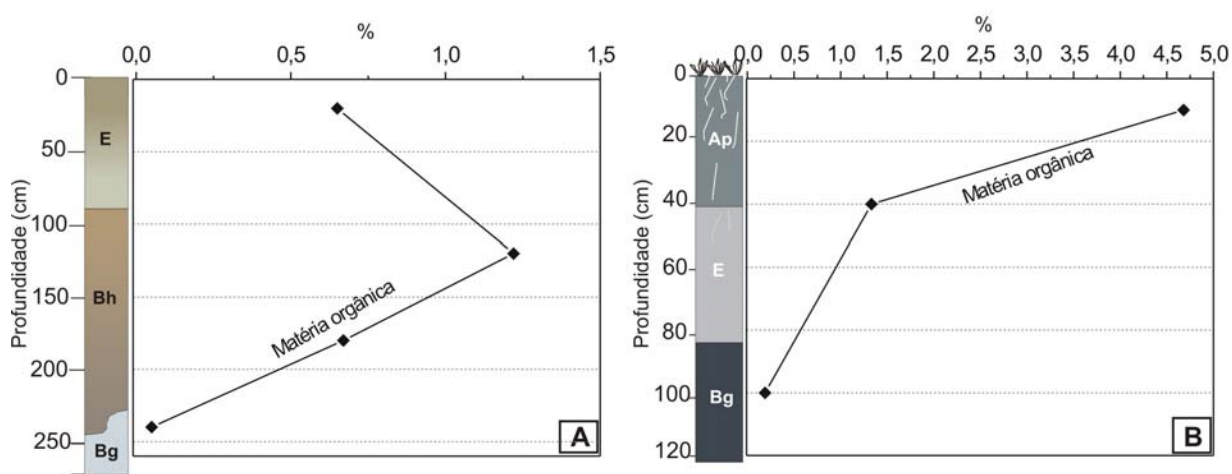
**Figura 67 - Distribuição de minerais nos perfis de solos estudados nas voçorocas Tepequém 2, Tepequém 3, Paiva e Barata – Serra Tepequém – RR.**



**Figura 68-** Distribuição de minerais nos perfis de solos estudados nas voçorocas Morro da Antena, Lixeira, Tepequém 1 e Cabo Sobral 1 – Serra Tepequém – RR.

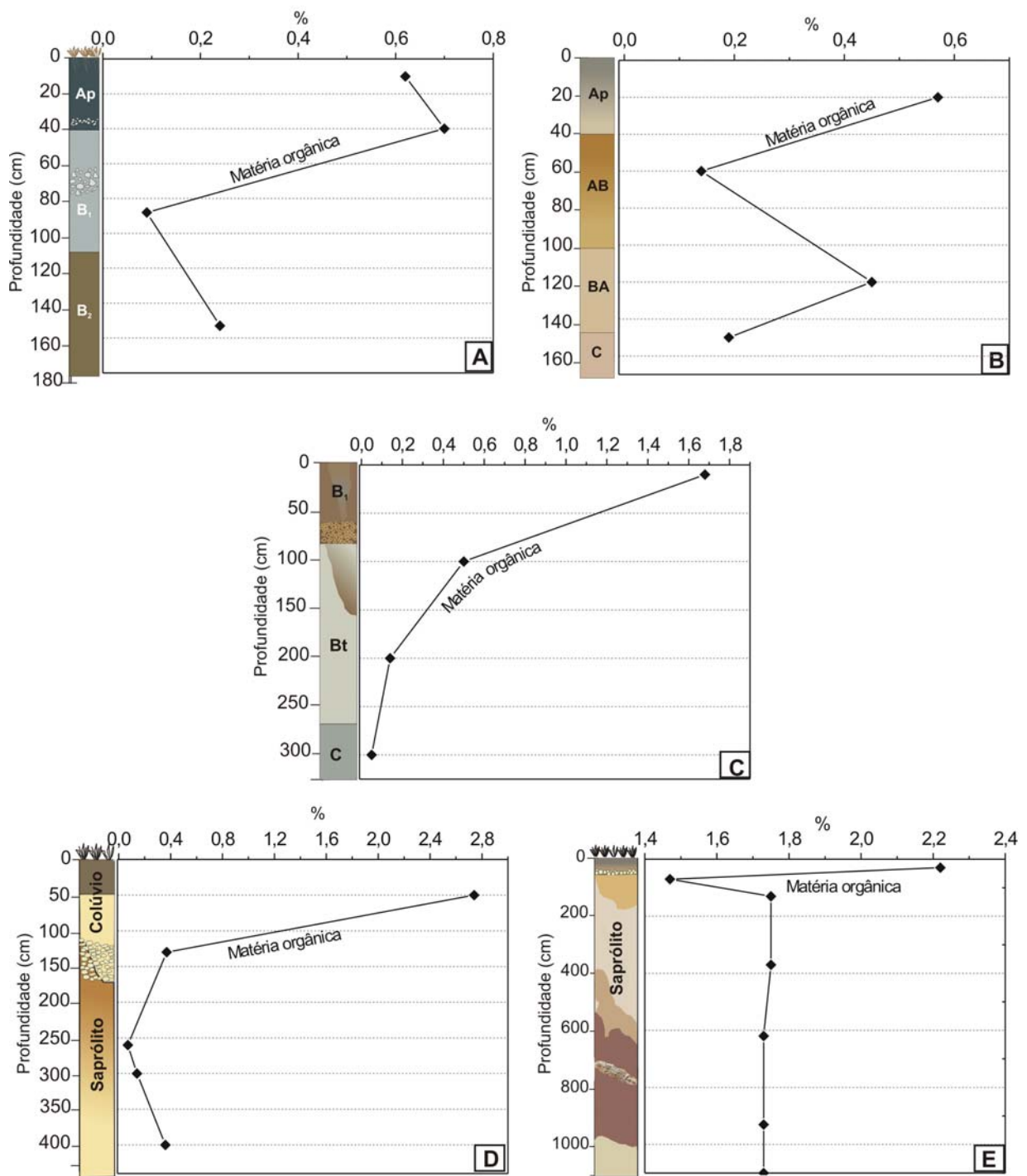
## 6.7 MATÉRIA ORGÂNICA

O conteúdo de matéria orgânica (MO), nos solos dos perfis investigados, variou de menos de 0,1 a 4,7 e concentra-se fundamentalmente no horizonte superficial, como era de se esperar, decrescendo abruptamente para o horizonte inferior. No perfil da voçoroca Morro da Antena (Figura 69 A), a MO é parte do horizonte Bh, típico *hardpan*. Os valores mais elevados (4,7 %) foram encontrados no horizonte Ap do perfil da voçoroca da Lixeira (Figura 69 B). Por outro lado, os valores mais baixos (de 0,1 e 0,7 %) foram encontrados nos solos dos perfis das voçorocas Tepequém 1 e Cabo Sobral 1 (Figura 70 A e B) e os intermediários nas voçorocas Tepequém 2, Paiva e Barata, de 1,7 e 2,8 % (Figura 70 C, D e E).



**Figura 69- Variação do conteúdo de matéria orgânica nos solos dos perfis exposto nas voçorocas Morro da Antena (A) e Lixeira (B).**

Os valores do conteúdo de MO são similares aos valores obtidos por Melo (2002), em solos de savana de Roraima, de 0,5 a 2,8 %, e Dezzio et al. (2004), em solos arenosos de savana na Venezuela (de 1 a 2,8 %). Em solos hidromórficos, a exemplo do perfil da voçoroca da Lixeira, segundo Luizão e Luizão (1997), os valores de MO podem elevar-se a mais de 3 %; as condições de umidade na maior parte do ano, produzem uma retenção de matéria orgânica no solo em função da decomposição lenta desse material. De Ploey e Poesen (1985) destacam que solos (< 2%) de MO conferem baixa agregação das partículas, portanto fraca resistência ao arraste pela ação das águas, favorecendo assim o processo erosivo.



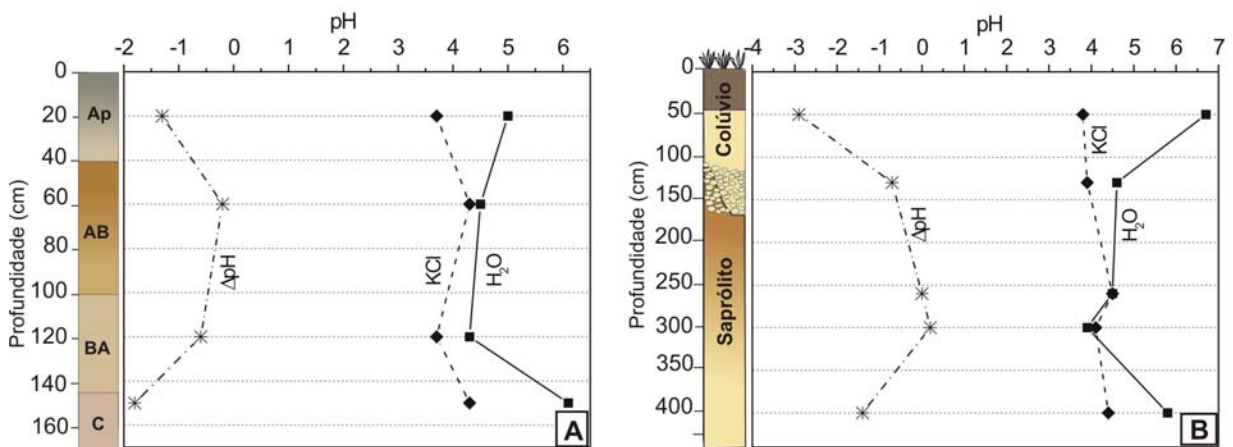
**Figura 70-** Variação do conteúdo de matéria orgânica nos solos dos perfis exposto nas paredes das voçorocas Tepequém 1 (A), Cabo Sobral 1 (B), Tepequém 2 (C), Paiva (D) e Barata (E).



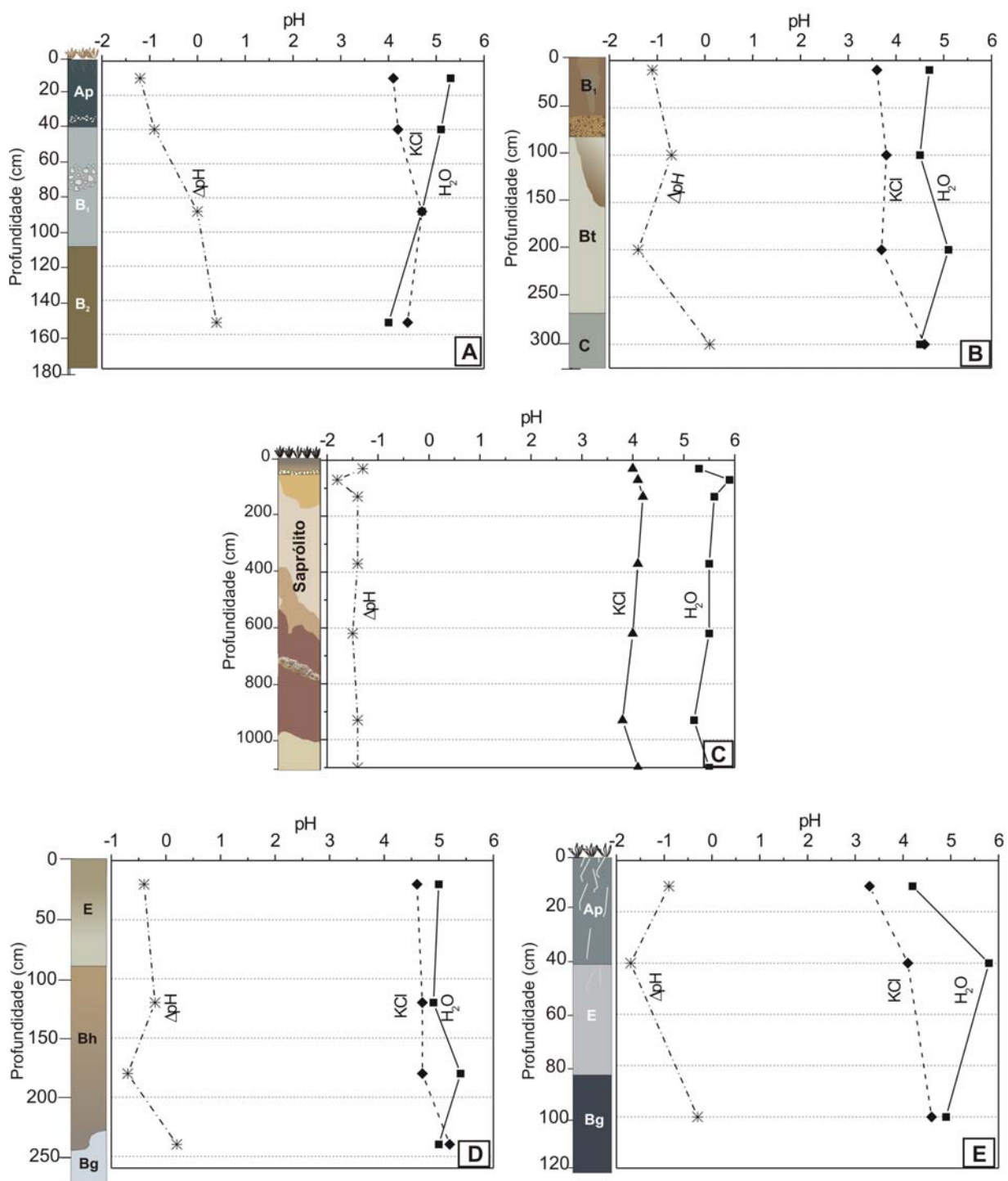
## 6.8 pH DOS SOLOS

Os valores de pH dos solos investigados, determinados em  $H_2O$  e KCl, variaram de 3,0 a 6,7, demonstrando que são solos ácidos a moderadamente ácidos. Estes valores são similares àqueles encontrados por Melo, Gianluppi e Uchôa (2003) em solos de savanas de Roraima. A distribuição dos valores em perfis não é homogênea: nos perfis das voçorocas Cabo Sobral 1 e Paiva observam-se pH mais baixo nos horizontes BA, elevando-se no saprólito e horizonte A (Figura 71 A e B), padrão de perfil de solo bem estruturado; nos perfis das voçorocas Tepequém 1, Tepequém 2 e Barata (Figura 72 A, B e C), não há variação ao longo do perfil e os valores de pH são mais ácidos. Por outro lado, nos perfis das voçorocas Morro da Antena e Lixeira (Figura 72 D e E), o pH é mais elevado nos horizontes Bh e interface Ap e E, respectivamente.

Os valores negativos de  $\Delta pH$  demonstram que os solos da serra Tepequém têm capacidade potencial de adsorver maior quantidade de cátions do que ânions.



**Figura 71- Variação do pH em  $H_2O$ , KCl e  $\Delta pH$  nos solos dos perfis observados nas voçorocas Cabo Sobral 1 (A) e Paiva (B).**



**Figura 72-** Variação do pH em  $H_2O$ , KCl e  $\Delta pH$  nos solos dos perfis das voçorocas Tepequém 1 (A), Tepequém 2 (B), Barata (C), Morro da Antena (D) e Lixeira (E).



## 6.9 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS

Os solos estudados são constituídos principalmente de  $\text{SiO}_2$  (35,84 e 98,67%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,15 e 20,62%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,16 e 28,36%) e  $\text{K}_2\text{O}$  (0,01 e 5,36%).  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  apresentam-se em teores inferiores a 1%.

Os teores de  $\text{SiO}_2$  mais elevados foram encontrados nas voçorocas Tepequém 1, Morro da Antena, Lixeira e Cabo Sobral 1 (Figuras 73 A, B e C e 74 A) e os mais baixos nas zonas saprolíticas, a exemplo das voçorocas Paiva e Barata (Figuras 74 B e C) e perfil da voçoroca Tepequém 3 (Figura 75 A). As variações dos teores de  $\text{SiO}_2$  ao longo dos perfis permitem identificar aqueles autóctones, em que os teores diminuem da base para topo, exceto no horizonte A, onde os grãos de quartzo se acumulam; e alóctones, quando há bruscas variações dos teores de  $\text{SiO}_2$ , que também no saprólito, podem indicar variação litológica. Os perfis completos de solo (de A ao saprólito) são delineados pelos teores decrescentes de  $\text{SiO}_2$  e crescentes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , bem como  $\text{TiO}_2$ , da base para o topo, a exemplo do Cabo Sobral 1 e do perfil laterítico. Este comportamento também pode ser visto no perfil da Lixeira, que está restrita aos horizontes de topo. Os teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  na base do perfil da voçoroca do Barata, em plena zona saprolítica, confirmam o domínio de argilitos e siltitos ricos em caulinita, muscovita e hematita. Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{TiO}_2$  relativamente elevados no perfil laterítico demonstram que o mesmo derivou de rochas similares aos siltitos e argilitos acima, como foi inferido já nos trabalhos de campo.

Os maiores valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos, foram na linha de pedra do perfil da voçoroca Tepequém 2 (Figura 75 B) e no perfil laterítico (Figura 75 C). A presença destes óxidos em valores mais expressivos reflete a composição mineralógica à base de oxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita).

A composição química dos solos da serra Tepequém é comparável a dos solos arenosos derivados de rochas também do Supergrupo Roraima estudados por Dezzeo et al. (2004) na Venezuela.

