

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ALEXANDRE ISERNHAGEN

**CADASTRO DE FEIÇÃO EROSIVA LINEAR UTILIZANDO
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) E CAD:
SUBSÍDIOS PARA SUA CARACTERIZAÇÃO E PROJETO DE
CONTROLE.**

ORIENTADORES: PROF.DR.KURT JOÃO ALBRECHT

PROF.DR.JOSÉ AFONSO GONÇALVES MACEDO

Campina Grande (PB)
Abril de 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ALEXANDRE ISERNHAGEN

**CADASTRO DE FEIÇÃO EROSIVA LINEAR UTILIZANDO
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) E CAD:
SUBSÍDIOS PARA SUA CARACTERIZAÇÃO E PROJETO DE
CONTROLE.**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Campina Grande como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental,
área de concentração em Geotecnia.

ORIENTADORES: PROF.DR.KURT JOÃO ALBRECHT
PROF.DR.JOSÉ AFONSO GONÇALVES MACEDO

Campina Grande (PB)
Abril de 2003



I78c Isernhagen, Alexandre
Cadastro de feicao erosiva linear utilizando sistema de posicionamento global (GPS) e CAD : subsidios para sua caracterizacao e projeto de controle / Alexandre Isernhagen. - Campina Grande, 2003.
88 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

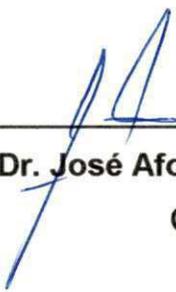
1. Erosao 2. Solo 3. Erosao - GPS 4. Erosao - Cadastro 5. Dissertacao I. Albrecht, Kurt Joao II. Macedo, Jose Afonso Goncalves III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Titulo

CDU 631.6.02(043)

**CADASTRO DE FEIÇÃO EROSIVA LINEAR UTILIZANDO SISTEMA DE
POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) E CAD: SUBSÍDIOS PARA SUA
CARACTERIZAÇÃO E PROJETO DE CONTROLE**

Alexandre Isernhagen

DISSERTAÇÃO APROVADA POR:



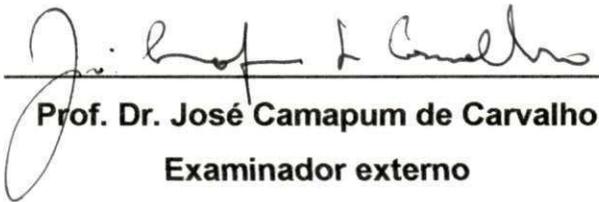
Prof. Dr. José Afonso Gonçalves de Macêdo
Orientador



Prof. Dr. Kurt João Albrecht
Orientador



Prof. Dr. Wilson Conciani
Examinador interno



Prof. Dr. José Camapum de Carvalho
Examinador externo

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL DE 2003

Agradecimentos

Márcio Lara Pinto, pela gentileza da recomendação para o mestrado.

Wilson Conciani, pela enorme paciência e dedicação ao curso.

Kurt João Albrecht, pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

Afonso, pelos conselhos e polida final no trabalho.

Colegas do curso, em especial à Fabiane, Izabel, Patrícia e Uilací.

Karen e Elton, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Neto, também pela ajuda nos trabalhos de campo.

Viviane, pela paciência e incentivo durante todo o curso.

Ingo, pela ajuda e apoio.

Vecchiato e Ximenes, pelos conselhos e apoio.

Eric Clapton e à cafeína, por manterem-me acordado quando vinha o sono.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1	O SOLO	5
3.1.1	<i>A caracterização física do solo</i>	6
3.1.2	<i>As classificações de solos</i>	7
3.2	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE EROÇÃO	9
3.3	AGENTES, PROCESSOS E FATORES CONDICIONANTES DA EROÇÃO	12
3.4	A EROÇÃO LINEAR	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E HISTÓRICO DA BOÇOROCA	22
4.1.1	<i>Caracterização da região da erosão</i>	22
4.1.2	<i>Histórico da boçoroca</i>	24
4.2	CONCEPÇÃO METODOLÓGICA	24
4.3	MATERIAIS	27
4.4	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	28
4.4.1	<i>Reconhecimento prévio e planejamento dos trabalhos de campo</i>	28
4.4.2	<i>Levantamento plani-altimétrico e cadastral da erosão e seu entorno</i>	29
4.4.3	<i>Caracterização de solos</i>	30
4.4.4	<i>Caracterização de rochas interceptadas</i>	31
4.4.5	<i>Identificação dos mecanismos atuantes na boçoroca</i>	31
4.4.6	<i>Presença de água</i>	32
4.4.7	<i>A manipulação e integração dos dados em ambiente CAD</i>	32
4.5	DETERMINAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA VERTENTE À EROÇÃO LINEAR	34
4.6	CRITÉRIOS PARA A COMPARTIMENTAÇÃO DA BOÇOROCA	36
4.6.1	<i>Compatimentação de acordo com a seção transversal</i>	37
4.6.2	<i>Compatimentação de acordo com o regime de águas sub-superficiais e superficiais</i>	37
4.6.3	<i>Compatimentação de acordo com a interceptação de solos e rochas</i>	39
4.6.4	<i>Compatimentação de acordo com os mecanismos erosivos predominantes</i>	41
4.7	CRITÉRIOS PARA SUGESTÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE DA BOÇOROCA	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA VERTENTE	45
5.2	GEOMETRIA E ESTATÍSTICAS DA BOÇOROCA	50
5.3	COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM AS SEÇÕES TRANSVERSAIS	56
5.4	COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM O REGIMES DE ÁGUA NA BOÇOROCA	59
5.5	COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM OS SOLOS E ROCHAS INTERCEPTADOS PELA BOÇOROCA	61
5.5.1	<i>Considerações sobre os limites entre coberturas pedológicas</i>	61
5.5.2	<i>Compatimentação de acordo com solos e rochas interceptados</i>	62
5.6	PRINCIPAIS MECANISMOS ATIVOS NA BOÇOROCA	64

6	COMPARTIMENTAÇÃO FINAL INTEGRADA DA BOÇOROCA E SUGESTÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE APLICÁVEIS	67
6.1.1	<i>Compartimento I – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>69</i>
6.1.2	<i>Compartimento II – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>70</i>
6.1.3	<i>Compartimento III – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>71</i>
6.1.4	<i>Compartimento IV – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>72</i>
6.1.5	<i>Compartimento V – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>73</i>
6.1.6	<i>Compartimento VI – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>74</i>
6.1.7	<i>Compartimento VII – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>75</i>
6.1.8	<i>Compartimento VIII – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>76</i>
6.1.9	<i>Compartimento IX – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>77</i>
6.1.10	<i>Compartimento X – características e soluções para controle sugeridas</i>	<i>78</i>
7	CONCLUSÕES.....	79
8	SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	81
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
9.1	BIBLIOGRAFIA CITADA	82
9.2	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	86

Lista de figuras

Figura 1 – Representação esquemática das etapas de trabalho do roteiro metodológico.	26
Figura 2 – Planta de uso e ocupação da vertente.	46
Figura 3 – Vista panorâmica da vertente.	49
Figura 4 – Vista frontal da vertente e da boçoroca.	49
Figura 5 – Vista frontal da boçoroca, com posição do antigo leito da rodovia BR 163.	49
Figura 6 – Planta e corte longitudinal da boçoroca.	52
Figura 7 – Seção transversal 1.	53
Figura 8 – Seção transversal 2.	53
Figura 9 – Seção transversal 3, contendo trecho preservado da rodovia	53
Figura 10 – Seção longitudinal 4, ruptura substrato rochoso.	53
Figura 11 – Seção transversal 5.	54
Figura 12 – Seção transversal 6.	54
Figura 13 – Seção longitudinal 7, ruptura substrato rochoso.	54
Figura 14 – Seção transversal 8.	54
Figura 15 – Região degradada a montante da erosão, observando-se formação de crostas e sulcos	55
Figura 16 – Região degradada a esquerda da erosão, com formação de crostas e ravinamento	55
Figura 17 – Região degradada a esquerda da erosão, com alcovas de regressão na bora da boçoroca	55
Figura 18 – Região degradada a esquerda da erosão, vendo-se material transportado da vertente	55
Figura 19 – Ravina ativa conectada à boçoroca, a jusante da região degradada	55
Figura 20 – Trecho remanescente do traçado antigo da rodovia BR 070, a montante da erosão	55
Figura 21 – Trecho remanescente do traçado abandonado da rodovia BR 070, próximo ao Rio	55
Figura 22 – Conexão da erosão ao Rio das Mortes.	55
Figura 23 – Planta da boçoroca e sua compartimentação conforme formato das seções transversal.	58
Figura 24 – Planta da boçoroca e compartimentação de acordo com regimes de águas no seu interior.	60
Figura 25 – Planta da boçoroca e compartimentação de acordo com solos e rochas interceptados.	63
Figura 26 – Planta da boçoroca e compartimentação conforme o mecanismo erosivo predominante.	66
Figura 27 – Compartimentação final integrada da boçoroca.	68

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação das propriedades físicas do solo. Adaptado de KÉZDI (1974).	6
Tabela 2 – Principais mecanismos atuantes no boçorocamento. Sintetizado de OLIVEIRA (1999)	21
Tabela 3 – Classes de suscetibilidade da vertente à erosão linear. Adaptado de SALOMÃO (1999)	35
Tabela 4 – Estatísticas da vertente.	48
Tabela 5 – Estatísticas gerais da boçoroca.	56

Lista de fichas

Ficha 1 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho I da boçoroca.	69
Ficha 2 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho II da boçoroca.	70
Ficha 3 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho III da boçoroca.	71
Ficha 4 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho IV da boçoroca.	72
Ficha 5 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho V da boçoroca.	73
Ficha 6 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VI da boçoroca.	74
Ficha 7 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VII da boçoroca.	75
Ficha 8 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VIII da boçoroca.	76
Ficha 9 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho IX da boçoroca.	77
Ficha 10 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho X da boçoroca.	78

Resumo

A diversidade dos fenômenos e sobreposição de variáveis ligados à gênese e evolução dos processos erosivos lineares, que se dividem em regiões de estágios evolutivos e comportamentos distintos ao longo da encosta, tornam complexa a escolha e implantação de medidas para seu controle. Este trabalho pretende contribuir ao conhecimento e caracterização de feições erosivas e seus diferentes trechos com a elaboração de cadastro técnico integrado, reunindo, de maneira sistematizada e hierarquizada, informações suficientes para a compreensão do processo e implantação de medidas de controle. Os levantamentos de campo, considerando a feição erosiva e a vertente que a contém, utilizaram coletores de dados e sistema GPS. As informações obtidas foram transferidas para o ambiente CAD, georeferenciadas e classificadas por assuntos. Para a erosão estudada considerou-se, nas análises, a forma do perfil transversal, presença de surgências e fluxos de água, classes de solos e rochas interceptados e mecanismos erosivos predominantes, que formaram planos de informações. A feição foi compartimentada de acordo com a variação espacial de cada uma dessas características. A seguir, fez-se a integração desses trechos, sobrepondo os planos de informações individuais. Essa integração formou novo plano de dados, que subsidiou a compartimentação final integrada da feição erosiva. A metodologia permitiu a classificação da vertente e a compreensão da dinâmica e estágio evolutivo de cada trecho da erosão, a escolha dirigida de medidas de controle adequadas por compartimento, e forneceu subsídios para a quantificação das obras e serviços necessários para seu controle.

Palavras-chave: Erosão, Solo, Erosão-GPS, Erosão-cadastro.

1 INTRODUÇÃO

O interesse na prevenção e controle do fenômeno erosão, considerando a importância do solo como suporte da vida, transcende a simples preocupação ambiental. As consequências negativas da instalação de feições erosivas lineares, principalmente, vão além da alteração das características hidrológicas locais, vez que causam prejuízos à ciclagem de nutrientes, perda de solos férteis, instabilidade de encostas, alteram a qualidade da água, assoreiam cursos de rios, prejudicam estradas e benfeitorias, diminuem as áreas cultiváveis, põem em risco edificações, dentre outras. A economia local, assim, considerados os custos com a perda quantitativa e qualitativa de superfície agricultável e de recuperação de solos e corpos d'água degradadas, pode ser seriamente impactada se não for encarado o assunto com a preocupação necessária.

O boçorocamento é, dos processos erosivos, o de maior impacto visual e complexidade na sua dinâmica. A compreensão da sua gênese e evolução necessita de conhecimentos da geologia, geotecnia e hidráulica, e outros ramos da ciência. Seu ambiente de desenvolvimento envolve erosão superficial, erosão subterrânea, movimentos de massa que resultam em solapamentos e desmoronamentos de taludes, e alterações no comportamento das águas sub-superficiais.

A implantação de medidas preventivas e corretivas para estancar a degradação decorrente da erosão necessita de correta caracterização da situação instalada. As feições erosivas lineares, pela multidisciplinaridade de suas origens e evolução, exigem o conhecimento, ainda que mínimo, das suas características para o adequado tratamento. A escolha e dimensionamento de obras de engenharia de controle de ravinas e boçorocas depende da sua caracterização, passando por estudos que revelem as causas de sua gênese, os fatores que levaram à sua evolução, a identificação dos solos e rochas afetados e a amplitude do fenômeno.

Como ferramenta de identificação de feições erosivas lineares utiliza-se o seu cadastro, reunindo, de forma sistematizada, as informações necessárias à compreensão do fenômeno no todo. Reune-se o seu histórico de formação, conformação plani-altimétrica, e parâmetros geológicos e geotécnicos mínimos das rochas e solos afetados ou que têm influência direta com a evolução da boçoroca.