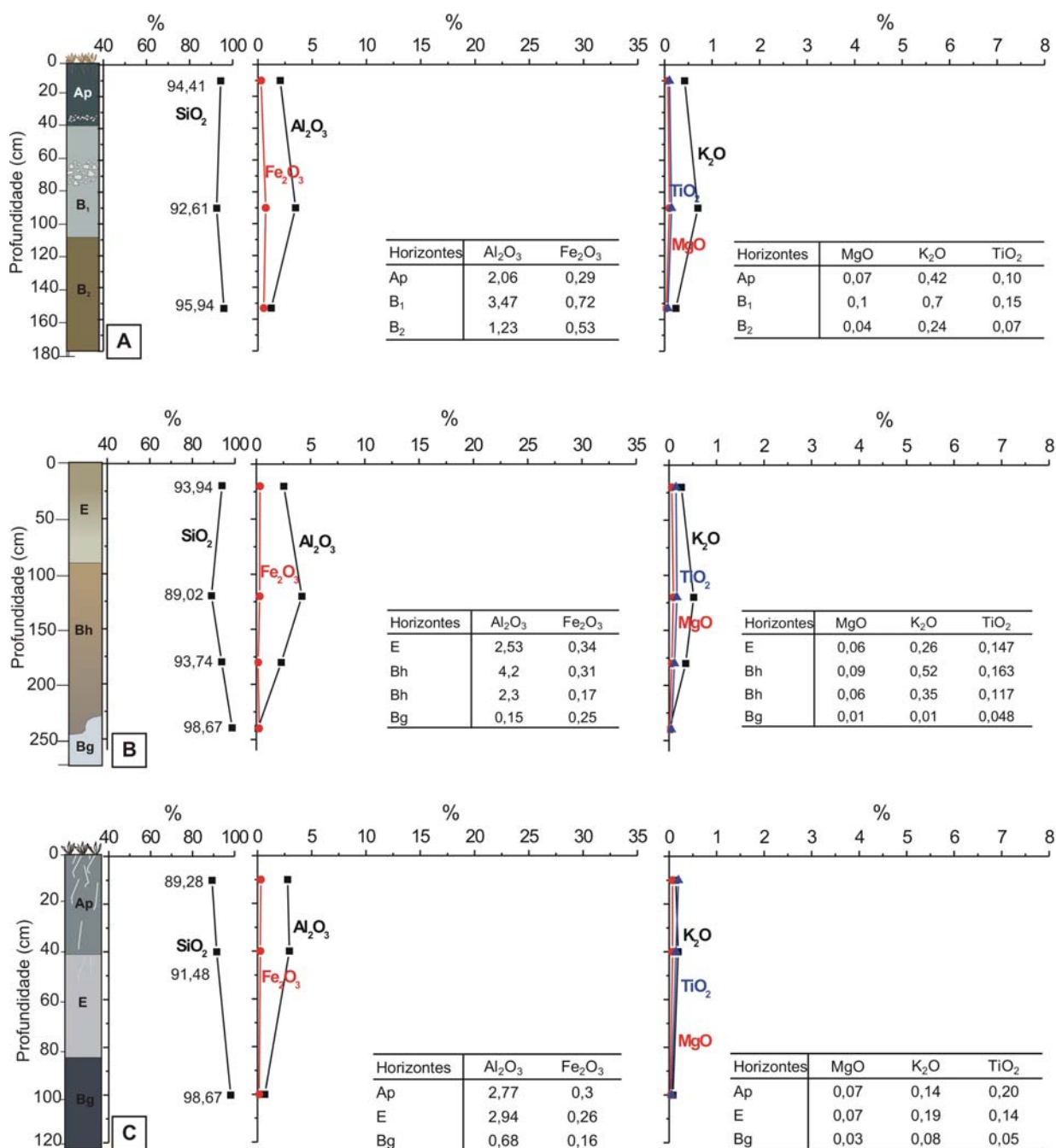


Figura 73- Distribuição dos valores percentuais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO e TiO<sub>2</sub> nos perfis de solos das voçorocas Tepequém 1 (A), Morro da Antena (B) e Lixeira (C) – Serra Tepequém – RR.

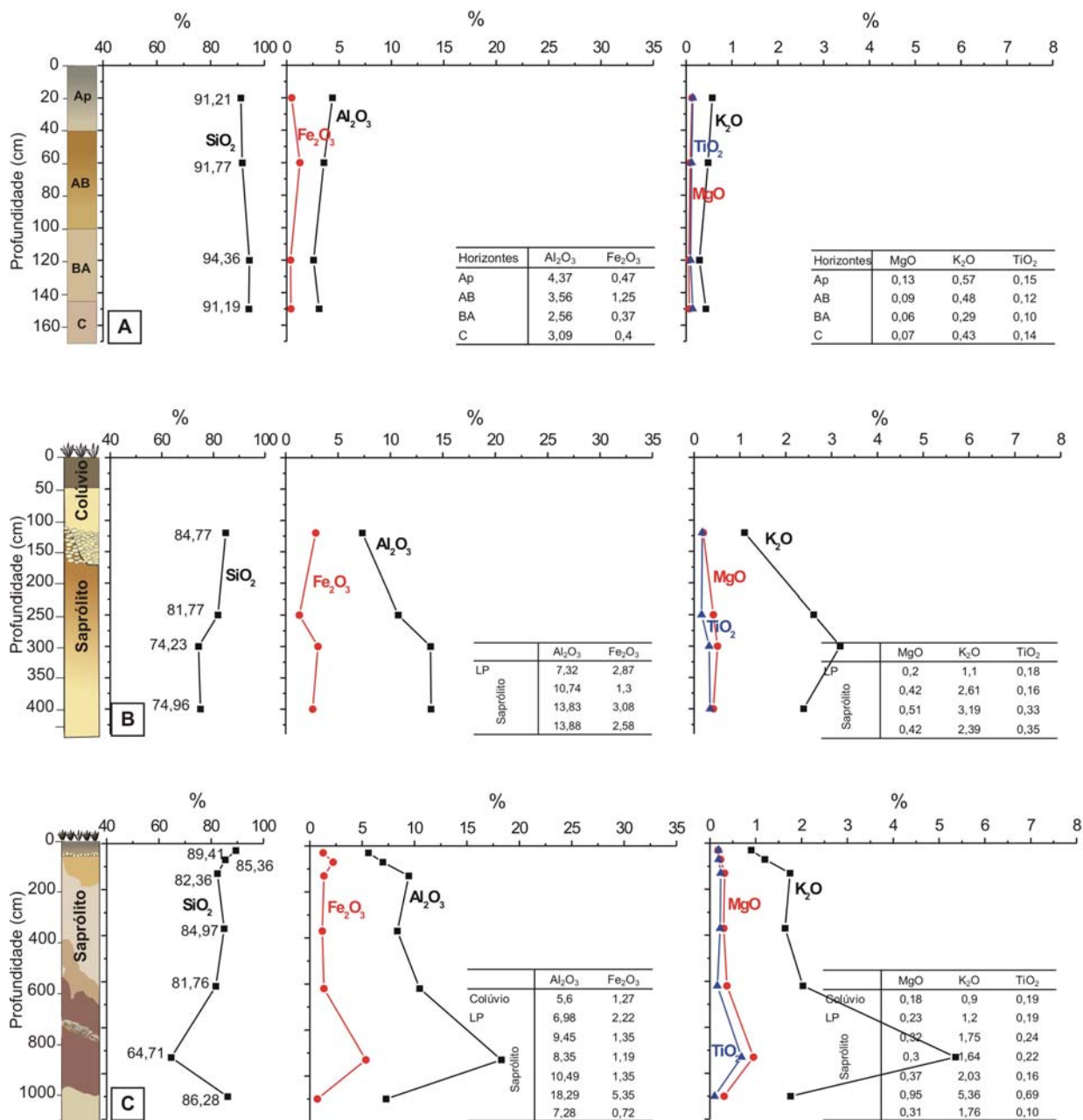
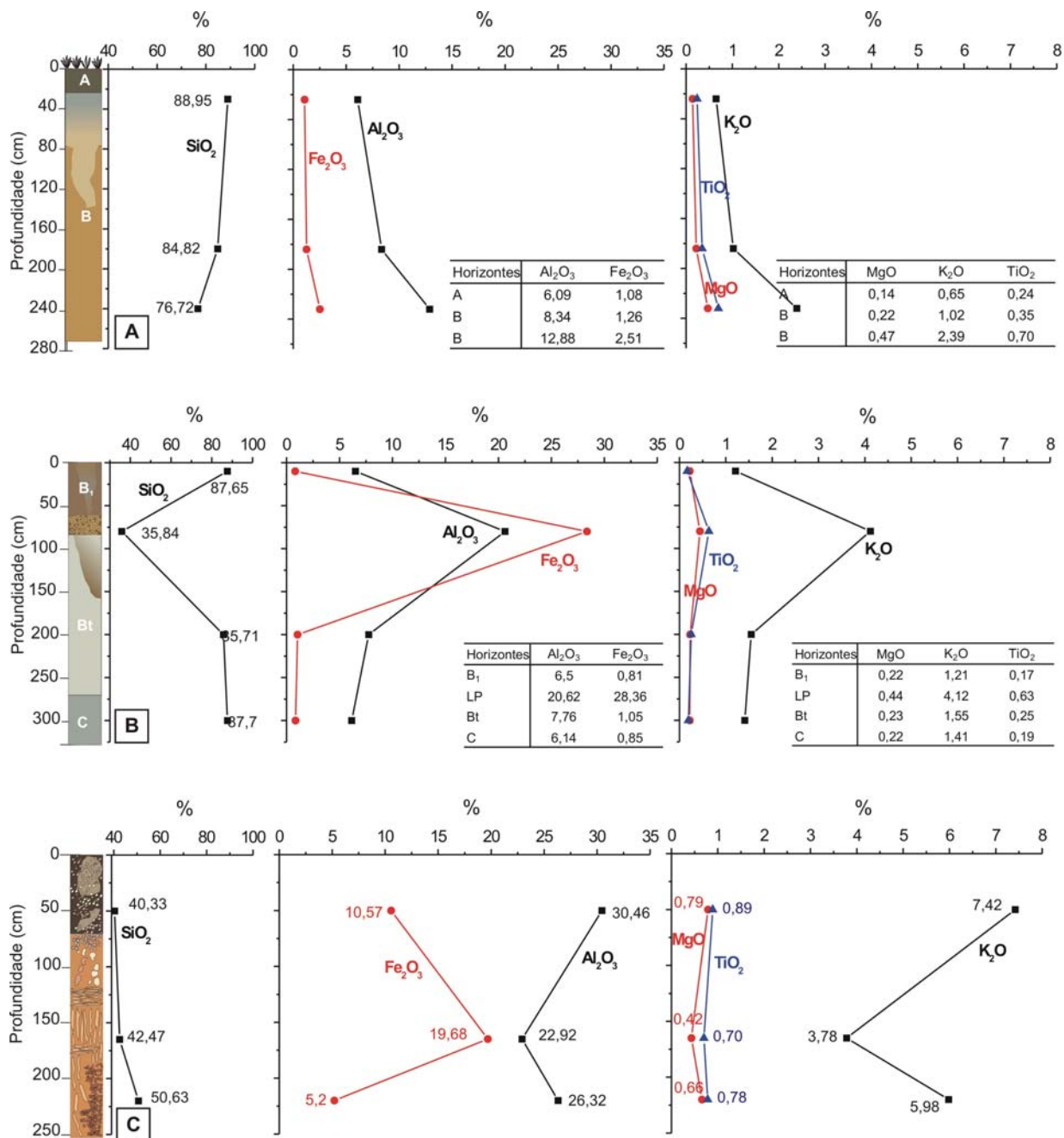


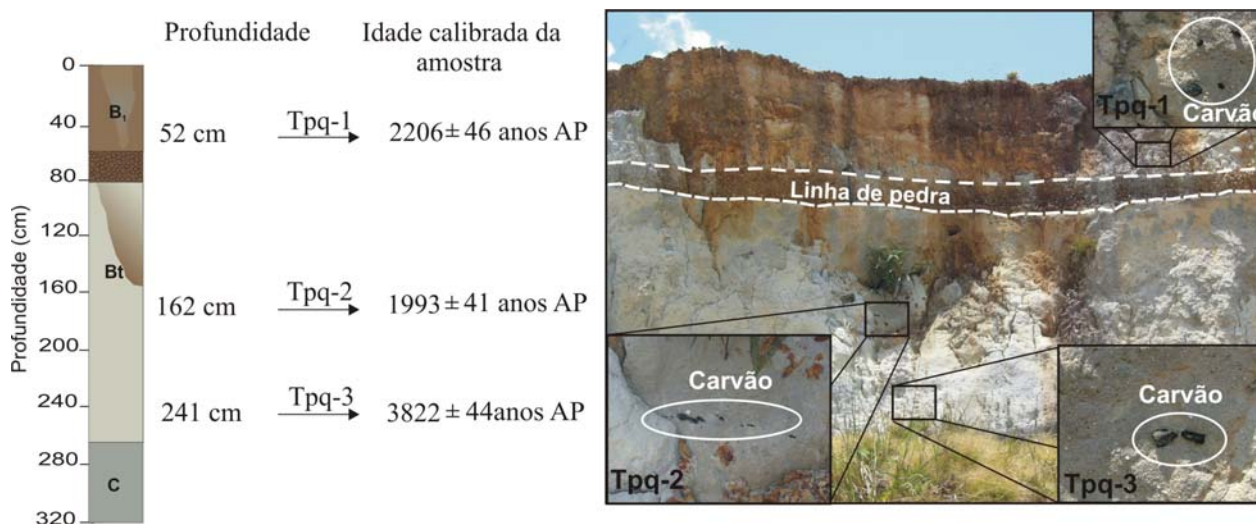
Figura 74- Distribuição dos valores percentuais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO e TiO<sub>2</sub> nos perfis das voçorocas Cabo Sobral 1 (A), Paiva (B) e Barata (C) – Serra Tepequém – RR.



**Figura 75-** Distribuição dos valores percentuais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO e TiO<sub>2</sub> nos perfis de solos das voçorocas Tepequém 3 (A), Tepequém 2 (B) e perfil laterítico (C) situado em colinas no centro-norte da Serra Tepequém – RR.

## 6.10 IDADE DE RADIOCARBONO

Apenas três idades radiocarbono em carvão foram obtidas para os materiais superficiais da serra Tepequém, mais precisamente na voçoroca Tepequém 2. Duas amostras (Tpq-2 e Tpq-3) encontram-se abaixo da linha de pedra, e representam, portanto, paleossolos, enquanto uma terceira (Tpq-1) foi coletada no material arenoso acima da linha de pedra, portanto, alóctone. O paleossolo sob a linha de pedra apresentou uma idade mínima de 3.822 anos AP para amostra Tpq-3 e 1.993 anos AP para amostra Tpq-2, enquanto o material alóctone (que presentemente corresponde ao horizonte B<sub>1</sub> de solo), acima da linha de pedra, apresenta uma idade de 2.206 anos AP (Figura 76). A idade aparentemente incompatível de 1.993 anos AP poderia ser explicada pela formação de carvão, a partir da queima de raízes profundas pós-formação da linha de pedra. Pode-se concluir preliminarmente, que a linha de pedra tenha se formado em torno de 2.000 anos AP, que deve corresponder ao período mais seco dos tempos recentes na serra Tepequém e a formação das planícies intermontanas ocorrida após este evento.