Entretanto, pela sua própria dinâmica, a boçoroca divide-se em trechos com estágios evolutivos e comportamentos distintos diante das ações dos agentes erosivos. Desta forma, a depender das características dos solos interceptados, da ocorrência de águas sub-superficiais e da própria dimensão da erosão, por exemplo, a realização de estudos complementares e implantação de medidas corretivas e edáficas podem ser distintos e distribuírem-se espacialmente.

Para contornar essa diversidade de situações, permitindo conhecimento preliminar do problema, levantamentos de campo podem ser atualmente realizados com equipamentos de GPS, e a manipulação dos dados feita em ambiente CAD.

Essa coleta de dados com os recursos do GPS, e seu tratamento em ambiente CAD permitem, com adequada utilização da tecnologia, planejamento e hierarquização das informações, colher características e compartimentar a boçoroca nesses seus trechos distintos. O primeiro agiliza os trabalhos e propicia levantamento suficientemente detalhado da feição erosiva e do seu entorno, formando planos de dados relativos à sua geometria, solos, mecanismos, rochas, presença de água e outras informações relevantes ao seu conhecimento. O ambiente CAD, com os recursos de sobreposição desses diversos planos, torna possível dividir e estudar a erosão em trechos de características semelhantes.

Utilizando-se do sistema GPS para o geo-referenciamento e levantamento planimétrico, e ferramenta CAD para integração dos dados, este trabalho propõe metodologia de cadastro preliminar integrado de feição erosiva linear. A geometria, os solos interceptados, os mecanismos erosivos atuantes e a presença de águas sub-superficiais e superficiais na feição erosiva são localizados e manipulados. Forma-se base de dados para o conhecimento superficial do problema, permitindo direcionamento de estudos complementares e escolha racional de possíveis medidas de controle de cada trecho da erosão.

Consolida-se, com o levantamento preliminar proposto, arcabouço suficiente para escolha de metodologias mais elaboradas de coleta de informações, aplicação de ferramentas mais robustas de manipulação de dados, como SIGs, além de permitir a formulação de projeto básico de engenharia para controle e recuperação da erosão.

O cadastro proposto é aplicado em boçoroca instalada nas cabeceiras do Rio Manso, município de Campo Verde (MT). Com baixo custo e rapidez, a feição erosiva teve os solos interceptados, perfil, presença de águas sub-superficiais e superficiais e mecanismos predominantes georeferenciados e localizados com GPS, e os dados integrados em ambiente CAD.

O trabalho apresenta uma fundamentação teórica ampla e genérica, alicerçada em escassa bibliografia disponível nas bases de dados de Cuiabá (MT).

Importante registrar o fato, pois o limitado acesso a estudos recentes e específicos do tema erosão resultou, certamente, na omissão de importantes títulos e autores.

Em seguida, e em detalhes, os materiais e procedimentos adotados no desenvolvimento dos trabalhos são descritos. Os resultados da coleta e tratamentos dos dados são expostos na forma de breves relatos e croquis georeferenciados.

A compartimentação integrada é apresentada em capítulo próprio, na forma de fichas de cadastro de cada trecho. Nelas as características determinantes dos compartimentos são resumidas, estudos complementares são sugeridos e medidas de controle são elencadas a título de sugestão para projeto de engenharia de controle da boçoroca.

As conclusões do trabalho elencam e criticam os resultados obtidos com a metodologia de cadastro proposta. Finalmente, sugerem-se estudos complementares, visando seu aperfeiçoamento e adequação a situações diversas de estudos de casos.

2 OBJETIVOS

A pesquisa visa o cadastro preliminar de feição erosiva linear, aplicando metodologia que permite a integração de informações acerca de suas características e comportamentos, e compartimentação conforme critérios escolhidos.

De forma particular o estudo pretende, utilizando equipamento GPS e software de CAD, para feição erosiva linear instalada em encosta:

- determinar e localizar as suas características geométricas;
- localizar águas superficiais e sub-superficiais presentes no seu interior;
- identificar e localizar os solos e rochas interceptados;
- identificar e localizar os principais mecanismos erosivos presentes;
- integrar os dados colhidos;
- compartimentar a erosão de acordo com as informações disponíveis;
- relacionar sugestões de estudos complementares e possíveis medidas de controle da erosão, para cada compartimento determinado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O SOLO

A expressão solo compreende uma variedade de materiais com propriedades e partes constituintes diversas. Para o leigo, define a camada superficial da Terra que se desagrega com o uso de ferramentas manuais ou simplesmente com as mãos. O engenheiro agrônomo considera solo como sendo a camada de material onde predominam as atividades orgânicas e se desenvolve a vida vegetal. Também para o geólogo o solo é a capa superficial do planeta, relativamente delgada e inconsolidada, onde se desenvolvem as raízes dos vegetais. O engenheiro civil amplia a definição de solo aos materiais terrosos, orgânicos e inorgânicos, que se encontram imediatamente acima do manto rochoso da Terra.

Em pedologia, segundo BIRKELAND¹, citado por Salomão & Antunes (1998), o solo é "material natural consistindo de camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológicas, e por características biológicas. Os horizontes do solo são inconsolidados, mas alguns possuem suficientes porções de sílica, carbonatos ou óxidos de ferro para cimentá-los."

No campo de interesse da engenharia civil, o solo constitui um conjunto de partículas com água e/ou ar nos espaços inter-granulares, com variável liberdade para deslocarem-se entre si, podendo ocorrer ligeira cimentação entre os grãos.

O comportamento do solo, sob a óptica da mecânica, assemelha-se àquele considerado pela Mecânica dos Sistemas Particulados. Observe-se que, no estudo do comportamento de maciços de solos, as soluções aplicadas lançam mão das teorias da Mecânica dos Sólidos Deformáveis. (PINTO, 2000)

¹ BIRKELAND, P.W. 1974. *Pedology, weathering, and geomorphological research*. Boulder: Department of Geological Sciences, University of Colorado. 285p.

A geologia aplica conceito semelhante ao da engenharia civil quando trata de diferenciar solos de rochas. Ela considera o material inconsolidado como solo quando ele tiver experimentado em sua história de formação apreciável intemperização. Caso contrário, a geologia conceitua o material, ainda que inconsolidado, como rocha. (VERDADE, 1972)

Os materiais considerados como solo pelas diferentes especialidades da ciência guardam convergência quanto a algumas de suas propriedades. Pelo fato, pode-se defini-lo como sendo um sistema particulado, composto de fases sólida (grãos), líquida (água) e gasosa (ar), originado da intemperização (física e/ou química) de rochas ou de outros solos, situado na camada superficial da Terra e nela distribuída de maneira estratificada (em horizontes), sujeito à ação do clima e dos organismos vivos.