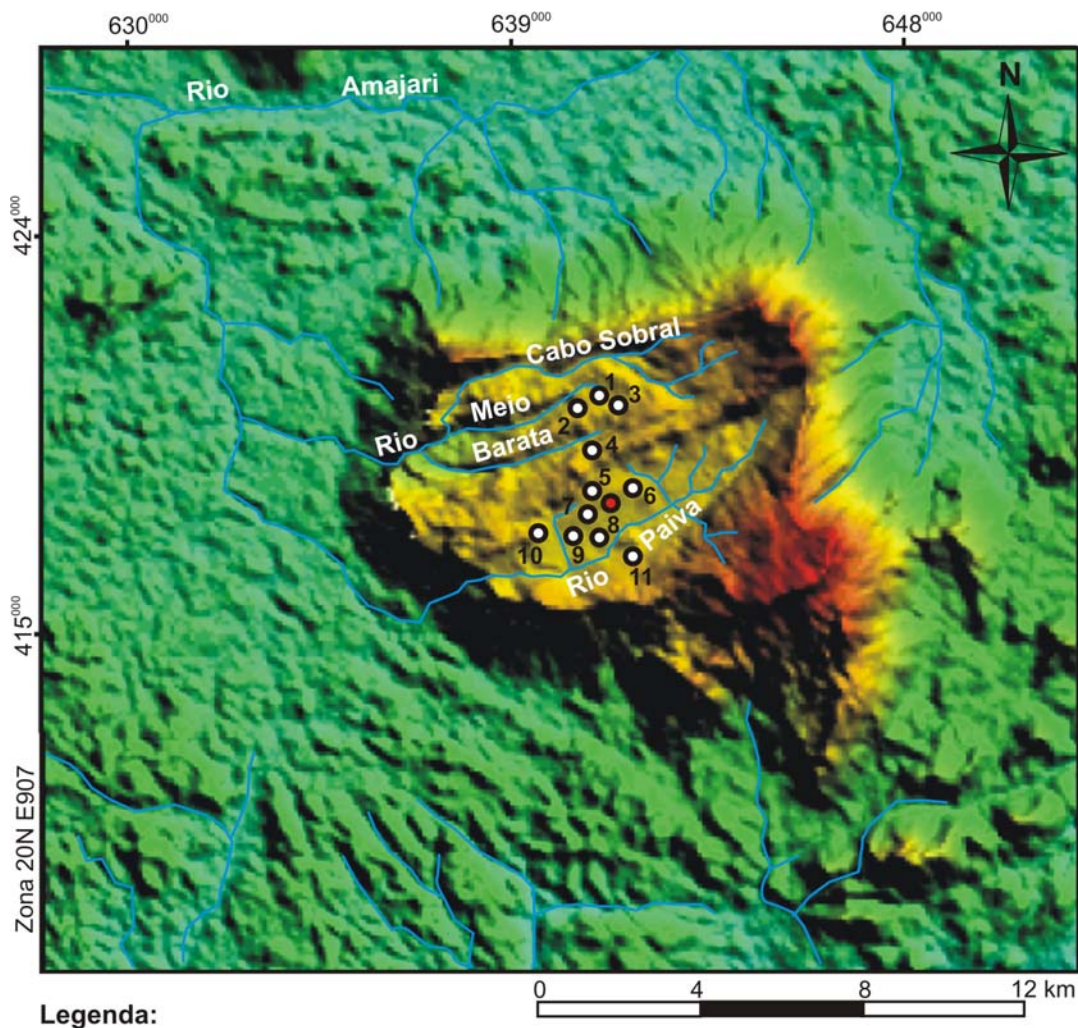
**Figura 76- Idades de radiocarbono de amostras de carvão coletados no perfil exposto na parede da voçoroca Tepequém 2 na serra Tepequém – RR.**



## 7 ATIVIDADE EROSIVA LINEAR (FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS) NA SERRA TEPEQUÉM

### 7.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES

As feições erosivas lineares (voçorocas) estão instaladas nas planícies intermontanas situadas entre os rios do Meio e Barata a norte, e rio Paiva, a sul (Figura 77).



**Figura 77-** Distribuição das voçorocas e estruturas de abatimento (dolinas) na serra Tepequém (RR) no Modelo de Elevação Digital - DEM gerado a partir de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).



### 7.1.1 Morfologia dos canais das voçorocas

#### - *Tipos de canais*

A morfologia dos canais das voçorocas estudadas compreende três tipos: canal linear, ramificado e em forma de leque.

As voçorocas com canal linear são as mais freqüentes, correspondem a 46%. Apresenta vale na forma de “V” com taludes com inclinação de 43° a 50°, podendo apresentar alargamento na base, em forma de “U”, quando atinge o substrato rochoso. Essa linearidade do canal, a exemplo da voçoroca do Barata (Figura 78 A), sugere íntima relação com zonas de alívio de tensão (fraturas e falhas).

Os canais tipo ramificados representam 36% do total. Apresentam ao longo do canal principal, reentrâncias que evoluem e formam canais dígitos. Estes canais a montante são mais afunilados, enquanto a jusante alargam-se no contato com o canal principal (Figura 78 B). Os taludes apresentam inclinação de 45° a 80° e a base do canal formato tipo “V”.

As voçorocas com canais tipo leque, correspondem a 18% dos exemplos estudados. Estas apresentam cabeceiras com formato semicircular, e canal estreito de formato linear. A inclinação dos taludes situa-se na ordem de 85° e exibe formato tipo “U” na base do canal. Evidências do avanço remontante, na cabeceira da voçoroca, são observadas através de fenda nas bordas do canal e acúmulo de material desmoronado na base, a exemplo da voçoroca Tepequém 1 (Figura 78 C). Coelho Netto (2003) descreve que o avanço de canais erosivos em direção a encostas de maior gradiente topográfico, tende a promover sua instabilidade e dinamiza a ocorrência de movimentos de massa.

## TIPOS DE CANAIS (VOÇOROCAS)

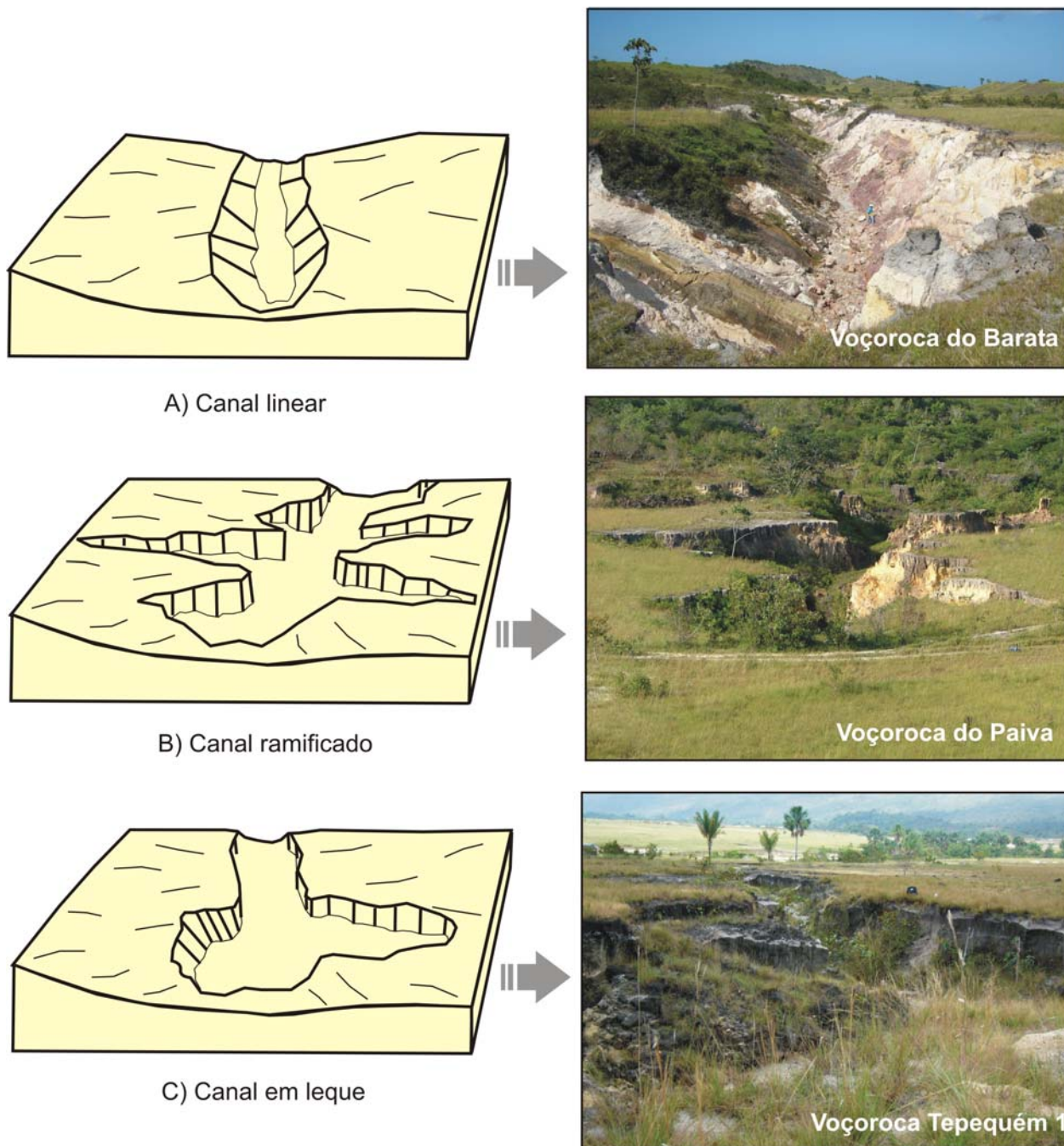


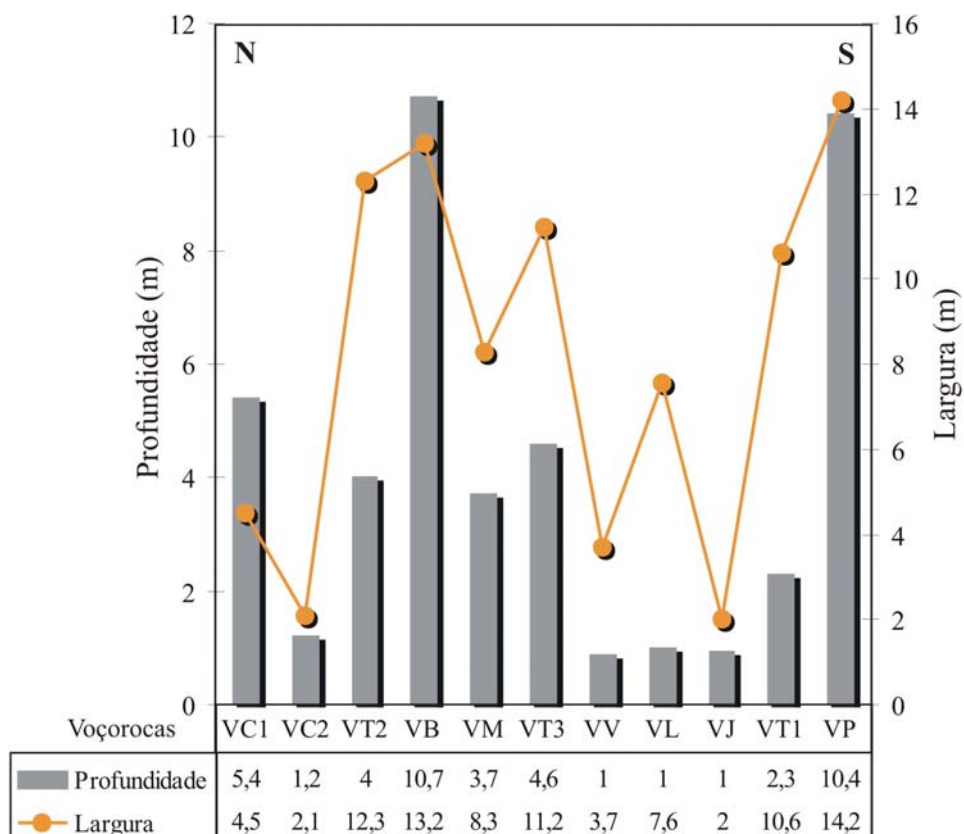
Figura 78- Representação esquemática dos tipos de canais erosivos (voçorocas) observados na serra Tepequém; (A) canal linear – voçoroca do Barata, (B) canal ramificado – voçoroca do Paiva e (C) canal tipo leque – voçoroca Tepequém 1.

- *Profundidade, largura e extensão das voçorocas*

As voçorocas apresentaram dimensões variáveis e chegam a atingir de 1 a 10,7 m de profundidade, de 2 a 14,2 m de largura e alcançam até 1200 m de comprimento (Figuras 79 e 80).

As voçorocas com maior profundidade correspondem àquelas que se desenvolvem na seqüência siltítica saprolitizada (Figura 81 A), a exemplo das voçorocas Paiva e Barata. Por outro lado, as de menor profundidade correspondem às voçorocas instaladas em solos arenosos de baixa coesão (Figura 81 B).

As voçorocas estudadas tendem, portanto, a se desenvolver plenamente no interior de saprólitos. Esta condição de maior erodibilidade dos saprólitos já havia sido indicada por Morais, Bacellar e Sobreira (2004), com base em estudos mineralógicos e texturais nos saprólitos derivados de gnaisses do complexo do Bação no centro-sul do Estado de Minas Gerais.



**Figura 79-** Valores de profundidade e largura das voçorocas estudadas na serra Tepequém – RR na seqüência de N para S – Cabo Sobral 1 (VC1), Cabo Sobral 2 (VC2), Tepequém 2 (VT2), Barata (VB), Morro da Antena (VM), Tepequém 3 (VT3), Vila (VV), Lixeira (VL), Jacu (VJ), Tepequém 1 (VT1) e Paiva (VP).

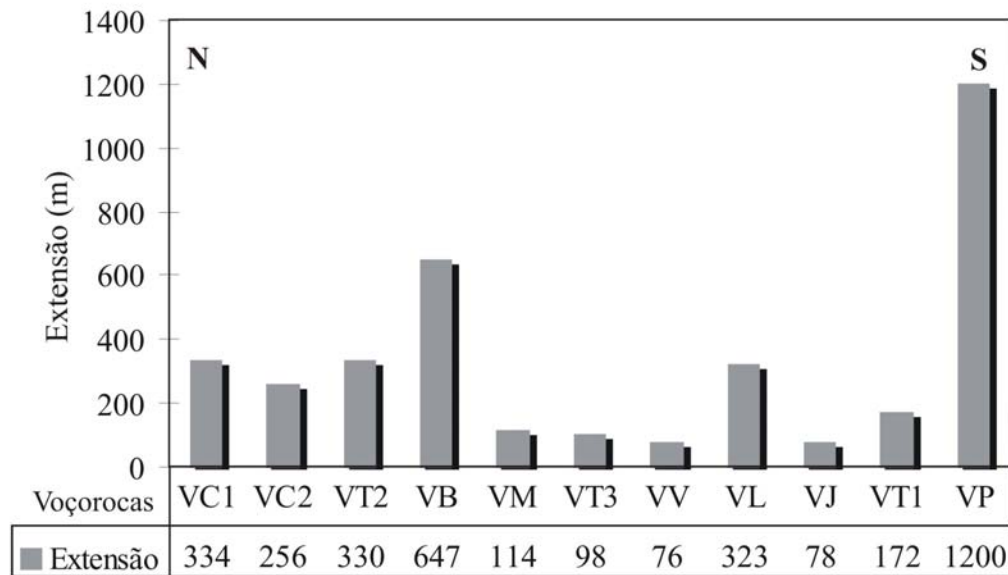


Figura 80- Variação da extensão das voçorocas estudadas na serra Tepequém –RR - Cabo Sobral 1 (VC1), Cabo Sobral 2 (VC2), Tepequém 2 (VT2), Barata (VB), Morro da Antena (VM), Tepequém 3 (VT3), Vila (VV), Lixeira (VL), Jacu (VJ), Tepequém 1 (VT1) e Paiva (VP).

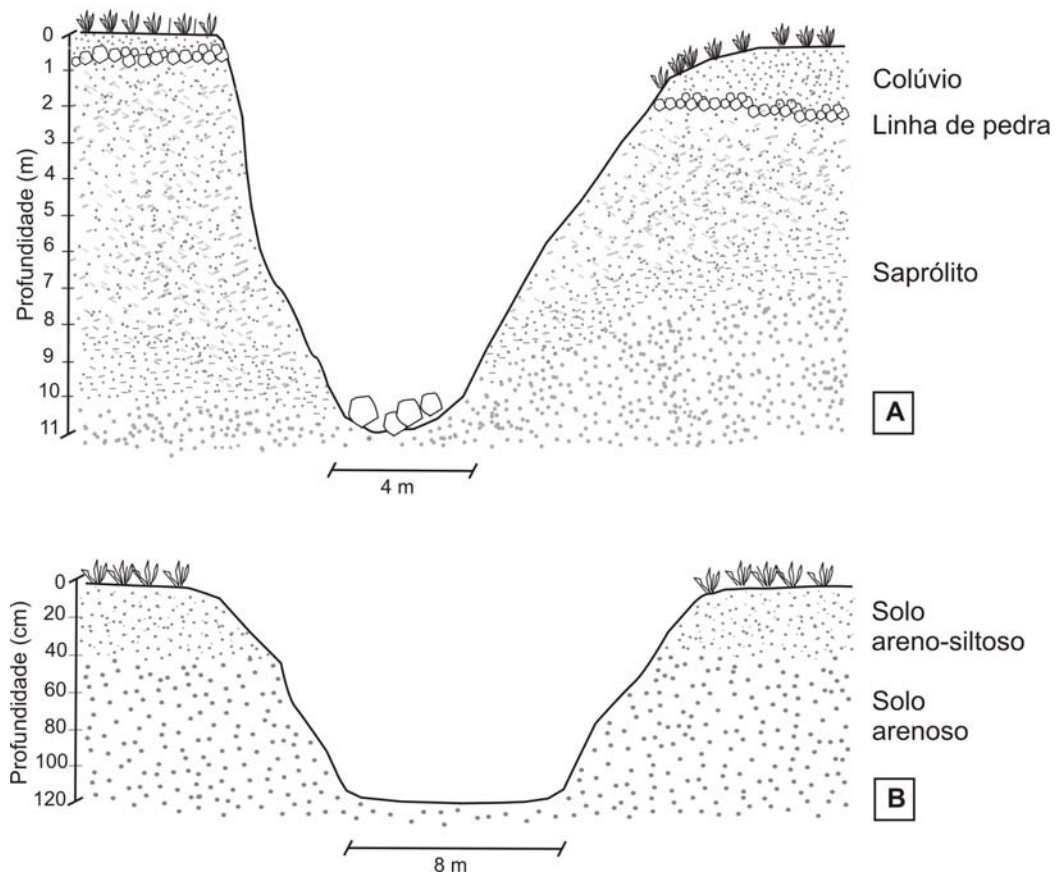


Figura 81- Seção transversal de dois canais de voçorocas da serra Tepequém: (A) em colúvios sobrejacente a seqüência siltítica saprolitizada e (B) em solos arenosos de baixa coesão.

- *Distribuição espacial: voçorocas versus rede de drenagem*

Verifica-se que 73% das voçorocas estudadas estão conectadas principalmente a pequenos canais afluentes do rio Paiva (margem direita), tal como é observado nas voçorocas Tepequém 1, Lixeira, Paiva, Jacu, Morro da Antena e Tepequém 3. Os 27% restantes são voçorocas que evoluem preferencialmente em setores de baixa vertente, com declividade não superior a 5°, e não se conectam a canais fluviais, a exemplo da voçoroca do Barata. Esta classificação de voçorocas em conectadas e desconectadas segue Oliveira (1999).

### 7.1.2 Outras feições erosivas identificadas nas voçorocas e entorno

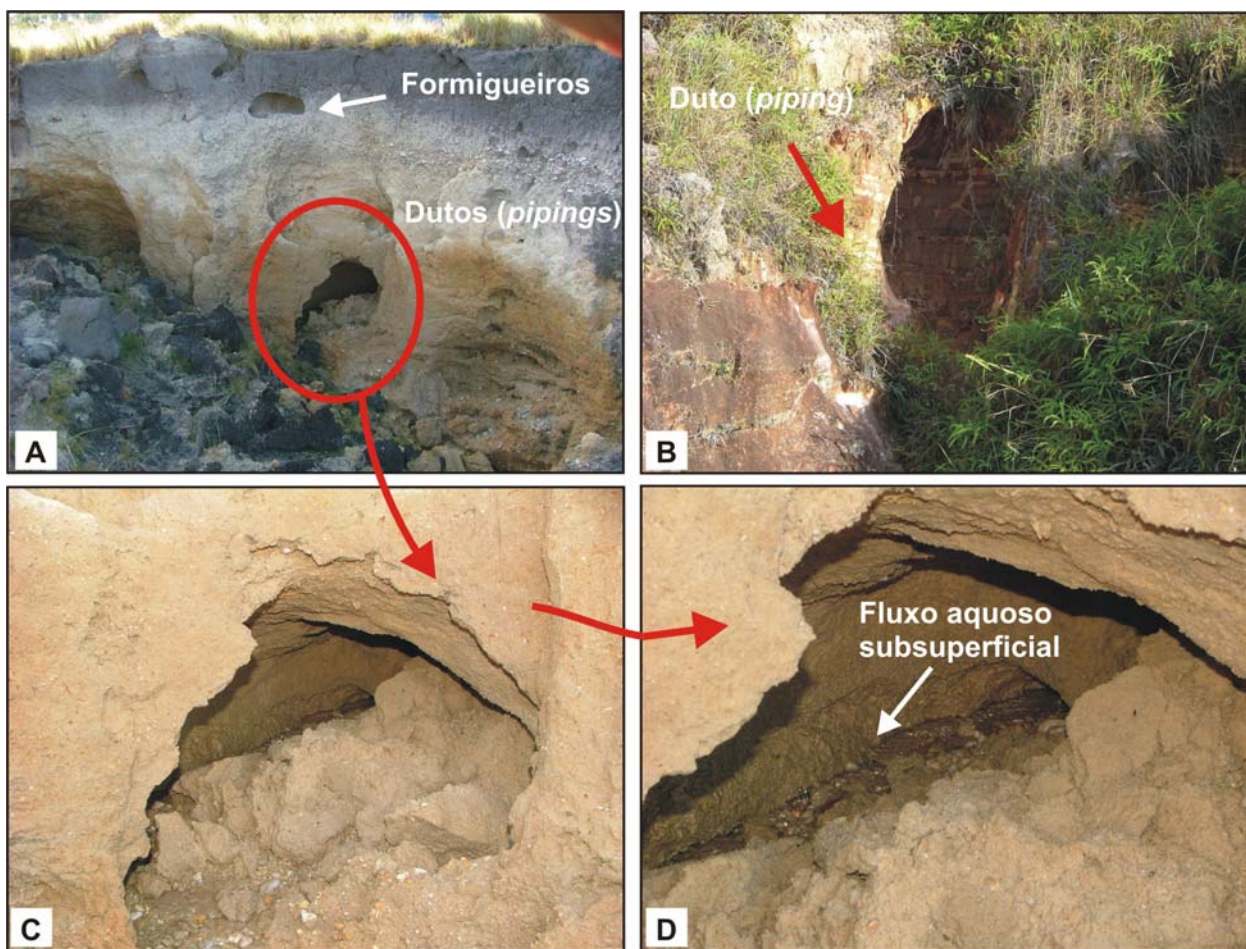
- *Dutos (pipings)*

São feições erosivas muito comuns observadas principalmente nas cabeceiras (base do talude) e ao longo dos degraus da parede das voçorocas, a exemplo das voçorocas Tepequém 1 e Paiva (Figura 82 A e B). Distinguem-se dois tipos de dutos: 1) os mais superficiais, de 30 a 50 cm de profundidade, com formato alongado e dimensões entre 5 e 15 cm, os quais são associados à presença de formigueiros; 2) os dutos bem desenvolvidos, situados na base dos taludes em profundidades de 1,4 e 4 m, exibem formato circular e dimensões que variam entre 12 e 50 cm e estão associados ao fluxo aquoso subsuperficial.

Evidencia-se no interior dos dutos, situados na base do talude, a ressurgência do lençol freático e o acúmulo de material arenoso resultante do desmoronamento (Figura 82 C e D). Isto sugere que a erosão por fluxo aquoso subsuperficial pode está promovendo o carreamento de partículas do solo e favorecendo a formação de vazios que evoluem progressivamente com o colapso do teto. Dentre as voçorocas estudadas, a Tepequém 1 apresentou maior número de dutos na base do talude bem como evidências de avanço regressivo e lateral, onde se registrou um aumento nas dimensões da cabeceira passando de 11,6 para 13 m no período de 1 ano.

Os dutos observados nas voçorocas, situadas na serra Tepequém, mostram semelhanças em seu mecanismo de desenvolvimento com aqueles descritos por Augustin e Aranha (2006) em áreas de voçorocamento situados no noroeste de Minas Gerais.





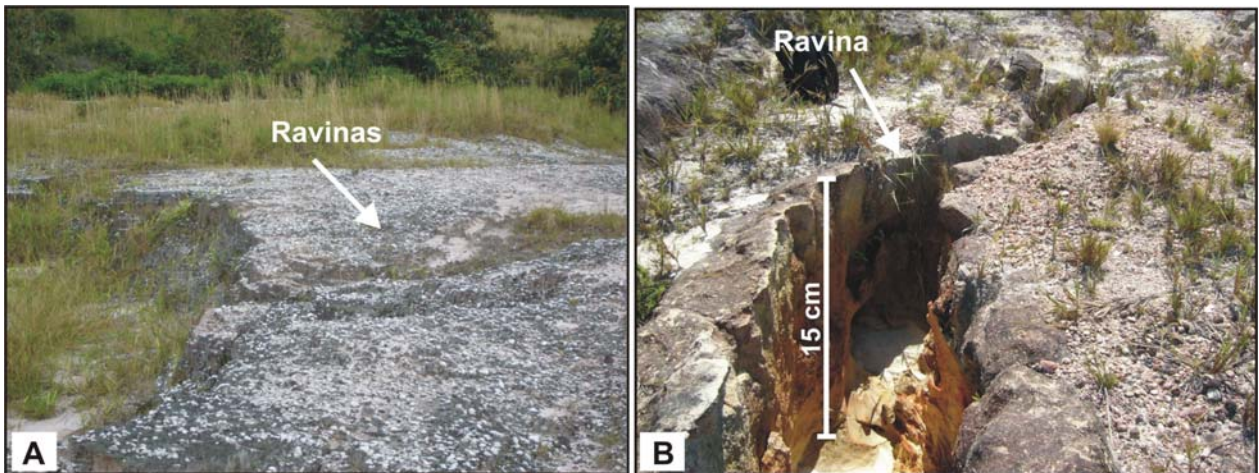
**Figura 82- Dutos (*pipings*) observados nas voçorocas estudadas na serra Tepequém – (A) na cabeceira da voçoroca Tepequém 1, a presença de dutos na base e topo do talude; (B) duto desenvolvido em saprólito na voçoroca do Paiva; (C e D) detalhe do duto da base do talude da voçoroca Tepequém 1, notar a presença do fluxo aquoso subsuperficial e materiais desmoronados preenchendo-o parcialmente.**

Fonte: Fotos C e D de Roberto Carlos Caleffi.

#### - Ravinas

No entorno das voçorocas, também se observa a presença de ravinas com até 15 cm de profundidade, estabelecidas em solos de textura arenosa, incoeso e vertentes com declividade de 5°, como se observa no entorno da voçoroca Cabo Sobral 1 e Paiva (Figura 83). O fluxo aquoso superficial concentrado nas ravinas potencializa o processo erosivo nas bordas das citadas voçorocas, e por consequência contribui na evolução remontante e lateral das mesmas.



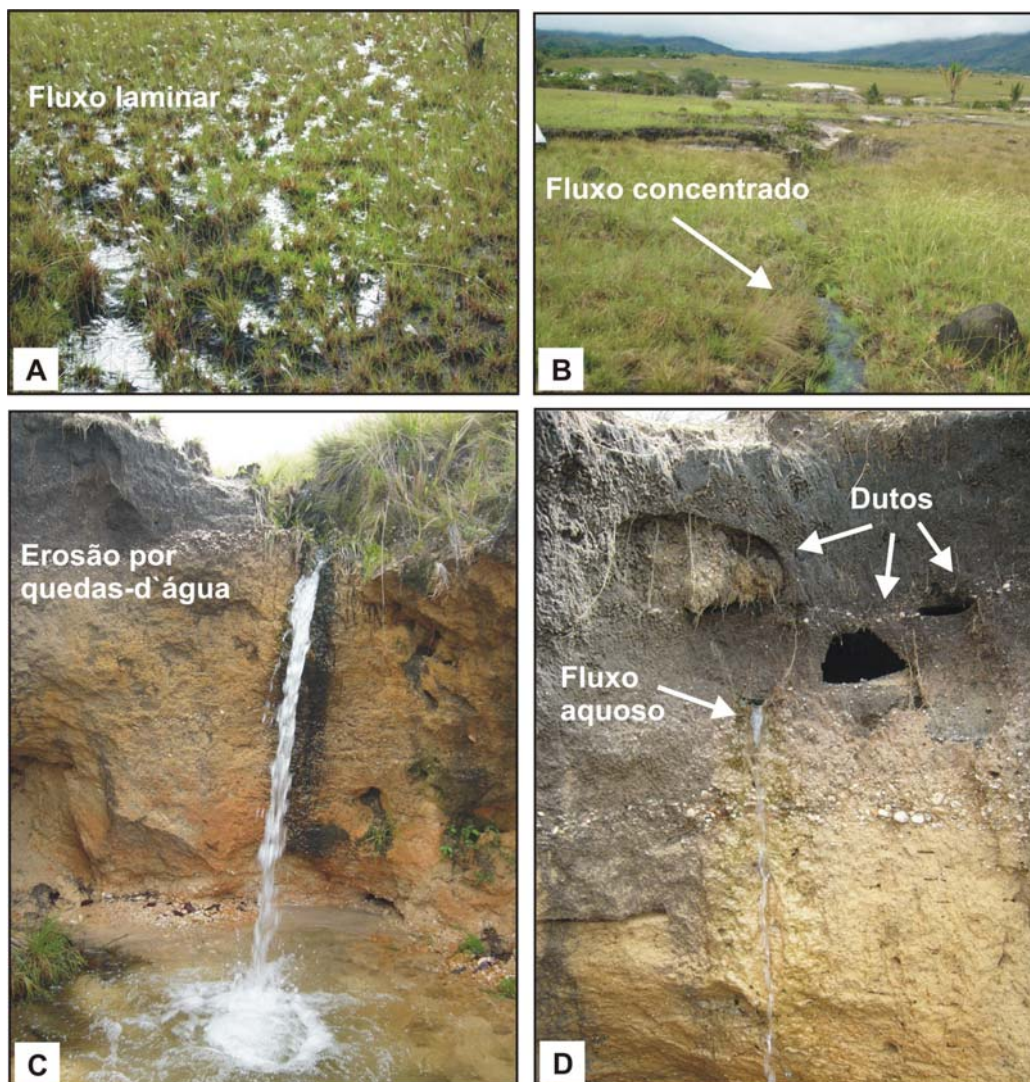


**Figura 83- Processo de ravinamento nos solos da serra Tepequém; (A) ravinas desenvolvidas em solo arenoso e (B) pequeno sulco que evolui para ravina.**

Fonte: Foto B de Roberto Carlos Caleffi.

*- Marmitas ou panelas*

Estas feições erosivas foram observadas na cabeceira (base do talude) da voçoroca Tepequém 1. Em geral, apresentam formato alongado e dimensões não superiores a 50 cm, surgem devido à concentração do fluxo aquoso que se projeta na cabeceira da voçoroca em forma de enxurrada, acelerando o efeito cachoeira, levando à formação de marmitas ou panelas na base do talude (Figura 84). Este processo, além de ajudar na evolução remontante da cabeceira da voçoroca, aumenta o volume de fluxo superficial na base do canal acarretando o aprofundamento do talvegue.



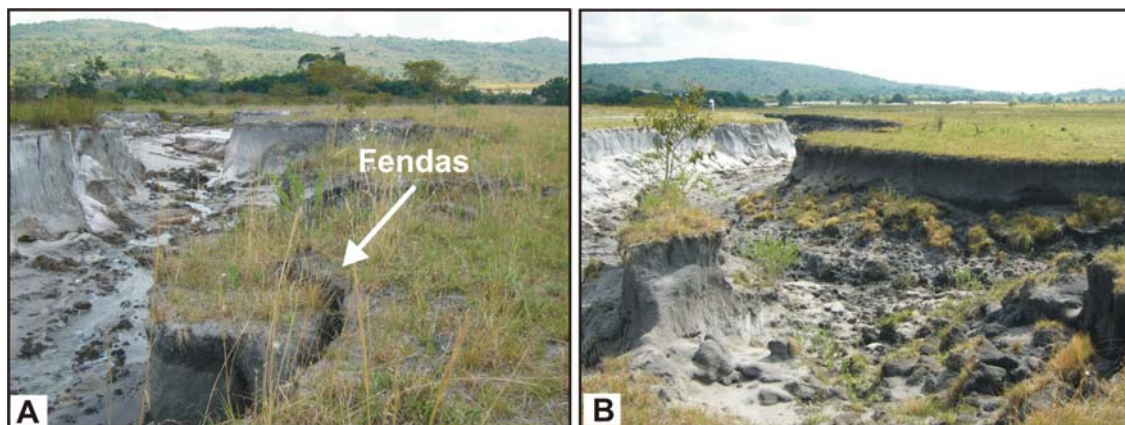
**Figura 84-** (A) Formação de fluxo laminar após chuvas em julho (2006) na encosta de entorno da voçoroca Tepequém 1; (B) fluxo concentrado em ravina; (C) que se projeta na cabeceira da voçoroca e forma marmitas ou panelas na base do talude e (D) convergência de fluxo aquoso em dutos de formigueiros situados a 50 cm da superfície. Notar que o duto, à esquerda, está parcialmente preenchido por material arenoso.

*- Fendas*

São feições erosivas muito comuns observadas nas bordas de voçorocas em que o fluxo aquoso superficial no interior do canal, proveniente da contribuição do lençol freático, promove o solapamento da base dos taludes e conseqüentemente a desestabilização das bordas da incisão erosiva. A evolução do processo erosivo promove o avanço remontante e lateral do canal, tais evidências foram observadas na voçoroca da Lixeira, pelo acúmulo de blocos de solos localizados próximos a borda do talude e, pelas colunas residuais no interior do canal, identificando antiga posição da borda. O alargamento do canal da voçoroca da Lixeira é



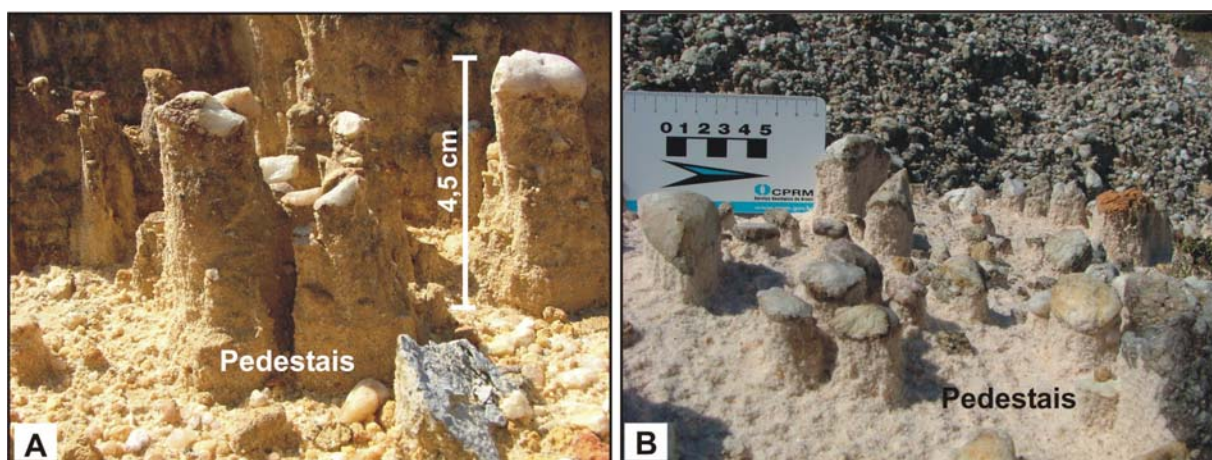
claramente observado quando se compara a imagem capturada em setembro de 2005 e outubro de 2006 (Figura 85).