3.1.1 A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

A interação das características do esqueleto sólido do solo – os componentes, tamanho e arranjo de seus grãos –, e da água e do ar nos seus vazios, conferem-lhe características distintas. O entendimento do comportamento do solo depende, portanto, do estudo dos componentes, distribuição granulométrica e arranjo dos grãos da fase sólida, e sua interação com a água e ar que lhe ocupa os espaços inter-granulares. Essa interação sólidos-água-ar é profundamente estudada pela Física dos Solos, cujos resultados são aproveitados pela engenharia civil para classificação e inferência do comportamento mecânico dos maciços de solo, aplicando-os às obras de maneira geral.

As propriedades físicas do solo são distribuídas por KÉZDI (1974) em três grandes grupos, sintetizadas na Tabela 1, e a seguir comentadas. Observe-se que as propriedades listadas e suas aplicações não esgotam o assunto, mas intentam distingui-las de acordo com suas características.

Tabela 1 – Classificação das propriedades físicas do solo. Adaptado de KÉZDI (1974).

GRUPO	PROPRIEDADES FÍSICAS	USOS NA ENGENHARIA
I	Distribuição granulométrica; textura; cor; massa; densidade; quantidade de material orgânico; propriedades químicas.	Classificação e identificação do solo, permitindo aplicação de regras e correlações empíricas.
II	Umidade; índice de vazios; saturação; grau de compactação; limites de consistência; índice de finos.	Índices numéricos que permitem estimar as características mecânicas do solo, considerando a aplicação a ser dada.
IIIa	Resistência mecânica à ruptura.	Estabilidade e capacidade de carga do solo e, por extrapolação, do maciço.
IIIb	Deformação.	Deformações e recalques de obras.
IIIc	Características hidráulicas – permeabilidade, infiltração, condutividade, capilaridade, porosidade	Segurança e estabilidade de obras hidráulicas; adensamento; piping; capacidade de aquíferos.

O primeiro grupo (Grupo I) relaciona-se com as características mineralógicas e com o tamanho e distribuição dos grãos componentes da fase sólida, servindo para a classificação e identificação dos solos em diferentes classes ou grupos por aposição de números índices. Algumas propriedades do solo podem ser associadas às classes ou grupos, mas não devem ser consideradas de maneira generalizada, e sim associadas a outras características para daí estimar-se o seu comportamento. Os ensaios e testes do Grupo I utilizam-se de amostras amolgadas do solo.

O segundo grupo de propriedades físicas (Grupo II) associa números índices ao estado do solo. De grande aplicação na engenharia civil, abrange características como sua umidade, peso específico, limites de Atterberg e outras. Os ensaios e testes deste grupo são realizados com amostras amolgadas de solo.

Estes dois primeiros grupos compreendem as propriedades estáticas do solo, e referem-se às suas características em repouso, com a destruição do arranjo dos grãos e independentemente de influências externas. Os seus resultados normalmente são números índices.

Já o terceiro grupo de propriedades (Grupo III) descreve as propriedades dinâmicas do solo, quais sejam aquelas dependentes, qualitativamente e quantitativamente, das influências externas atuantes durante o ensaio – das condições de contorno. Destes agentes externos, os de maior influência são a carga aplicada e a presença e comportamento da água no seu interior. Os resultados dos testes normalmente envolvem teorias ou relações empíricas que pretendem explicar o comportamento do maciço de solo, extrapolando os resultados obtidos com uso de ferramentas estatísticas. Resistência, deformação e comportamento da água são os parâmetros mais importantes. Utilizam-se amostras indeformadas de solo em ensaios de laboratório, ou ensaios de campo para obtenção dos parâmetros.

3.1.2 AS CLASSIFICAÇÕES DE SOLOS

É inerente aos diversos ramos da ciência a classificação de pessoas, animais, materiais, técnicas, comportamentos e características diversas em grupos ou classes, permitindo a sua investigação e entendimento como conjunto de semelhantes ou de maneira comparada.

O estudo do solo não foge à regra. A extensa quantidade de materiais com características complexas e distintas quanto ao comportamento e propriedades físicas e químicas considerados como solo pelas especialidades da ciência, em particular pela engenharia civil, exige a sua caracterização e classificação, viabilizando assim a aplicação racional da experiência acumulada.

A caracterização faz-se por meio de ensaios e testes, realizados no campo ou em laboratórios, que permitem determinar os componentes minerais e a maneira como se arranjam, os índices físicos, e estimar as características mecânicas, o comportamento da água e outras propriedades do solo.

A classificação do solo depende do objetivo da investigação, do sistema que se está adotando e da quantidade e qualidade dos testes realizados, e permite estimar o seu comportamento e desempenho sob determinadas condições.

A investigação das propriedades físicas do solo obedece à seqüência descrição → caracterização → classificação. O primeiro contato permite sua descrição genérica, obtida por análise táctil-visual. A caracterização do solo dá-se pelos testes e ensaios do material, que lhe definem números índices. A classificação faz-se de acordo com o sistema escolhido. (PASTORE & FONTES, 1998)

As classificações usuais de solos com aplicação na engenharia civil levam em conta o seu estado, baseando-se principalmente nos ensaios de granulometria e limites de Atterberg, e abrangem vasta gama de sistemas. Eles se assemelham quando distribuem os solos em dois grandes grupos, quais sejam os denominados *solos grossos* ou *granulares* e os *solos finos*.

Discute-se a validade dos sistemas de classificação que enquadram os solos de acordo com índices físicos pré-estabelecidos, argumentando acertadamente os críticos contrários que materiais de mesma classe apresentam, não raramente, comportamentos distintos quando em suas condições normais na natureza. Entretanto, mesmo estes que criticam os sistemas não têm outra maneira de sistematizar e detalhar suas considerações, de maneira sucinta, sem recorrer a algum tipo de classificação padronizada do solo. Deve-se ter em mente que um sistema de classificação tão somente é uma ferramenta que permite organizar, num primeiro passo, as características do solo, e orientar os estudos e investigações geotécnicas complementares para obtenção dos parâmetros importantes à finalidade da pesquisa ou projeto. (PINTO, 1998)

Dentre os sistemas de classificação dos solos, o *Sistema Unificado*, originalmente idealizado por Casagrande (PINTO, 2000), encontra largo emprego e referência, como por exemplo: KÉZDI, 1974; LAMBE & WHITMAN, 1974; MACHADO *et al* (a); PASTORE & FONTES, 1998; PINTO, 1998; PINTO, 2000; TAYLOR, 1969; VARGAS, 1977. Deve-se tomar cuidados no seu uso, como exposto por PASTORE & FONTES (1998), pois, como todos os sistemas de classificação, foi concebido para uso em solos em países de clima temperado, e apresenta limitações e incompatibilidades quando aplicado aos solos tropicais.

As classificações genéticas do solo, úteis e complementares às classificações usuais da engenharia civil, permitem interpretar a distribuição e as características do solo nas suas diferentes camadas e em áreas de ocorrência.

(PASTORE & FONTES, 1998; PINTO, 1998). Dividem-se, basicamente, na classificação geológica e na classificação pedológica.