**Figura 85-** Evidências de progressão remontante e lateral na voçoroca da Lixeira; (A) fendas na borda da parede e (B) concentração de blocos de solos desmoronados e coluna residual identificando antiga borda da voçoroca. Imagens capturadas em setembro/2005 (A) e outubro/2006 (B).

- *Pedestais (demoiselles)*

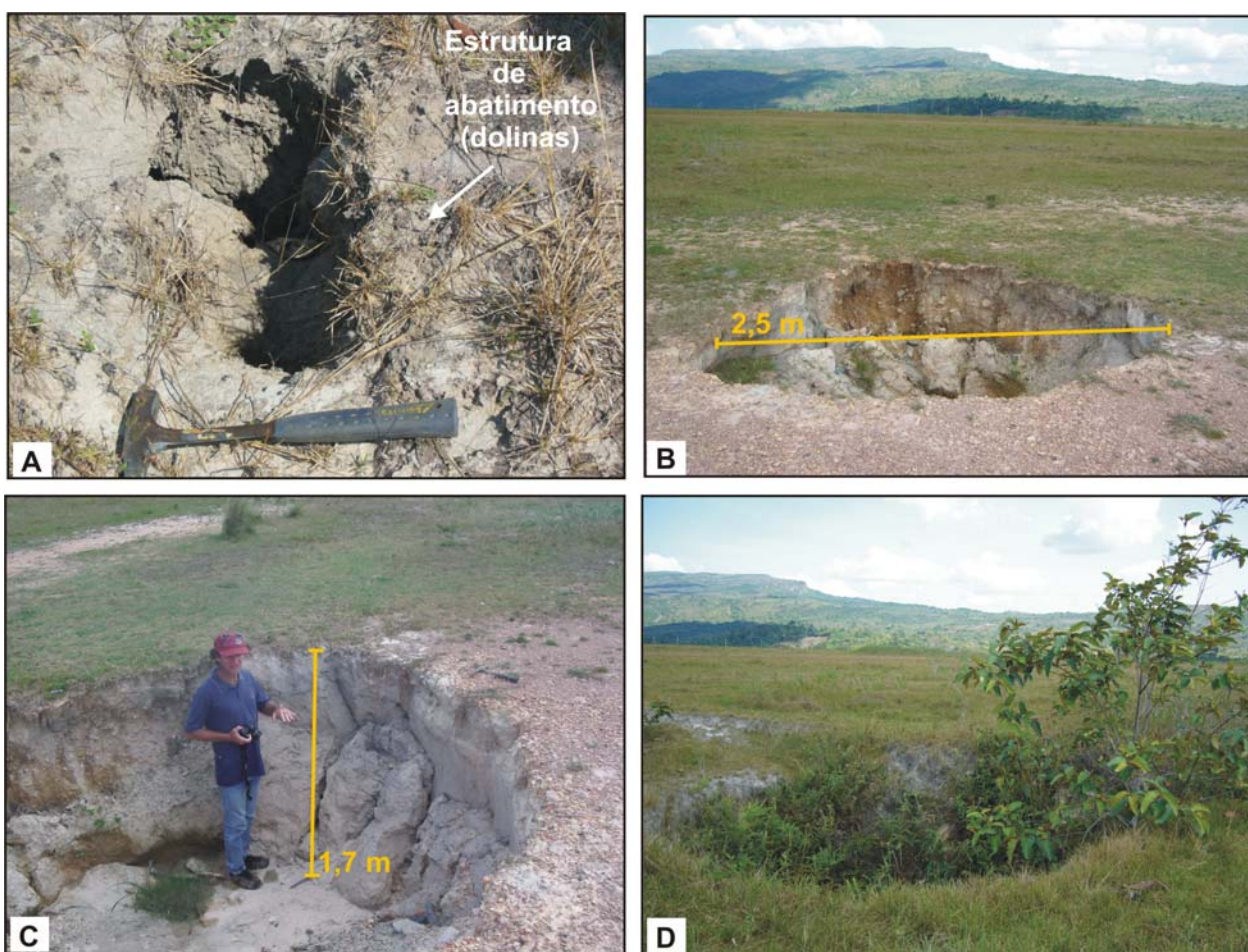
Feições erosivas tipo pedestais (*demoiselles*) também são freqüentes nas áreas de entorno e taludes das voçorocas Tepequém 1 e Cabo Sobral 1, quando desprovidas de cobertura vegetal. Atingem até 4,5 cm de altura, protegidos por seixos de quartzo ou fragmentos lateríticos ferruginosos (Figura 86). Elas mostram que a ação erosiva da chuva (salpicamento) foi intercalada com remoção das partículas do solo pelo escoamento superficial.



**Figura 86-** Pedestais (*demoiselles*) protegidos por seixos de quartzo e fragmentos lateríticos ferruginosos, situados no entorno e talude das voçorocas Tepequém 1 (A) e Cabo Sobral 1(B).  
Fonte: Fotos de Roberto Carlos Caleffi.

- *Estruturas de abatimento (tipo dolinas)*

Dolinas também ocorrem com frequência nos arredores da Vila Tepequém preferencialmente na planície intermontana Tepequém, área de baixa vertente com declividade de 3°. Apresentam formato circular e atingem até 4 m de profundidade e 2,5 m de largura (Figura 87 A, B e C). Podem apresentar evolutivamente uma ligação com as voçorocas. Observa-se que a expansão destas feições erosivas dá-se pelo progressivo colapso do teto, fato que sugere origem relacionada à erosão hídrica por fluxo subsuperficial, que carrega pequenas partículas (silte e argila), e por consequência, desorganiza a estrutura do solo, podendo levar à formação de vazios no seu arcabouço. Tal mecanismo é definido por Coelho Netto (1998) como erosão por vazamento. As dolinas aparentemente estabilizadas se encontram parcialmente recobertas por vegetação arbustiva e arbórea nas paredes e base dos dutos (Figura 87 D).



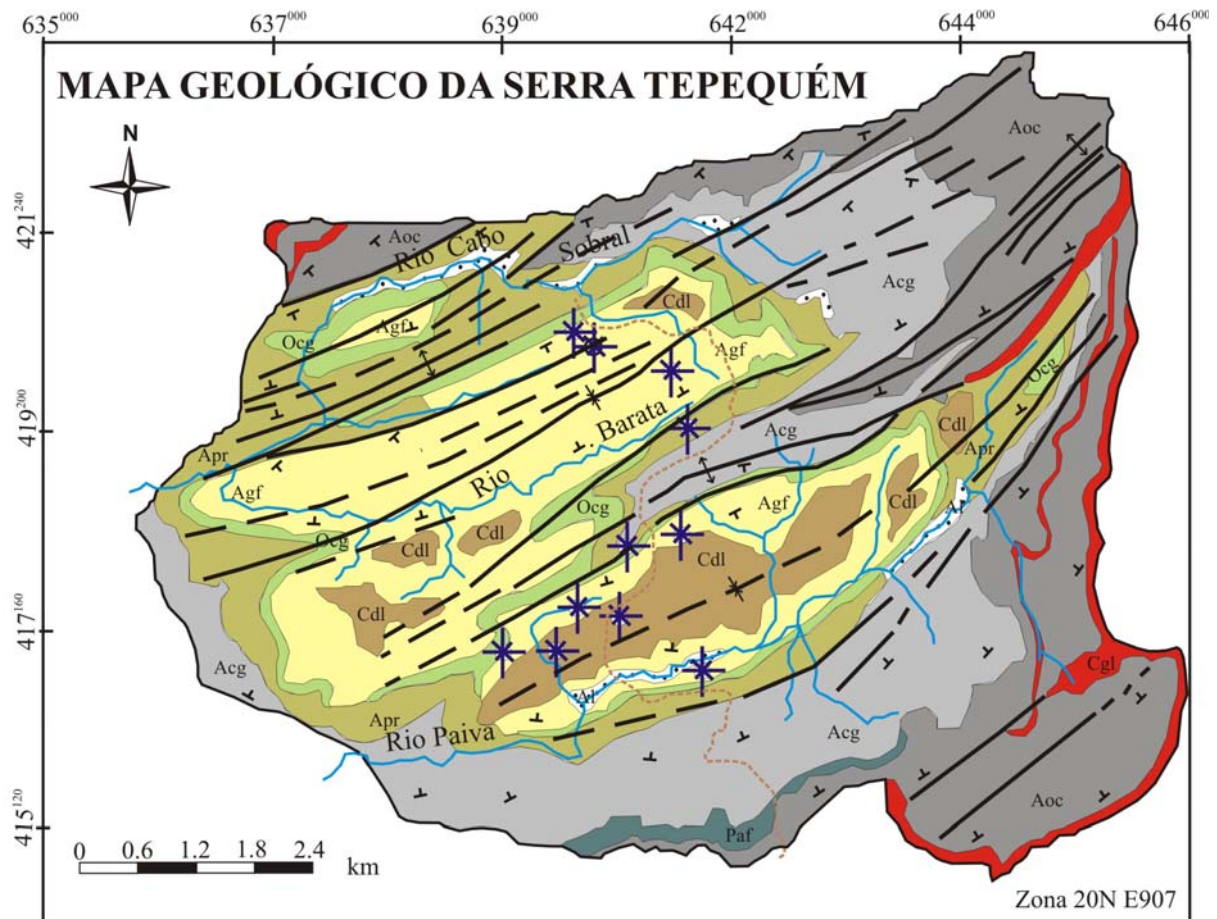
**Figura 87-** Formação de dolinas localizadas na planície intermontana Tepequém; (A) início do processo de expansão do colapso do teto; (B) e (C) desabamento total do teto com formação de dolinas e (D) dolina aparentemente estabilizada e recoberta pela vegetação.

## 7.2 CONSTITUIÇÃO GEOLÓGICA VERSUS EROSÃO LINEAR

As voçorocas se desenvolveram preferencialmente nos terrenos de domínio de materiais areno-siltosos intemperizados derivados de arenitos arcoseanos, arenitos de granulação grosseira e arenitos finos intercalados com pelitos da Formação Tepequém (FERNANDES FILHO, 1990) (Figura 88). A maior frequência (46%) está no domínio de arenitos arcoseanos e arenitos de granulação grosseira (FERNANDES FILHO, op. cit.), na porção centro-sul, em áreas de planícies com altitudes entre 575 e 670 metros. Estes arenitos nestas áreas estão alterados (solos e saprólitos), apresentam textura siltica arenosa incoesa, composto por quartzo, muscovita e caulinita. Estes quando expostos à ação erosiva do fluxo aquoso superficial e subsuperficial, tendem a desenvolver dutos (*pipings*) e grandes voçorocas que chegam atingir mais de 10 m de profundidade. Situação semelhante ocorre em arenitos arcoseanos da Formação Trincheira na região de Uiramutã no norte de Roraima (REIS; FARIA; MAIA, 2002).

Estas evidências também foram observadas por Morais, Bacellar e Sobreira (2004) em saprólitos de gnaisses de textura siltosa e pobres em argilominerais situados no complexo do Bação em Minas Gerais.





### Cenozóico

- :At. Aluviões recentes
- Cdl Coberturas detrito-lateríticas e solos areno-siltosos

### Paleoproterozóico

#### Formação Tepequém

- Agf Arenito arcoseano, arenito grosso e arenito ferruginoso
- Ocg Ortoconglomerado e arenito ortoquartzítico
- Apr Arenito fino intercalado c/ pelito roxo
- Acg Arenito fino, arenito grosso c/ intercalações de conglomerados
- Paf Pelito e arenito imaturo ferruginoso
- Aoc Arenito ortoquartzítico c/ intercalações de conglomerado polimítico
- Cgl Conglomerado polimítico
- Grupo Surumu

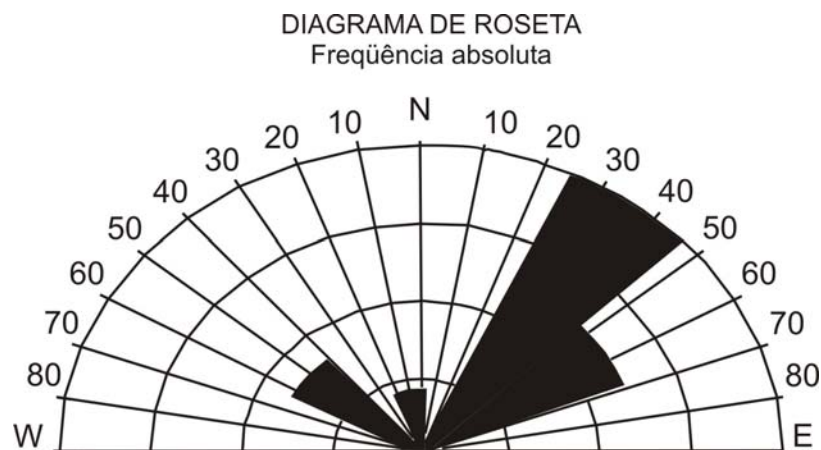
- Falhas definidas
- - Falhas inferidas
- ✳ Eixo de sinclinal c/ duplo caimento
- ↕ Eixo de anticlinal c/ duplo caimento
- ∧ Atitude
- Rios e igarapés
- ✳ Voçorocas estudadas
- - Estrada

Figura 88- Mapa geológico da serra Tepequém modificado de Fernandes Filho (1990) com localização das voçorocas estudadas.

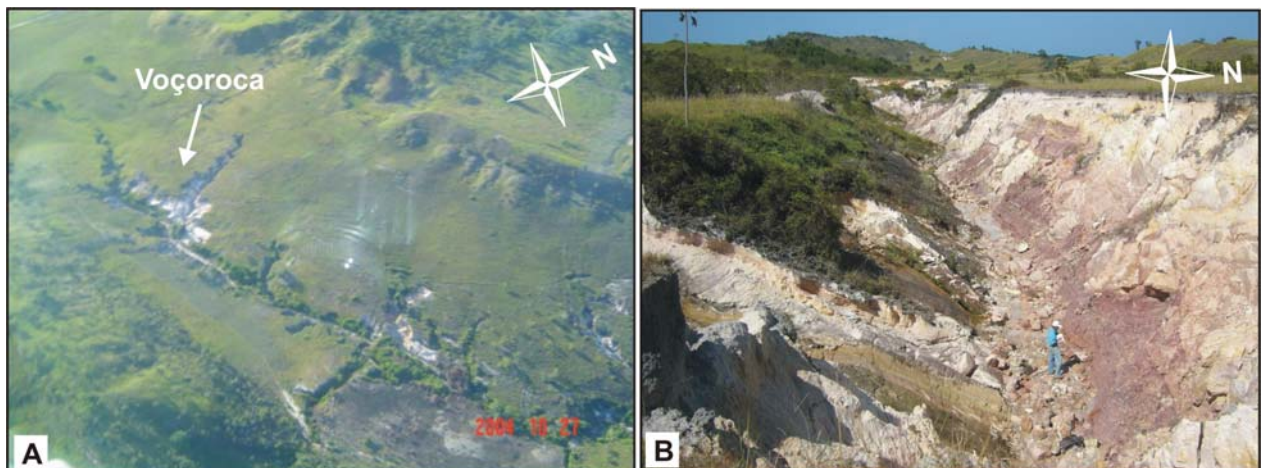


A orientação das voçorocas apresenta canais lineares alinhados principalmente na direção NE-SW (73 %) e secundariamente nas direções NW-SE (18 %) e N-S (9 %) (Figura 89), mostrando forte controle estrutural da Formação Tepequém. Um bom exemplo está representado pela voçoroca do Barata com forte linearidade e marcas de espelho de falhas sugerindo planos de falhas (Figura 90). O alinhamento de dolinas também segue a direção NE-SW e NW-SE (Figura 91).

As maiores voçorocas são aquelas orientadas na direção NE-SW, a exemplo da voçoroca do Barata, enquanto as orientadas nas direções NW-SE e N-S tendem a ser menores, como as voçorocas Lixeira e Cabo Sobral 1.



**Figura 89 - Diagrama de roseta com indicação das direções de alinhamento dos canais das voçorocas estudadas na serra Tepequém - RR, onde se verifica a predominância na direção NE-SW.**



**Figura 90- (A) Voçoroca com padrão de direção NE-SW (canal principal) e NW-SE (canais dígitos) e (B) marcante linearidade do canal da voçoroca do Barata – Serra Tepequém - RR.**

Fonte: Foto A de José Augusto Vieira Costa.



**Figura 91- Estruturas de abatimento tipo dolinas, localizadas a jusante da Vila do Tepequém, exibem alinhamento direcional NE-SW.**

O controle estrutural é um fato comum, como mostra Hasui et al. (1995) na região de São Pedro no Estado de São Paulo e Silva et al. (2003) no médio-baixo vale do ribeirão do Secretário, em Paty do Alferes no Rio de Janeiro.

### 7.3 ESTABILIDADE DAS VOÇOROCAS VERSUS COBERTURA VEGETAL

Na relação estabilidade das voçorocas versus cobertura vegetal se identifica dois padrões: a) as voçorocas ativas, que são as mais frequentes (73 %), correspondem aquelas com cobertura vegetal restrita ou praticamente ausente e b) voçorocas mistas (27 %) que apresentam as paredes e por vezes a base do canal parcialmente recoberto pela vegetação. Enquadra-se no primeiro padrão as voçorocas Tepequém 1, Lixeira, Jacu, Cabo Sobral 1, Cabo Sobral 2, Vila e Morro da Antena, enquanto as do segundo correspondem às voçorocas Paiva, Tepequém 3 e Barata.

A vegetação observada nos taludes e entorno das voçorocas está representada pelas seguintes famílias: pteridófitas, ciperáceas, melastomatácea e poáceas (Figura 92 A, B, C e D). Dentre as famílias supracitadas, a que predomina nos taludes das voçorocas são pteridófitas da espécie *Gleichenia* sp., samambaia de folhas grossas e ásperas que se estabelecem em ambientes abertos, com luminosidade elevada. Sua presença, segundo Lorenzi (1982, 2006), está quase sempre relacionada a solos arenosos, ácidos e com baixo índice de fertilidade, como encontrado na área estudada. Estas colonizam grandes áreas, tal como se verifica na parede esquerda e



cabeceira da voçoroca do Paiva (Figura 92 A). É igualmente citada por Goulart et al (2006) como espécie dominante em voçoroca situada no município de Nazareno em Minas Gerais.

No entorno das voçorocas ocorre melastomatácea, arbusto de maior porte, que em geral, ocupa as bordas dos taludes. As áreas circunjacentes das voçorocas são recobertas quase que totalmente por poáceas, dentre outras, se destacam as espécies *Andropogon* sp. e o *Andropogon leucostachyus*. Também ocorrem ciperáceas, as mais freqüentes são *Rhynchospora* cf *subplumosa* C.B. Clarke e *Oxycaryum* cubense. Estas espécies formam touceiras, deixando o solo entre elas parcialmente exposto a ação erosiva da chuva.

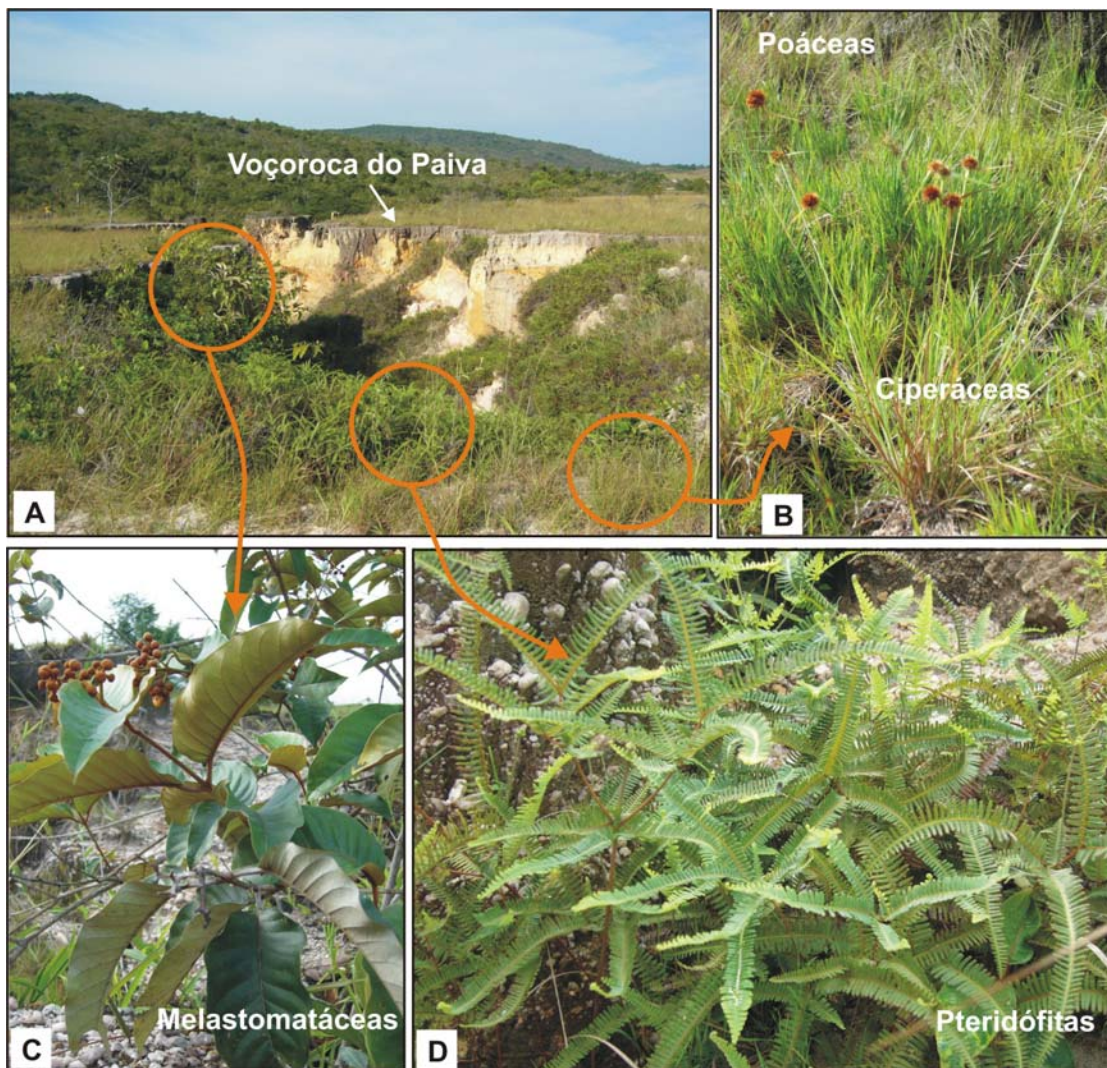


Figura 92- Composição florística dominante nas áreas parcialmente estabilizadas na parede e cabeceira das voçorocas, a exemplo da voçoroca Paiva (A), famílias identificadas de poáceas e ciperáceas (B), melastomatáceas (C) e domínio principalmente de pteridófitas (D).

O avanço das voçorocas impede a fixação da vegetação. Este avanço pode ser impedido, mesmo temporariamente, por infestação de pteridófitas (samambaias). Portanto, o desenvolvimento de vegetação mesmo daquela de pequeno porte seja nas paredes e no fundo, diminui o vigor da erosão. A cobertura vegetal é, portanto, um componente importante na estabilização de voçorocas. Segundo Facincani e Cavaleiro (1995), as espécies colonizadoras de áreas degradadas propiciam ao solo melhorias, principalmente de estrutura e nutrientes, que favorecem o processo de sucessão ecológica e o aparecimento de outras espécies, que ajudam na proteção e agregação das partículas do solo em superfície.

## 8 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA SERRA TEPEQUÉM

A partir da correlação dos dados obtidos em campo e interpretação das imagens orbitais, assim como de informações litológicas e estruturais de pesquisas anteriores (BORGES; D'ANTONA, 1988; COSTA et al., 1991; FERNANDES FILHO, 1990; FRAGA; REIS; PINHEIRO, 1994a; TAVARES JÚNIOR, 2004) foi estabelecido um modelo esquemático evolutivo da serra Tepequém. O modelado da serra Tepequém decorre, sobretudo, da interação de múltiplos processos, envolvendo a história tectônica desde o Proterozóico, as mudanças climáticas e os vários ciclos de erosão ocorridos ao longo do tempo, bem como a sedimentação restrita e pequena contribuição antrópica.

### 8.1 FORMAÇÃO DO ARCABOUÇO GERAL DA SERRA TEPEQUÉM

A morfologia atual da serra Tepequém constitui um bloco alçado, com configuração romboédrica, e que sugere um condicionamento às estruturas tectônicas regionais, que segundo Tavares Júnior (2004), são representadas por zonas de cisalhamento transcorrentes destras de direção NE-SW, Proterozóica, situadas a norte e sudeste da serra (Figura 93 A). A sudoeste da serra Tepequém, segundo CPRM (1999), os lineamentos de direção NW-SE, delineiam arranjos sugestivos de movimentação sinistral. Fraga, Reis e Pinheiro (1994a) destacam que a estrutura da serra tenha tido sua evolução controlada durante sua fase distensiva por falhas antitéticas mergulhando para sul, associadas às falhas normais, e que a inversão deste arranjo de falhas normais teria produzido a estrutura atualmente observada. Por outro lado, Costa et al. (1991) sugerem uma feição tipo Klippe (bloco remanescente oriundo de lascas de cavalgamento), e admitem que a inversão positiva da bacia esteja relacionada a evento de compressão regional.

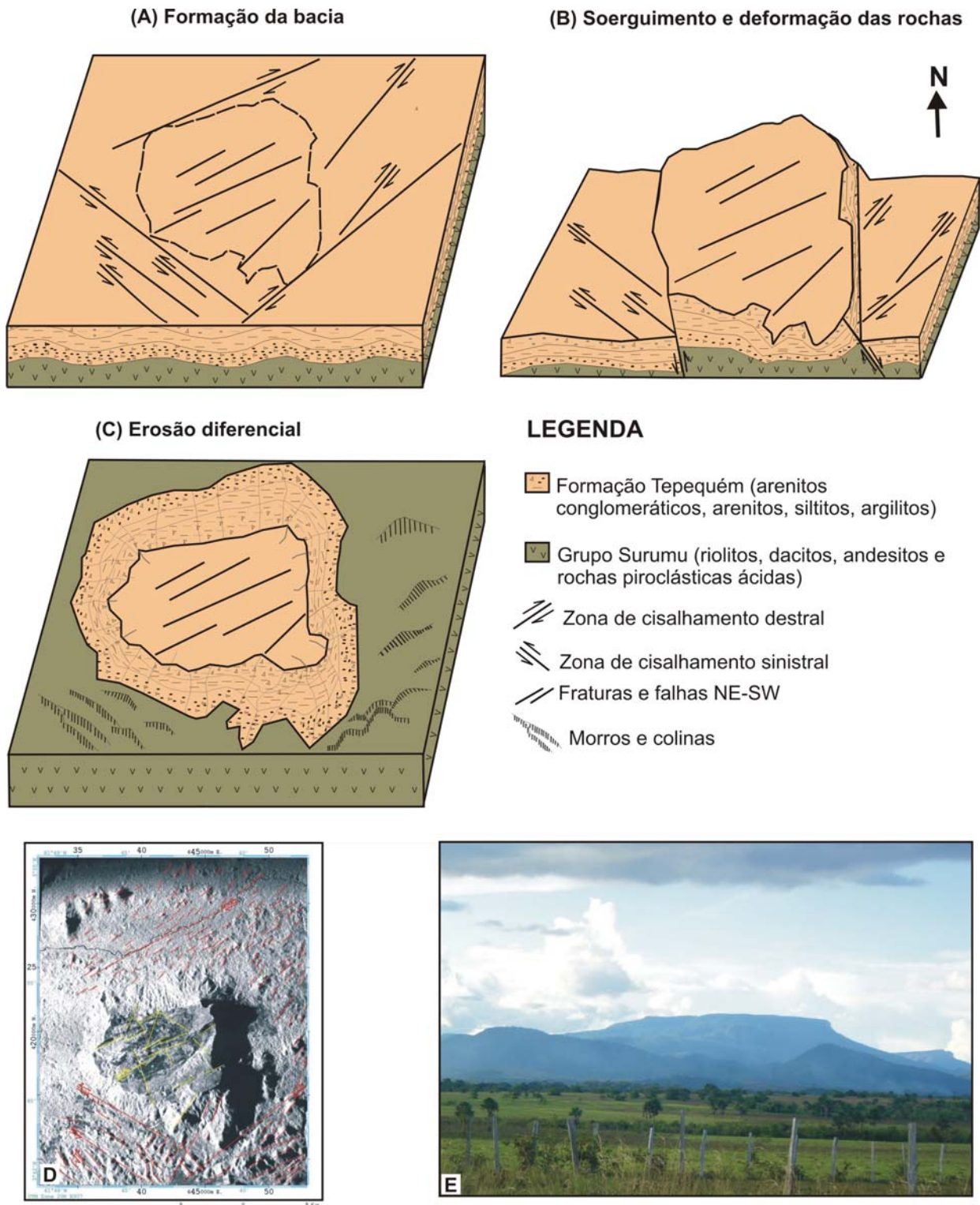
O episódio regional compressivo K'Mudku no Proterozóico, segundo Fraga, Reis e Pinheiro (1994 a, b), promoveu o desenvolvimento de zonas de cisalhamento e feixes de cavalgamentos, com evolução de texturas miloníticas nas vulcânicas (substrato da seqüência sedimentar) e dobras e clivagens nas rochas sedimentares (Formação Tepequém) (Figura 93 B). Os dados, acima expostos, evidenciam que as feições tectônicas, sejam os grandes lineamentos regionais de direção NE-SW, NW-SE e E-W e o arranjo de dobras na seqüência sedimentar, sob a forma de um grande sinclínório (BORGES; D'ANTONA, 1988; FERNANDES FILHO, 1990;

GUERRA, 1957), formataram o arcabouço geral da serra Tepequém ainda no Proterozóico (Figura 93 C).

Assim, as feições tectônicas constituíram a base da estruturação do arcabouço geral da serra Tepequém. A morfologia herdada se reflete nas escarpas íngremes do entorno, as quais apresentam alinhamentos nas direções NE-SW e NW-SE, ou seja, forte paralelismo com os lineamentos estruturais regionais (Figura 93 D e E). Ressalta-se ainda que as fraturas e falhas de direção NE-SW situadas no interior da serra, também são concordantes ao arranjo estrutural externo.

Portanto, o arcabouço geral da serra Tepequém foi formatado ainda no Proterozóico, e que na ausência de evidências de eventos tectônicos posteriores, bem como sedimentação e vulcanismo, admite-se que assim permaneceu até o Cenozóico.





**Figura 93-** Evolução esquemática da paisagem da serra Tepequém, no Proterozóico e no Cenozóico. (A) configuração romboédrica da bacia do Tepequém condicionada pelas estruturas tectônicas regionais; (B) soerguimento e deformação das rochas do substrato da seqüência sedimentar; (C) erosão diferencial e recuo das escarpas; (D) Imagem SAR/SIPAM destacando as feições estruturais interpretadas (TAVARES JÚNIOR et al., 2006); (E) Vista frontal da serra Tepequém.

## 8.2 MODELAGEM DO TOPO DA SERRA TEPEQUÉM DURANTE O CENOZÓICO

Durante o Cenozóico a serra Tepequém experimentou modelagem de seu cenário, promovida por sucessivos processos erosivos, que Schaefer e Vale Júnior (1997) atribuem ao ciclo de aplainamento Sul-americano. No presente estudo foi identificadas as seguintes mudanças no modelado do topo da serra Tepequém.

### - Formação de colinas e morros no interior da serra Tepequém

Nos terrenos do topo da serra Tepequém foram identificados perfis lateríticos imaturos, que por correlação com Costa (1991), devem ser atribuídos ao Pleistoceno, formados a partir de rochas siltico-argilosas, intercaladas ao pacote de arenitos e conglomerados. Várias colinas e morros encontram-se protegidos por crostas lateríticas (Figura 94), possivelmente eram mais elevadas do que se observa atualmente na paisagem (Figura 95 A). A presença de lateritos neste cenário testemunha a ação de clima mais úmido e quente sobre a serra durante o Pleistoceno. A presença de paleocolúvios, como linhas de pedras contendo seixos de crostas ferruginosas, nas seqüências sedimentares de paleovales, sugere atividade erosiva intermitente e elevada energia, certamente sob ausência de espessa cobertura vegetal, portanto sob clima seco. A remoção deve ter se dado por enxurradas na forma de avalanches ou escorregamentos como sugere Costa (1991) na formação de lateritos alóctones na Amazônia.