A classificação geológica identifica o solo de acordo com sua origem, aplicando a análise integrada de suas características físicas com observações de campo da morfologia e estratigrafia local. Tais informações, interpretadas pelo observador, permitem o enquadramento do material em determinada classe. Os solos são divididos em *solos in situ* ou *residuais* e *solos transportados*: os primeiros são aqueles resultantes da decomposição de rochas no próprio local onde se encontram; os solos transportados resultam do transporte do seu material por algum agente. Essa classificação é importante ferramenta e, por vezes, carrega informações mais úteis para a engenharia civil que a própria classificação usual pois, por experiência acumulada, permite inferir o comportamento provável dos horizontes do solo.

A classificação pedológica, de grande aplicação na agronomia e ramos correlatos da ciência, divide os solos em categorias distintas de acordo com as características de seu perfil. Considera a distribuição e variação vertical e horizontal dos solos e as suas relações com os demais elementos que constituem o meio, quais sejam o relevo, clima, rocha mater, comportamento hídrico, processos de dinâmica superficial atuantes, fenômenos que contribuem para a evolução do material e os tempos de atuação de cada um destes agentes.

Embora concentre seu interesse nas camadas superficiais, a classificação pedológica dos solos ganha importância na investigação geotécnica pela riqueza de dados que podem ser obtidos com a sua interpretação. Por correlação, é possível estimar o comportamento geotécnico de determinado solo, permitindo também o planejamento e complementação de informações com ensaios.

3.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE EROSIÃO

O homem, desde os primórdios de sua existência, interage com o ambiente à sua volta, modificando-o e transformando-o de acordo com suas necessidades. Uma das conseqüências da capacidade do ser humano para modificar e criar seu próprio ambiente foi o seu crescimento populacional constante. Com o advento das novas tecnologias, em especial as agrícolas, dos últimos 200 anos, altas taxas de expansão demográfica aconteceram. A ocupação do planeta de maneira inconstante e acelerada decorrente da demanda por mais alimentos, sem a implantação de infra-estrutura adequada, contribuiu para vários danos ambientais hoje observados. (BASTOS & FREITAS, 1999). Dentre esses danos ambientais, um dos mais nefastos, pelos prejuízos diretos e indiretos que causa, é a erosão acelerada.

Considera-se erosão como um processo mecânico de modificação e desgaste do terreno, que age na sua superfície e em profundidade. A atuação lenta e contínua dos agentes modeladores do planeta produz alterações sutis na paisagem, perceptíveis após longos períodos de tempo, e definida como *erosão geológica* ou *normal*. A interferência antrópica normalmente acelera o processo – *erosão acelerada* ou *antrópica* –, aumentando sua agressividade e tornando-o visível, resultando numa paisagem degradada. Numa situação limite ocorre perda substancial de solo, removido para os corpos d'água e criando um novo problema, a poluição.

Os efeitos da presença do homem acelerando o processo erosivo não são recentes. Segundo GALETI (1979), a interferência antrópica faz-se notar desde os estágios iniciais da agricultura, em 5.000 AC, aproximadamente, nos vales dos rios Nilo, Tigre e Eufrates. A densidade populacional e, por conseqüência, a área agricultada, eram pequenas. As conseqüências da intervenção aguda no meio físico, por conseguinte, eram recuperadas pela natureza. Além disso, diante da perda de fertilidade de determinada área, o homem simplesmente a abandonava e iniciava o cultivo em nova região, permitindo a recuperação natural das partes por ele degradadas.

A pressão causada pelo aumento populacional e demanda por alimentos transformou a erosão em problema crônico em determinadas regiões do planeta. Empurrada pela necessidade crescente de produção de alimentos, ela está presente de forma invisível, solapando lentamente a capacidade produtiva das regiões agricultadas, ou já se tornou numa ameaça perceptível, visível e conhecida.

Os impactos da erosão acelerada fazem-se sentir inicialmente com a alteração das características físicas e químicas do solo essenciais à agricultura: textura, estrutura, diminuição da disponibilidade de nutrientes e do teor de matéria orgânica, queda da taxa de infiltração e da capacidade de retenção de água. Com o desenvolvimento do processo, o solo passa a sofrer progressiva queda de sua capacidade produtiva. Essa perda de produtividade potencial, entretanto, não se faz sentir imediatamente no rendimento das culturas, pois a utilização da tecnologia pode compensá-la por determinado período. A perda permanente e irreversível causada pela erosão aparece quando ocorre efetiva redução da camada de solo utilizada pelo homem, ou mudanças dramáticas de suas propriedades (LÓPEZ, 1997). Numa situação extrema, ocorre a remoção total da camada superficial do solo, ou a inutilização da área com a formação de feições lineares de porte, impedindo a sua utilização racional para a produção.

A erosão acelerada produz impactos externos à região desgastada. Entre esses prejuízos, toma dimensão mais grave a poluição dos corpos d'água, seja pelo arraste de partículas como pela contaminação por poluentes químicos – fertilizantes

e agrotóxicos. CLARK² *et al* (1985) *apud* Lopez (1997) elenca como principais impactos fora da unidade produtiva, mas dentro de corpos d'água, a perda de valor desses corpos para usos como a recreação; o aumento do custo de manutenção de usinas hidrelétricas; a diminuição da viabilidade de várias formas de vida aquática, pela diminuição de suas fontes de alimentos, esconderijos e lugares para aninhar; o assoreamento das vias de navegação; a redução da capacidade de condução e armazenamento de água dos cursos e reservatórios; e a mudança da estrutura e ecologia dos cursos e corpos d'água. Por sua vez, os principais impactos fora dos corpos d'água relacionam-se ao aumento dos custos de bombeamento, condução e tratamento de água e o aumento da magnitude de inundações.

Importante observar que o efeito externo produzido pela erosão não é, em geral, deliberado ou intencional, mas corresponde a um sub-produto incidental de uma atividade desejada ou necessária à sociedade. Por exemplo, a atividade agrícola ou a construção de uma estrada são atividades desejadas pela sociedade. Entretanto, podem gerar, como sub-produtos, a erosão acelerada do solo, que por sua vez se torna uma fonte de poluição de corpos d'água por sedimentos e elementos químicos. A poluição gerada afeta diretamente outras atividades do homem, aumentando-lhes a quantidade de insumos necessários agregar para produção.

Como afirma SUDO (1998), o processo erosivo revela uma interconexão com outros fatores de ordem natural e humano, influenciando e sendo influenciado por eles na medida que altera, em cadeia, os outros processos da natureza e da sociedade, como o balanço hídrico do solo, o ressecamento dos mananciais, alterações pluviométricas, produtividade agrícola, etc. Sendo um processo do meio físico, mas tendo origem no fator humano ou sendo acelerado por ele, o processo erosivo e suas derivações se inscrevem numa estrutura denominada estrutura físico-antrópica.

Assim, os prejuízos diretos e indiretos conseqüentes da erosão antrópica advém da falta de estratégia na exploração do solo. A sua cobertura vegetal, por exemplo, não é intocável. No entanto, o seu corte decididamente tem de ser precedido de um diagnóstico das condições ecológicas, pedológicas, geomorfológicas e geológicas locais – em suma, é preciso saber antecipadamente o risco inerente à atividade que se quer instalar. Uma vez instalada a erosão, fazem-se necessárias obras que envolvem recursos financeiros e tecnologias capazes de diminuir o efeito do escoamento e seu avanço. Em suma, é necessário fazer um diagnóstico ambiental de uma área antes de nela intervir. A partir do conhecimento das propriedades físicas e químicas dos solos, bem como das características das encostas e regime de chuvas, é possível fazer um prognóstico do que poderá ocorrer, estimar os processos erosivos resultantes e as técnicas

² CLARK, E.H.II; HAVERKAMP, J.A.; CHAPMAN, W. *Eroding soils: the off-farm impacts*. Washington: The Conservation Foundation, 1985. 252p.

conservacionistas necessárias implantar para evitá-los ou, se não, pelo menos minimizá-los. (LIMA-e-SILVA *et al*, 1999).

Em resumo, a erosão é um processo natural de formação da paisagem. A intervenção antrópica tende a acelerá-lo, tornando-o agressivo e degradante ao ambiente. Essa intervenção iniciou-se com o advento da agricultura, e ganhou velocidade nos últimos dois séculos, impulsionada pelo aumento vegetativo da população mundial e conseqüente demanda por mais alimentos. A ocupação desordenada das fronteiras agrícolas, acompanhada pela infra-estrutura necessária, provocou e provoca o empobrecimento progressivo do solo e a poluição dos mananciais, com a constante remoção da sua camada superficial.

3.3 AGENTES, PROCESSOS E FATORES CONDICIONANTES DA EROSÃO

Agente erosivo é quem realiza o trabalho na erosão, quem desenvolve o processo erosivo. Em síntese, é o modelador da paisagem que, em ação combinada com a gravidade, desagrega, transporta e deposita materiais, transformando-a continuamente. (GALETI, 1979; DAEE/IPT, 1990)

A erosão pode ser classificada quanto ao agente. Os principais agentes erosivos contemporâneos no país, notadamente nas regiões predominantemente agrícolas, são as águas de chuvas e os ventos, nessa ordem de importância. Quando o agente causador é a água, denominada-se *erosão hídrica*; quando o agente atuante é o vento, ocorre a *erosão eólica*. A erosão que tem por agente a água de chuva é classificada como *erosão hídrica pluvial*, ou simplesmente *erosão pluvial*.

A água erode o solo pelo embate das gotas de chuva no solo e pelo seu escoamento superficial na forma laminar ou concentrada. O efeito erosivo do agente água ocorre também na sub-superfície, com a remoção de partículas do solo pelo efeito *piping*.

A ação dos ventos ocorre especialmente nas regiões de clima árido e semi-árido, em épocas de pequena precipitação e, sobretudo, nos relevos planos com áreas descobertas de vegetação. A erosão eólica pode ser massiva, quando atua de maneira drástica, ou seletiva, quando o vento arrasta partículas distintas do solo.

Pela sua maior ocorrência no Estado de Mato Grosso, , dá-se ênfase, a seguir, à erosão hídrica pluvial.

O processo erosivo possui três fases, nem sempre distintas, independentemente do agente: desagregação do solo; transporte do material desprendido; e deposição das partículas transportadas. (GALETI, 1979)

O destacamento ou desagregação constitui-se, geralmente, no desmonte do solo pelo choque, pelo impacto do agente atuante. Implica em superar a coesão entre partículas do solo, de forma que possa ocorrer um deslocamento relativo entre partes contíguas. D'AGOSTINI (1999) afirma que a desagregação pode não ocorrer como um evento único, pois a depender das características do solo divide-se numa fase em que o agente modifica as suas propriedades mecânicas – saturação e conseqüente diminuição da coesão (*sucção*) nos solos não saturados, por exemplo -, seguida pela ação de desmonte propriamente dita com o impacto ou fluxo superficial da água.

Na erosão hídrica pluvial a desagregação ocorre pelo impacto das gotas de chuva no solo, que lhe desprendem e lançam a distância suas partículas, no chamado efeito *splash* ou *salpicamento*. A água também destaca material do solo com o escoamento superficial, quando a energia de velocidade converte-se em tensão cisalhante, ou pela abrasão dos materiais sólidos transportados pela água, ocasião em que ocorre erosão por *arrastamento*. Segundo SALOMÃO (1999), existe uma força crítica, ou seja, uma velocidade crítica do fluxo d'água para que ocorra remoção de partes do solo, a depender da forma, tamanho e irregularidades sobre a superfície onde flui a água, e das relações de contato – *sucção*, cimentação - entre as partículas constituintes do solo.

A desagregação do solo na erosão eólica ocorre com o desgaste contínuo da sua superfície pelo choque de partículas em suspensão no ar, num efeito similar ao de um martetele, ou num processo semelhante ao da erosão hídrica por arrastamento, quando a energia de velocidade do ar convertida em tensão cisalhante, continuamente atuando sobre o solo, supera as forças de coesão entre suas partículas.

Outra forma de desgaste do solo pela água é a *erosão em profundidade* ou *subterrânea*, ou *piping*, por fluxos tubulares, que acontece pela existência de um gradiente hidráulico no solo. (MAGALHÃES, 2001) Dependendo das condições, a velocidade e carga hidráulica no pé de um talude são maiores que na sua parte superior, criando condições para que o fluxo d'água sub-superficial possa provocar o destacamento e arraste de partículas do solo ao longo das linhas de fluxo que se dirigem para a região de alívio, o pé do talude. O fenômeno *piping*, segundo SALOMÃO (1999), é caracterizado pela remoção de partículas do interior do solo pelo fluxo d'água que se movimenta no seu interior, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo, podendo dar origem a colapsos do terreno ou alargamento de ravinas e boçorocas pela instabilização e desmoronamento de seus taludes.

Na fase de transporte o material removido, desgastado, erodido da superfície do solo é carregado por um agente. A dinâmica do transporte depende do tamanho das partículas, do agente transportador, da topografia e da presença ou ausência de obstáculos. (GALETI, 1979) Conforme D'AGOSTINI (1999),

“transportar significa superar a inércia e a atração gravitacional que atua sobre a massa das partículas de solo transportáveis”.

O transporte de material na erosão hídrica pode ocorrer na forma de solução para os materiais solúveis em água, de suspensão para as partículas menores e insolúveis, e pelo arraste das partículas maiores. Especialmente quando carrega materiais insolúveis, o transporte pela água ocorre na forma de arraste, quando a força tangencial provocada pelo seu movimento no fundo da corrente é suficiente para remover continuamente as partículas; na forma de suspensão, quando a força produzida pelo escoamento turbulento da água impedir a deposição das partículas; e por saltação, quando o transporte das partículas dá-se na forma de pequenos saltos, de acordo com as forças presentes no escoamento turbulento da água e as características do material carregado. (JORGE & UEHARA, 1998)

Na erosão eólica o vento carrega as partículas de menor porte em suspensão e a grandes alturas, vencendo maiores distâncias; as partículas de tamanho mediano são transportadas em saltos ou pulos, afastando-se menos do local de origem; já as partículas de maior porte são empurradas ou roladas ao nível do solo, demandando maior força e tempo para se afastarem. Percebe-se que, no transporte, ocorre uma natural seleção dos materiais erodidos pelas suas características, especialmente o tamanho, que determina a distância a que as partículas serão removidas de sua origem.