**Figura 94- Paisagem sobre formações lateríticas derivadas de pelitos (siltitos) à esquerda da imagem e arenitos conglomeráticos ao fundo da mesma. No centro, um paleovale preenchido por sedimentos arenosos e localmente linhas de pedra.**

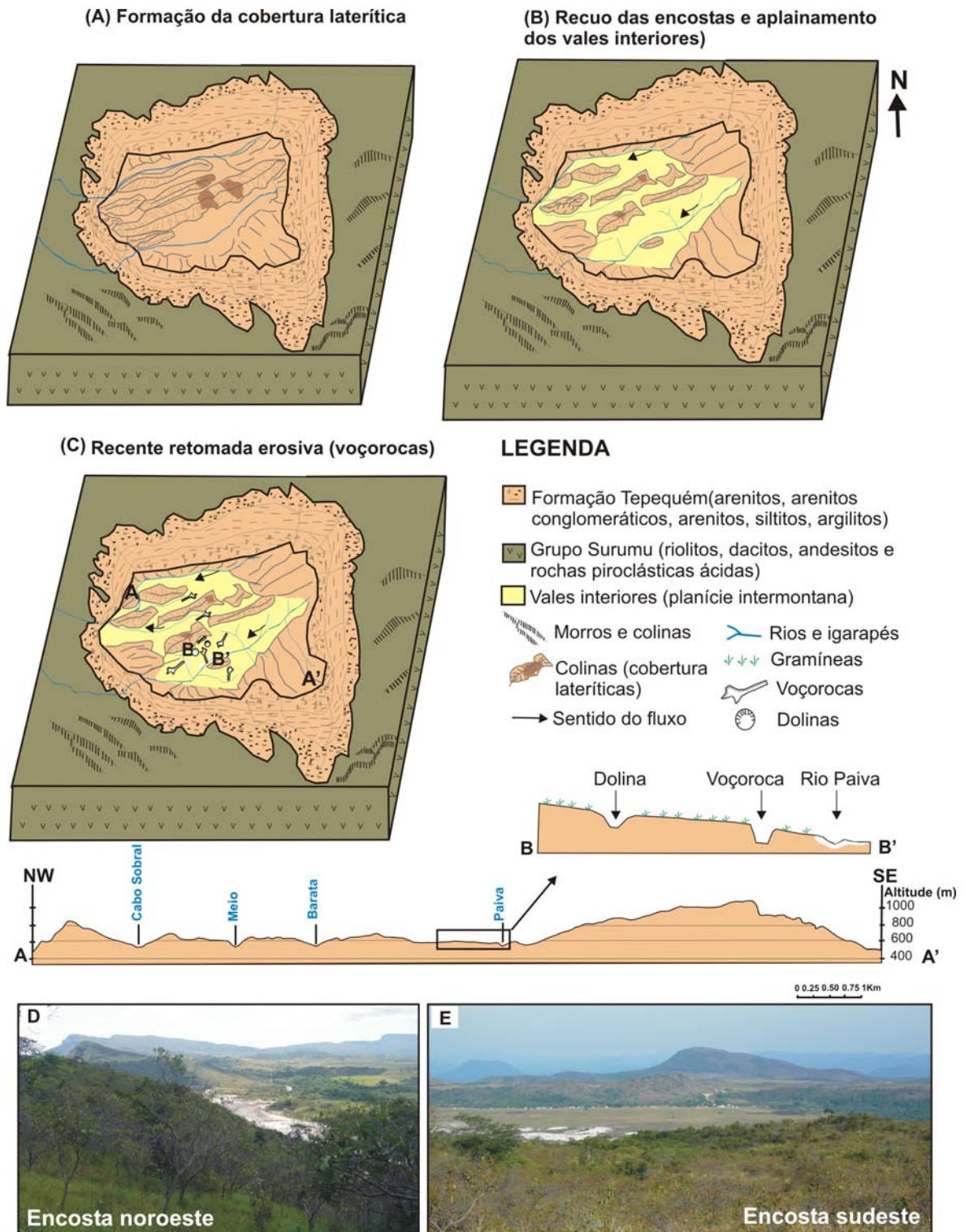


Figura 95- Evolução esquemática da paisagem da serra Tepequém durante o Cenozóico. (A) formação da cobertura laterítica em terrenos mais elevados; (B) recuo das encostas e aplainamento dos vales interiores; (C) retomada erosiva marcada por *pipings*, áreas de abatimento tipo dolinas e voçorocas; (D) Vista geral da encosta noroeste e vale do rio Cabo Sobral e (E) encosta sudeste e no centro da imagem o vale do rio Paiva. No detalhe perfil transversal A-A' na direção NW-SE e B-B' destacando as feições erosivas (dolina e voçoroca) na planície intermontana no entorno do rio Paiva.



*- Formação da rede de drenagem*

A rede de drenagem, sobre a serra Tepequém não deve ter representado uma atividade importante do seu modelado, a deduzir por seus depósitos e formação de vales, praticamente ausentes. Os dois rios principais atuais, Cabo Sobral e Paiva, ocupam as depressões dos sinclínorios e em parte zonas de fraturas e falhas deprimidas de direção NE-SW. Estes cursos atravessam toda estrutura da serra, na direção ENE-WSW, são paralelos entre si e em vez de desaguiarem, precipitam como cachoeiras nas escarpas a W-SW e atingem a planície regional do entorno em que o rio Paiva é capturado pelo rio Cabo Sobral, o qual deságua no rio Amajari pela sua margem direita.

É provável que a forma geral do topo da serra, sob a superfície de sinclínorio com vergência para NE e SW, aberta, com escarpas abruptas, não tenha dado oportunidade para acúmulo prolongado de água, e formação de rios perenes de grande porte. Esses rios se instalaram quando o topo da serra foi afetado por clima quente e úmido, quando da formação dos perfis lateríticos, anteriormente discutidos. A vida desses rios deve ter sido controlada pelas variações climáticas localizadas sobre a serra, como se observa atualmente, em que as formações de nuvens são parcialmente contidas e elevam os índices de chuvas que atingem em média 2.250 mm anuais (CPRM, 2005).

*- Erosão e assoreamento parcial de vales: formação de planícies intermontanas e recuo de escarpas*

A paisagem atual das planícies intermontanas sugere que intenso processo erosivo e sedimentar restrito tenha ocorrido a partir do Pleistoceno Tardio, sucedendo a formação de lateritos e as mudanças para condições climáticas semi-áridas.

As idades radiocarbono de amostras de carvão sugerem que a deposição dos sedimentos nas áreas de planícies intravales da serra Tepequém, iniciou-se pelo menos 3.822 anos AP, ou seja, o clima semi-árido do Pleistoceno Tardio se estendeu até o Holoceno.

O processo erosivo promoveu o recuo parcial das encostas internas da sinclinal e de escarpas de falhas, situadas na borda sudeste próximo ao vale do rio Paiva, seguindo as zonas de fraquezas litológicas e estruturais (zonas de falhas) (Figura 95 B).

A alta angulosidade, a baixa seleção dos grãos e a ausência de estruturas sedimentares comprovam fonte próxima e transporte sob alta energia e fluxos intermitentes. A presença de

linhas de pedra, nos sedimentos das planícies intermontanas com fragmentos de lateritos da região, reforça a interpretação de área fonte próxima. Essa atividade erosiva parece perdurar até a atualidade, embora de forma menos intensa, provavelmente pelo desenvolvimento de uma mata ciliar e de savana que recobre respectivamente as áreas próximas às drenagens e às encostas dissecadas.

O trabalho erosivo dos cursos fluviais (atualmente rios Paiva, Barata e Cabo Sobral), provavelmente, já ativos desde o Pleistoceno, aliados com o forte gradiente, favoreceu ao transporte de parte dos sedimentos para W-SW, contribuindo na formação das planícies intermontanas (Figura 96), bem como, no aplainamento da planície do entorno da Serra Tepequém.



**Figura 96- Paisagem da planície intermontana do vale do rio Paiva, em primeiro plano, ao fundo da imagem se observa morros e colinas elaborados sobre arenitos conglomeráticos e formações lateríticas.**

- *Superfícies marcadas por feições erosivas lineares, áreas de abatimento tipo dolinas e contribuições antrópicas*

Mais recentemente, a serra Tepequém está sendo palco de intensa atividade erosiva linear na forma de ravinas e voçorocas que se instalaram nas coberturas das planícies intermontanas (Figura 95 C).

O processo erosivo foi favorecido pela natureza do solo/sedimento, arenoso, com placas de muscovita em material caulínico incoeso, rico em quartzo, assentado sobre um paleo-relevo inclinado para os vales, fortemente fraturado e falhado, desenvolvido sobre rochas sedimentares, sobretudo arenitos da Formação Tepequém. Neste solo se instalou o raso lençol freático que, aliado ao substrato ou paleo-relevo inclinado, deu origem a um forte fluxo aquoso subsuperficial, propiciando a formação de dutos (pipes), áreas de abatimento tipo dolinas, e por conseqüência, voçorocas.

As voçorocas são precedidas por dutos (pipes) que evoluem para dolinas que se interligam em subsuperfície, e com o colapso do teto, devido ao avanço do fluxo aquoso subsuperficial evoluem para voçorocas (Figura 97 e 98). Para tal, elas seguem as feições estruturais (fraturas e falhas) de direção NE-SW e NW-SE que seccionam o substrato (Formação Tepequém). Portanto, a abertura das voçorocas foi facilitada pelas feições estruturais que, aliados aos solos arenosos e incoesos, constituem fatores determinantes na gênese e evolução das voçorocas.

A aparente remoção ou mudança da cobertura vegetal, seja por mudanças climáticas ou pela ação antrópica, pode ter contribuído para acelerar o processo de formação de pipes, dolinas e conseqüentemente voçorocas.



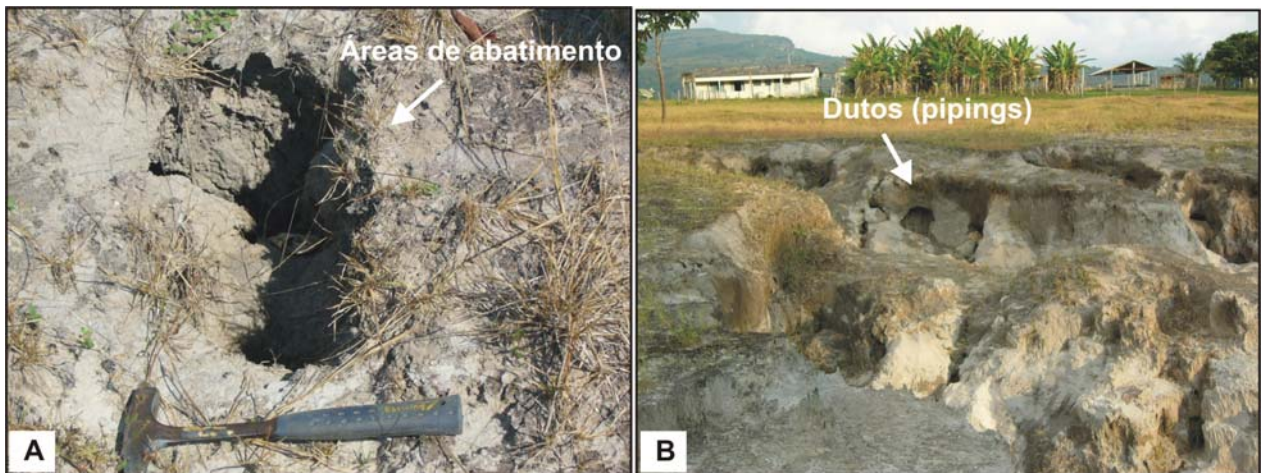


Figura 97- Nas planícies intermontanas é desenvolvido intenso processo erosivo com o surgimento de feições erosivas, a exemplos, das áreas de abatimento tipo dolinas (A) e dutos (*pipings*) que situam nos taludes das voçorocas, e favorecem a evolução regressiva da mesma (B).

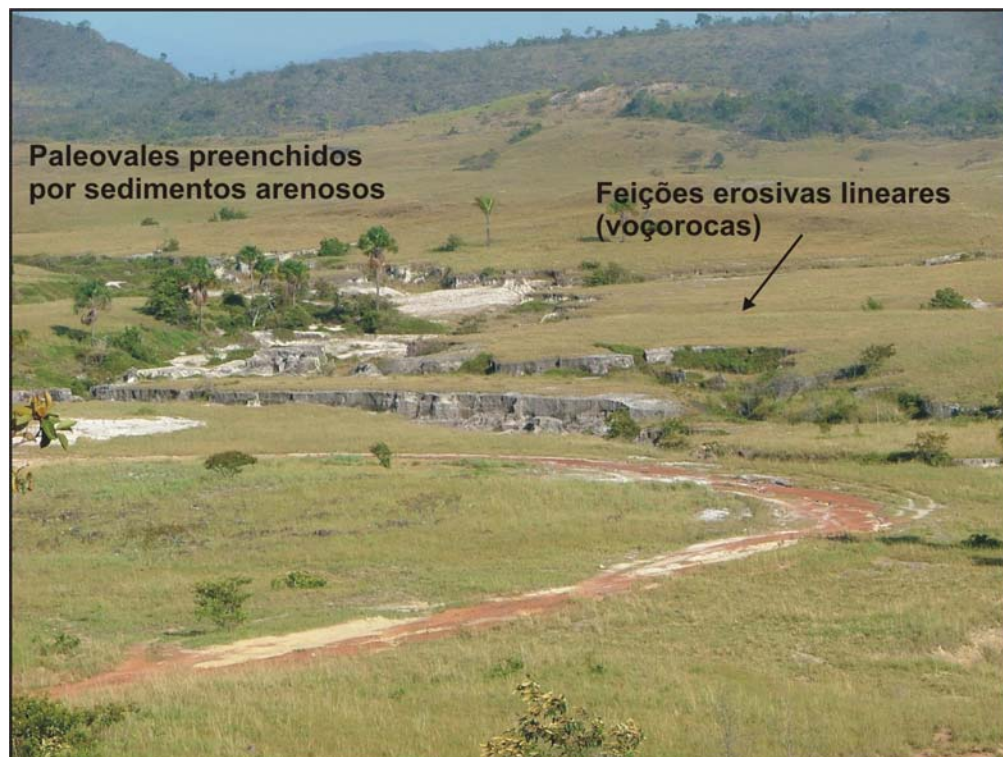


Figura 98- A paisagem de um paleovale preenchido por sedimentos arenosos, com intensa atividade erosiva linear (voçorocas).

Neste cenário, não há vestígios de ocupação do homem pré-histórico, isto se deve possivelmente às condições inóspitas, devido à altitude, pouco acúmulo de água, solos pobres (arenosos e incoesos) e possível vegetação pobre em alimentos (campos).

A partir dos anos de 1930, começou a atividade garimpeira fomentada pela descoberta de diamantes, nos pedimontes e aluviões dos rios Paiva e Cabo Sobral e em parte nos conglomerados. Essa atividade promoveu a remoção da mata ciliar e em parte da Floresta ombrófila do entorno da serra. No final dos anos 80, o garimpo entrou em decadência e a mata ciliar recuperou-se espontaneamente, como mostra as imagens ópticas dos últimos 22 anos (1984, 1995 e 2006). A redução da atividade garimpeira diamantífera deve-se, sobretudo, às ações governamentais de controle no início da década de 90 (século XX) e à exaustão em diamantes aluvionares.

A atividade garimpeira diamantífera pode ter contribuído na intensificação das frentes erosivas lineares. As evidências são as valas escavadas pelos garimpeiros, ao longo das planícies intermontanas, com intuito de canalizar as águas pluviais e potencializar o processo erosivo, aproveitando a diferença potencial do terreno, com fim de alcançar mais facilmente o horizonte de cascalho subjacente (área potencialmente concentradora de diamante).

Recentemente, a partir dos anos de 2003, começou um programa de utilização das cavas abandonadas do garimpo, as quais foram aproveitadas para desenvolvimento da piscicultura, como uma forma de proporcionar trabalho e renda para a comunidade local.

Portanto, na paisagem da serra Tepequém, nas suas áreas de planícies intermontanas, prevalece a atividade erosiva por feições tipo pipes, dolinas e voçorocas, enquanto que nas encostas e morros e colinas residuais, cobertas parcialmente por savana arbustiva, prevalece uma erosão de gravidade e fluxo superficial de águas pluviais. As principais drenagens (Paiva e Cabo Sobral) são principalmente erosivas com acumulação temporária.

A cobertura vegetal atual é representada por mata ciliar em franca expansão, formando pequenas veredas ao longo das drenagens, coberturas savânicas arbustivas nas planícies que se prolonga para os morros e colinas. É provável que a pequena espessura de sedimentos, com lençol freático raso, que no período chuvoso aflora parcialmente e na estiagem torna-se restrito e localizado em profundidade, tenha restringido o desenvolvimento da cobertura vegetal no topo da serra Tepequém.