A deposição ocorre quando as forças envolvidas na sustentação e transporte das partículas erodidas são superadas pela atração gravitacional. Isso acontece quando a velocidade do agente transportador diminui, com conseqüente redução de energia cinética. À medida que diminui a velocidade do agente, ocorre a seleção do material que vai sendo depositado, de acordo com o tamanho e densidade das partículas transportadas.

Desta forma, na erosão hídrica, assim como na eólica, as partículas finas podem ser transportadas a grandes distâncias, chegando aos corpos d'água como lagos, rios e oceanos, ou paisagens distintas do local de origem, quando transportadas pelo vento.

Embora possa parecer simples em sua concepção, a erosão hídrica pluvial possui complexos fatores envolvidos, multidisciplinares e inter-relacionados. Eles se agrupam em quatro classes: fatores climáticos – chuva, temperatura, radiação solar e vento; fatores topográficos – declividade e comprimento de rampa; fator vegetação; e fator solo. (BASTOS *et al*, 2001)

A chuva, dentre os fatores climáticos, é a de maior e visível contribuição para a erosão do solo. Sua ação relaciona-se com o conceito de *erosividade*, índice que expressa a capacidade de provocar desgaste. GUERRA (1999) afirma que, dentre os parâmetros que determinam a erosividade, destacam-se o total de precipitação, a intensidade da chuva, o momento em que ela ocorre e a energia

cinética envolvida. INFANTI Jr & FORNASARI FILHO (1998) dizem que o efeito erosivo depende da distribuição pluviométrica do evento chuvoso no tempo e no espaço, além da sua intensidade. Por exemplo, chuvas torrenciais, precedidas de períodos anteriores chuvosos que saturaram o solo, determinam eventos erosivos agressivos e de grande velocidade, pelas alterações nas propriedades geomecânicas do solo e concentração do fluxo superficial de água, respectivamente.

A temperatura influi nos índices de permeabilidade, condutividade e infiltração dos solos, interferindo assim na sua capacidade de transportar e reter água. (RÖHM, 1997) A radiação solar, atingindo diretamente o solo, tem efeito biocida pela ação da radiação ultra-violeta, e grande poder de aquecimento, portanto de evaporação da água, com a atuação da radiação infra-vermelha. Tais ações podem dificultar a formação de matéria orgânica; gerar ciclos de ressecamento e umedecimento, com formação de fissuras; e, em última análise, a alteração da estrutura do solo, aumentando sua suscetibilidade à erosão. (LARIOS, 2000)

O vento, além de agir como agente erosivo, contribui para o aumento da energia cinética das águas de chuvas, influenciando no tamanho e velocidade das gotas. Sua ação constante sobre o solo desprotegido acelera a evaporação da água, contribuindo também para o seu ressecamento.

A declividade e comprimento de rampa interferem diretamente na velocidade de escoamento superficial das águas pluviais. Maior agressividade do processo erosivo é esperada em locais acidentados, pois declives acentuados favorecem a velocidade e maior concentração das águas. Todavia, uma encosta com baixa declividade e grande comprimento de rampa pode acumular elevada concentração de água e, por conseguinte, ficar sujeita à erosão. Assim, tais parâmetros devem ser analisados em conjunto. (INFANTI Jr & FORNASARI FILHO, 1998; DAEE/IPT, 1990; SALOMÃO, 1999)

A cobertura vegetal constitui a defesa natural da superfície do solo contra a ação direta da erosão. Ela a protege do impacto direto das gotas de chuva, dispersa e quebra a energia das águas em escoamento superficial, aumenta a taxa de infiltração do solo pelo incremento na porosidade oriundo da ação das raízes, e aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica. (SALOMÃO, 1999).

A alteração da cobertura vegetal pelo desmatamento e diversas formas de uso do solo provocam mudanças do regime de escoamento superficial e subterrâneo, e são apontadas como as principais causas da aceleração do processo erosivo. As mudanças introduzidas alteram a velocidade de escoamento superficial e, nos primeiros anos após o desmatamento, num aumento das infiltrações e potencialização do fenômeno do *piping*. (INFANTI Jr & FORNASARI FILHO, 1998; JORGE & UEHARA, 1998)

As características do solo determinam sua suscetibilidade à erosão, constituindo o fator *erodibilidade*: de acordo com as propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas, o solo interage de diferentes maneiras com os agentes erosivos, notadamente com a água. (INFANTI Jr & FORNASARI FILHO, 1998; DAEE/IPT, 1990; SALOMÃO, 1999)

Segundo BASTOS et al (2001), a erodibilidade pode ser definida como “a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo. Constitui uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.”

A textura e a estrutura, por conseqüência a permeabilidade, constituem as propriedades físicas do solo com maior influência na sua erodibilidade. A textura, relacionada ao tamanho das partículas, guarda ligação direta com a permeabilidade e capacidade de infiltração do solo, e com a coesão entre as suas partículas. A estrutura, qual seja o arranjo das partículas constituintes do solo, também guarda relação com a permeabilidade e infiltração da água, e com a sensibilidade ao arraste de suas partículas pela água. A permeabilidade e a infiltração determinam a capacidade do solo reter água e a que velocidade isso ocorre. (INFANTI Jr & FORNASARI FILHO, 1998; SALOMÃO, 1999)

A espessura do solo também é característica física importante, pois camadas delgadas atingem rapidamente a saturação, com conseqüente alteração de suas características mecânicas e resistência à ação da água. Além disso, com o esgotamento da capacidade de infiltração, ocorre o rápido escoamento superficial das águas de chuvas, agravando a situação.

As propriedades químicas do solo determinam o estado de agregação das partículas, aumentando ou diminuindo sua resistência aos agentes erosivos. SALOMÃO (1999) exemplifica descrevendo as características de solos pobres em bases (Na, Ca, Mg, etc.) e ricos em sesquióxidos de Al e Fe, e o contrário: os primeiros tendem a estruturarem-se por microagregação, com alta porosidade entre partículas, por conseguinte alta permeabilidade, como no caso dos latossolos; já os solos com alto conteúdo de bases tendem a apresentar estruturas poliédricas, com pequena porosidade e, conseqüentemente, baixa permeabilidade.

Também a presença de matéria orgânica incorporada ao solo confere-lhe maior agregação e coesão entre partículas, tornando-o mais estável na presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção de água. O argilo-mineral presente no solo determinam maior ou menor estabilidade e, por conseguinte, resistência à ação dos agentes erosivos.