## 9 CONCLUSÕES

- A formatação do modelado da serra Tepequém constitui uma herança das estruturas tectônicas regionais, Proterozóica, e na ausência de evidências de eventos tectônicos posteriores, admite-se que assim permaneceu até o Cenozóico;

- As feições morfológicas da serra Tepequém, de formato retangular a romboédrica, guardando a morfologia de um sinclínrio e limitada por escarpas abruptas, contribuíram com estabelecimento de uma paisagem peculiar em nítido contraste com os morros, colinas e superfícies aplainadas do entorno. Neste cenário, o traçado retilíneo dos rios, a exemplo do Amajari e Trairão, e as colinas, morros e serras alinhadas na direção NE-SW e NW-SE, demonstram estar fortemente controlados ao longo de falhas normais e transcorrentes;

- Na modelagem do cenário do topo da serra Tepequém, são registrados, principalmente, eventos pleistocênicos relacionados à formação de perfis lateríticos, em clima mais úmido e quente, os quais preservam a morfologia dos morros e colinas na porção centro-norte da serra; a presença de paleopavimentos, como linhas de pedra contendo seixos de crostas ferruginosas, inumando os paleovales, documenta fases erosivas mais agressivas de recuo das encostas, em clima mais seco com chuvas concentradas, e sedimentação restrita; a deposição dos sedimentos nas áreas de planícies, iniciou-se pelo menos 3.822 anos AP. A pobreza de seleção, o domínio de grãos subangulosos a arredondados e de baixa a moderada esfericidade, são características que confirmam a fonte próxima e transporte sob alta energia;

- As variações das formas (planícies intravales, morros e colinas residuais) e os diferentes níveis altimétricos (variando de 575 a 1.100 metros) - determinado pelo comportamento diferencial do substrato frente às mudanças climáticas, os ciclos erosivos e a sedimentação restrita – constituíram a base da estruturação das unidades da paisagem atual no topo da serra Tepequém. Devido às diferenças altimétricas, no topo da serra Tepequém, não é adequado designar a morfologia desta, como do tipo tabular, a semelhança dos *tepuis* localizados na savana venezuelana, a exemplo do monte Roraima;

- Os solos e sedimentos coluvionares das planícies intermontanas são arenosos, com predomínio da textura areia fina, com baixos teores de silte e argila, e pobres em matéria orgânica, indicativo da natureza arenosa das rochas do substrato; o aumento gradativo da densidade do solo do topo para a base dos perfis, como era de se esperar, diminui os percentuais de porosidade e define um caráter mais coeso com a formação de *hardpan*, a exemplo do perfil de solo da voçoroca Morro da Antena (VM);
- A mineralogia dos solos e sedimentos coluvionares mostrou-se homogênea com predomínio de quartzo, e secundariamente de muscovita que ocorre em plaquetas incoesas e caulinita que é parte da matriz e envolve parcialmente os grãos de quartzo. Além desses minerais, são encontradas gibbsita, goethita e hematita em perfis lateríticos e fragmentos destes, nas linhas de pedra. Esta composição mineralógica reflete as características do material de origem, lateritos, e, sobretudo, arenitos da Formação Tepequém;
- Devido a grande abundância de quartzo, os solos e sedimentos coluvionares mostram enriquecidos em  $\text{SiO}_2$ , com baixos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  refletindo a pequena participação da caulinita. Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$ , sobretudo, nos perfis saprolíticos são dados pela presença de muscovita. Os maiores valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos na linha de pedra, intimamente indicavam fragmentos das crostas lateríticas; refletindo os minerais oxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita);
- O cenário atual no topo da serra Tepequém é marcado por dutos (pipes), que evoluem para áreas de abatimento (dolinas), por conseguinte para voçorocas. O processo erosivo foi condicionado pela natureza arenosa e incoesa dos solos, ricos em plaquetas de muscovita, aliado ao paleo-relevo inclinado e às falhas e fraturas que seccionam o substrato;
- A ação antrópica representada, principalmente, pela atividade garimpeira diamantífera, conseguiu modificar parcialmente a paisagem aluvial, no entanto, não foi a principal responsável pela formação das feições erosivas lineares representadas pelas voçorocas, que antecede a atividade garimpeira. O aumento da umidade e o abandono da atividade do garimpo permitiram o rápido avanço das matas ciliares, como demonstraram as imagens dos últimos 22 anos. Também foi observado o desenvolvimento de núcleos arbustivos nas áreas de abatimento (dolinas) e taludes de voçorocas, indicativo de possível estabilização;

- Portanto, as paisagens da serra Tepequém, revelam um cenário complexo, diversificado que representa um conjunto de processos que atuam desde o Proterozóico. O cenário atual é marcado pela intensa atividade erosiva na forma de feições lineares (voçorocas), além de áreas de abatimento (dolinas). Estas feições imprimem mudanças na paisagem e, portanto, a formação de novos cenários.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, União da Geomorfologia Brasileira. São Paulo, Ano 4, n.2, p.51-67. 2003.
- AB' SABER, A. N. Domínio morfoclimático e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, São Paulo, IGEO/USP, n.3, p.45-48. 1967.
- AB' SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço de pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, IGEO/USP, n.18, p.1-23. 1969.
- ACTLABS. **Group Website Canadian Schedule of Services and Fees**. 2000. Disponível em: <http://www.actlabscom/docs/service%20guide%20-%20canada%20-oweb.pdf>> Acesso em: 16 nov. 2005.
- ALMEIDA FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, n. 79, p. 42-50. 2002.
- AUGUSTIN, C. H. R.; ARANHA, P. R. A. Pipings em áreas de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, Ano 7, n.1, p.9-18. 2006.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul, São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, n.22, p.222-227. 1994.
- BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.195-227.
- BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETTO, A. L.; ACERDA, W. Fatores condicionantes do voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Maracujá, Ouro Preto – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais..**, Goiânia: ABGE, 2001. p. 120-121.



BARBOSA, O.; RAMOS, J. R. A. **Território do Rio Branco**: aspectos principais da geomorfologia, da geologia e das possibilidades minerais de sua zona setentrional. Rio de Janeiro: IBGE, 1959. 49 p.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.

BARROS, N. C. C. **Roraima paisagens e tempo da Amazônia Setentrional**. Recife: UFPE, 1995. 142 p.

BEAVIS, S. G. Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-western New South Wales, Australia. **Geomorphology**, n.33, p.59-72. 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4.ed., São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Global. Esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo, n.13, p. 1-27. 1971.

BESERRA NETA, L. C.; COSTA, M. L.; BORGES, M. S. A planície intermontana Tepequém, Roraima, e sua vulnerabilidade erosiva. In: ROSA-COSTA, L. T.; KLEIN, E. L.; VIGLIO, E. P. (Eds.) **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG - Núcleo Norte, 2007. v.5, p.89-100.

BILLI, P.; DRAMIS, F. Geomorphological investigation on gully erosion in the Rift Valley and the northern highlands of Ethiopia. **Catena**, n.50, p.353-368. 2003.

BORGES, F. R.; D'ANTONA, F. J. G. **Projeto estudo dos garimpos brasileiros**: área Roraima. Manaus: CPRM, 1984, 59 p. (Relatório Técnico).

BORGES, F. R.; D'ANTONA, F. J. G. Geologia e Mineralizações da serra Tepequém-RR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. **Anais..**, Belém: SBG, 1998. p.155-163.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 428 p.

BRICEÑO, H. O.; SCHUBERT, C. Geomorphology of the Gran Sabana, Guayna Shield, southeastern Venezuela. **Geomorphology**, n.3, p.125-141. 1990.

BRYAN, R. B.; JONES, J. A. A. A. The significance of soil piping processes: inventory and prospect. **Geomorphology**, n.20, p.209-217. 1997.

CANIL, K. et al. Mapa de feições erosivas lineares do estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 5., 1995, Bauru, **Anais...**, Bauru: ABGE, 1995. p.249-251.

CERDA, A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolívia. **Soil and Tillage Research**, n.57, p.159-166. 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da . **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.93-148.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, n.2, p.69-100, 2003.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil **Roraima Central**. Folha NA.20-X/NA.21-V, Roraima, Manaus: CPRM, 1999. Escala 1:500 000 1 CD Rom.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. **Dados pluviométricos da serra do Tepequém entre 1997-2006**. Manaus: CPRM, 2005, 4 p. (planilha).

COSTA, J. A. V. **Tectônica da região nordeste do Estado de Roraima**. 1999. 315 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geologia e geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

COSTA, J. B. S.; REIS, N. J. ; PINHEIRO, S. da S. ; PESSOA, M. R. Organização litoestrutural do Mesoproterozóico do extremo norte do Estado de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém, **Anais..**, Belém: SBG, Núcleo Norte, 1991. p.172-192.

COSTA, J. B. S. et al. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, n.4, p. 23-44. 1996.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, n.21, p. 146-160. 1991.

CRANE, R. B. Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor variability in multispectral scanner data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7., 1971, Michigan. **Proceedings**. Michigan: Environment Research Institute, 1971. p.1345-1355.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 106 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4.ed., Campinas: IG/UNICAMP, 2002. 170 p.

DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (Ed.) **Geomorphology and soils**, p. 99-120. 1985.

DEZZEO, N. et al. Changes in soils properties and vegetation characteristics along a forest-savanna gradient in southern Venezuela. **Forest Ecology and Management**, n.200, p.183-193. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

FACINCANI, E. M.; CAVALHEIRO, F. Boçorocas: Aspectos da reabilitação por revegetação na região de São Pedro, SP. **Geociências**, São Paulo, n.14, p. 269-275. 1995.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos**: com ênfasis em suelos de América Latina. IICA: Costa Rica, 1984. 398 p.

FARIFTEH, J.; SOETERS, R. Factors underlying piping in the Basilicata region, southern Italy. **Geomorphology**, n.26, p.239-251. 1999.

FERNANDES FILHO, L. A. Estratificação da serra Tepequém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. v.1, p.199-210.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, n.27, p.3-27. 1957.

FRAGA, L. M. B.; REIS, N. J.; PINHEIRO, S. S. Serra Tepequém: uma estrutura relacionada à inversão da Bacia Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú, **Anais...**, Camboriú: SBG, 1994 a. p.294-295.

FRAGA, L. M. B.; REIS, N. J., PINHEIRO, S. S. Arranjo Estrutural do Segmento Sul do Bloco Pacaraima, Estado de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém, **Anais...**, Belém: SBG, Núcleo Norte, 1994 b. p.7-9.

FRANCO, E. M. S.; DEL'ARCO, J. O., RIVETTI, M. Geomorfologia da folha NA.20 Boa Vista. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. p.139-180.

GOULART, R. M. et al. Caracterização de sítios e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas. **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p.68-79. 2006.

GUERRA, A. T. **Estudo Geográfico do Território Federal de Roraima**. Rio de Janeiro: IBGE, 1957. 252 p.

GUERRA, A. J. T. Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 4., 1991, Porto Alegre, **Anais..**, Porto Alegre: 1991. p.260-266.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Eds.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.149-209.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. Geomorfologia e unidade de paisagem. In: \_\_\_\_\_. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 93-149.

GUERRA, A. J. T.; OLIVEIRA, M. C. A influência dos diferentes tratamentos dos solos, na seletividade do transporte de sedimentos: um estudo comparativo entre duas estações experimentais. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 6., 1995, Goiânia, **Resumo dos trabalhos**. Goiânia: 1995. p. 455-458.

GUTIERREZ, M. et al. Quantitative study of piping processes in bandland areas of the Ebro Basin, NE Spain. **Geomorphology**, n.20, p.237-253. 1997

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1990, Belo Horizonte. **Anais..**, Belo Horizonte: SBG/MG, 1990. p.1-31.

HASUI, Y. et al. Aspectos estruturais e neotectônicos na formação de boçorocas na região de São Pedro, SP. **Geociências**, São Paulo, v.14, n.2, p.59-76. 1995.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, v. 51, p.2246-2259. 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta plani-altimétrica vila Tepequém** - Folha NA.20-X-A-III-MI-25. Rio de Janeiro, 1983. Escala 1:100.000

LANDIS, J. R.; KOCH, C. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometric**, n.33, p.159-174. 1977.

LEMOS, A.; SANTOS, P. B. **Manual de descrição e coleta de solos em campo**. Campinas: SBCS/SNLCS, 1996. 46 p.

LORENZI, H. **Plantas daninhas no Brasil terrestre, aquáticas, parasitas atóxicas e medicinais**. Nova Odessa, SP: H. Lanzi, 1982. 425 p.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6.ed., Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2006. 339 p.

LUIZÃO, F. J.; LUIZÃO, R. C. C. Matéria orgânica do solo em Roraima. In. BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997, p. 363-379.

MAÇAL, M. dos S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.2, p.1-16. 2003.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **R. RA'EGA**, Curitiba, n.8, p.83-91, 2004.

MELO, A. F. F. et al. **Projeto Molibdênio em Roraima**. Manaus: DNPM/CPRM, 1978. v.6, 83 p. (Relatório final).

MELO, V. F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: áreas indígenas maloca do Flexal e de colonização do Apiaú**. 2002. 145 f. Tese. (Doutorado em Solos) Programa de Pós-Graduação em solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. Características edafológicas dos solos do Estado de Roraima. Boa Vista: UFRR. 2003. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa, 28 p.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: Geografia Humana?** São Paulo: Contexto, 2001, 71p.



MONTALVÃO, R. M. G. et al. Geologia da folha NA.20 Boa Vista. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. v.8, p.15-135.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. New York: Oxford University Press, 1989. 332 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed., Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaïsse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.28, p.1055-1062. 2004.

MUNSELL COLORS COMPANY. **Munsell soil colors charts**. Baltimore: [s.n.], 2000

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Bulletin Geological Society of America**, n.87, p.1463-1469. Oct. 1976.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-99.

PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. T. Desenvolvimento de incisão erosiva (voçoroca) descontínua e desconectada da rede hidrográfica em área de cabeceira de drenagem: o caso da colônia Quero-Quero (Palmeira-PR). **Revista Brasileira de Geociências**. n.31, p.51-58. 2001.

PINHEIRO, S. S.; REIS, N. J.; COSTI, H. T. 1990. **Geologia da região de Caburaí**: Nordeste de Roraima. Manaus: DNPM/CPRM, 1990. 91p. (Relatório final).

POESEN, J.; GOVERS, G. Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I. D. L.; DEARING, J. A. **Soil Erosion on Agricultural Land**. [S. l.]: John Wiley & Sons Ltd, 1990. p.513-530.

POESEN, J. et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, n.50, p.91-133. 2003.

QUEIROZ NETO, J. P. Pedologia: conceitos, métodos e aplicações. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.3, p.95-102. 1984.

REIS, N. J.; CARVALHO, A. S. Coberturas sedimentares do mesoproterozóico do estado de Roraima - Avaliação e discussão de seu modo de ocorrência. **Revista Brasileira de Geociências**. n.26, p. 217-226. 1996.

REIS, N. J.; FARIA, M. S. G.; FRAGA, L. M. B. Orosirian calc-alkaline volcanism and the Orocaima event in the Northern Amazonian Craton, Eastern Roraima State, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 30, n. 3, p. 380-383. 2002.

REIS, N. J.; FARIA, M. S. G.; MAIA, M. A. M. O quadro Cenozóico da porção norte-oriental do Estado de Roraima. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (Eds.) **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG - Núcleo Norte, 2002. v.3, p.259-272.

RESENDE, M.; CURI N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. de. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 192 p.

RIENKS, S. M.; BOTHA, G. A.; HUGHES, J. C. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. **Catena**, n.39, p.11-31. 2000.

ROSS, J. L. S. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, FFLCH-USP, n.9, p.65-76. 1995.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7 ed. São Paulo: Contexto, 2003. 84 p.

RUHE, R. V. **Geomorphology: geomorphic process and superficial geology**. Boston: Houghton Mifflin, 1975. 246 p.

SANDER, H. The porosity of tropical soils and implications for geomorphological and pedogenetic processes and the movement of solutions within the weathering cover. **Catena**, n.49, p.129-137. 2002.

SANTORO, J.; FULFARO, V. J. Estudos geotécnicos em boçoroca na cidade de São Pedro, São Paulo (SP). **Revista de Geociências**, São Paulo, n.17, p.55-62. 1996.

SANTOS, J. O. S. et al. Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology. **Bulletin Geological Society of America**, n.115, p.331-348, Mar. 2003.

SAUER, C. O. A morfologia da Paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHI, Z. (Org.) **Paisagem, Tempo e Cultura**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 1998. p.12-74.

SARAH, P. Soil aggregation response to long-and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions. **Geomorphology**, n.70, p.1-11. 2005.

SCHAEFER, C. E. R.; DALRYMPLE, J. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. **Geoderma**, n.71, p. 1-17. 1996.

SCHAEFER, C. E. R.; VALE JÚNIOR, J. F. Mudanças climáticas e evolução das paisagens em Roraima: uma resenha do cretáceo ao recente. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA. 1997. p.231-296.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **R. RA'EGA**, Curitiba, UFPR, n.7, p.79-85. 2003.

SERRUYA, N. M. Pedologia. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Zoneamento ecológico-econômico da região central do Estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2002. tomo II, p. 35-51.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt clay ratio. **J. Sediment Petrology**, n. 24, p.151-158. 1954.

SILVA, E. L. S. A vegetação de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA. 1997. p.400-415.

SILVA, T. P. et al. A influência de aspectos geológicos na erosão linear – médio-baixo vale do Ribeirão do Secretário, Paty do Alferes – Rio de Janeiro. **Geosul**, Florianópolis, v.18, n.36, p.131-150. 2003.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias geomorfológicas**, Campinas, n. 16, p.71-104. 1976.

SOBRINHO, J. F. **Relevo e Paisagem**: Proposta metodológica. Sobral: Sobral gráfica, 2007.108p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin Geological Society of America**. n.63, p. 1117-1142. 1952

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317 p.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology**: introduction to the study of landforms. Longman Scientific & Technical, 1991. 537 p.

TAVARES JÚNIOR, S. S. **Utilização de imagens de Sensoriamento Remoto, Dados Aerogeofísicos e de Técnicas de integração digital para o estudo geológico do Norte do Estado de Roraima-Brasil**. 2004. 226f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

TAVARES JÚNIOR, S. S. et al. Processamento de Imagens CBERS-2 e SAR/SIPAM no estudo de estruturas tectônicas e de feições erosivas lineares na Serra do Tepequém – Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém, **Resumo expandido**, Belém: SBG/Núcleo Norte, 2006. 1 CD Rom. p.1-4

THORNES, J. B. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion**. John Wiley, 1980. p.158-167.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. p.59-63.

TRICART, J. A Geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n.34, p.15-42. 1976.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, Diretoria Técnica, 1977. 91 p.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: impacts, factors and control. **Catena**, n. 942, p.1-22, 2005.

VANDEKERCKHOVE, L. et al. Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments. **Geomorphology**, n.33, p.37-57. 2000.

VELOSO, H. P. et al. Vegetação da folha NA.20 Boa Vista In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. v.8, p.307-403.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982. 54 p.

XU, J. X. Benggang erosion: the influencing factors. **Catena**, n.27, p.249-263, 1996.