INFANTI Jr & FORNASARI FILHO (1998) dizem que as características litológicas do substrato rochoso condicionam a suscetibilidade do material

resultante à erosão, dependendo da intensidade do intemperismo a que esteve e está submetido, da natureza da alteração presente e do seu grau de fraturamento.

Finalmente, a agressividade e velocidade da erosão são determinadas por fatores antrópicos, representados pelas alterações promovidas na cobertura vegetal, formas de uso e ocupação do solo com conseqüentes alterações de suas características físico-químicas, introdução de obras que interferem no sistema de drenagem superficial e outras formas de interferência no regime hidrológico local.

VILAR & PRANDI (1993) afirmam que existe uma associação entre vegetação, chuva e erosão. Embora intuitivamente se associe a agressividade do processo erosivo à chuva, nem sempre isso ocorre, pois a cobertura vegetal condiciona o processo. Assim, em terras cultivadas, por exemplo, a defasagem entre os períodos de pluviosidade e de crescimento das plantas pode contribuir de maneira crítica para maximizar os efeitos das chuvas sobre o solo.

A devegetação e prática da agricultura intensa vão além da exposição da superfície do solo à ação da água e do vento. Contribuem para a alteração das propriedades físicas e químicas do solo o preparo em condições inadequadas, com a passagem constante de máquinas e formação de crostas impermeáveis imediatamente abaixo da camada arada; a utilização sistemática da queima de restevras, com seu efeito biocida e desagregador do solo com o comprometimento de sua fração de material orgânico (SANTOS *et al*, 1992); o plantio em áreas impróprias para culturas anuais; a utilização de fertilizantes artificiais e a calagem, com suas conseqüências à estrutura química do solo; e o uso inadequado de sistemas de irrigação, dentre outras atividades.

As interferências nas redes naturais de drenagem, com a interceptação e imediata concentração do fluxo d'água sem adequada dissipação de energia por cercas, caminhos, estradas e obras diversas, provocam uma ação erosiva intensa, resultando em rápida formação de feições erosivas lineares de grande porte. (DAEE/IPT, 1990)

O clima, a topografia, os materiais de origem e constituintes, a biota e o tempo definem as características dos solos e o seu equilíbrio, e as mudanças em uma dessas variáveis certamente o afetam. As reações às mudanças ambientais variam de solo para solo, em função de sua sensibilidade à alteração imposta. A tensão oriunda do antropismo, com o desequilíbrio que causa, assume maior poder de interferência que o conjunto de fatores naturais, levando rapidamente o solo a uma condição de vulnerabilidade à erosão. (BASTOS & FREITAS, 1999)

3.4 A EROSÃO LINEAR

A erosão linear, formando inicialmente sulcos, sucede a erosão laminar. Não existe, todavia, limite a definir o final da erosão laminar e o começo da linear. Com a continuidade das chuvas e concentração de água na superfície do solo, ocorre tendência à formação de linhas preferenciais persistentes, que podem provocar o seu sulcamento e evoluir para outras feições erosivas mais definidas e permanentes. (CERRI, 1999)

A gênese de feições erosivas lineares incisivas e perenes depende da presença e intensidade dos fatores de formação na encosta, tendendo a acelerar com o antropismo. Vencido o limiar entre os pequenos filetes anastomosados de água do início do escoamento superficial difuso e a formação de feições lineares, o mecanismo de ravinamento da superfície do solo obedece a uma seqüência definida de eventos, com passagens rápidas ou não entre si, a depender das condições locais.

Atingida a capacidade de infiltração do solo, a água das chuvas forma, num primeiro momento, poças em sua superfície e, em seqüência, inicia um escoamento superficial. Forma-se um lençol d'água que se move e desce a encosta, inicialmente no regime laminar para, à medida que se torna mais espesso, veloz e encontra obstáculos, turbilhonar. A força de cisalhamento imposta pelo fluxo d'água à superfície do solo e capaz de desagregar e transportar partículas em seu estágio inicial – regime laminar – é baixa mas, à medida que aumenta sua energia e entra em regime turbilhonar, inicia o processo erosivo. Em decorrência dessa sua ação, a água passa a formar incisões aleatórias no solo, onde o fluxo se concentra. Essas incisões tornam-se pequenos canaliculos que, por sua vez, crescem, coalescem e formam canais permanentes, os sulcos ou filetes. (GUERRA, 1999; LOPES, 1996)

Parte da água superficial passa a se concentrar nos filetes. A turbulência do fluxo aumenta neste estágio, decorrente das ondulações e rugosidades existentes no fundo e laterais dos sulcos. Essas irregularidades, inerentes aos processos de erosão e sedimentação devido à passagem da água, tendem a se ampliarem e aumentar de volume, ficando mais instáveis. O aumento das irregularidades nos sulcos cria regiões de turbulência localizada, de alta ação erosiva. Podem então surgir pequenas cabeceiras nas micro-ravinas em formação, além de poças a jusante dessas cabeceiras. Com a formação dessas cabeceiras e poças, o processo erosivo atinge novo estágio, a formação de micro-ravinas com cabeceiras. Nesse novo estágio de evolução o processo tende a alcançar equilíbrio dinâmico, com a ocorrência de uma zona de deposição de sedimentos abaixo das cabeceiras. Quando a taxa de produção de sedimentos excede a capacidade de transporte do fluxo de água, incrementada pelo recuo das cabeceiras às partes mais elevadas da encosta, o canal de escoamento torna-se mais largo e profundo, criando condições para o transporte dos sedimentos que lhe chegam. Pode-se considerar que essas

pequenas feições lineares, nem sempre identificáveis na paisagem e, por vezes, milimétricas, já poderiam ser chamadas de ravinas. (GUERRA, 1999)

Na prática, o estabelecimento das micro-ravinas demonstra estarem presentes as condições hidráulicas para a formação de feições erosivas de maior porte, evoluindo para as ravinas e, nos casos críticos, para as boçorocas.

Observe-se que o surgimento de erosões lineares, por vezes, guarda estreita relação com a existência de elementos que interceptam e concentram o fluxo superficial da água, em geral provenientes do antropismo. As trilhas de gado, estradas de acesso, abertura de valetas, concentrações provocadas por manejo agrícola inadequado e a remoção indiscriminada de cobertura vegetal podem ser citados como formas de interferência humana no relevo que contribuem para o surgimento de ravinas e boçorocas.

Estabelecido o ravinamento, a natureza do processo erosivo linear se altera. As grandes concentrações de fluxo d'água e seus efeitos ainda constituem o mecanismo dominante de evolução da feição estabelecida, mas nem todo o material destacado e transportado dele se originam. Os movimentos de massa e a ação de águas subterrâneas (*piping*) podem contribuir para o alargamento e aprofundamento da ravina, caracterizando a passagem para o estágio seguinte do fenômeno, o boçorocamento.

Convém diferenciar a ravina da boçoroca, embora o assunto encontre definições diversas.

OLIVEIRA (1999) menciona diversos autores da literatura nacional e internacional que vinculam a distinção entre ravinas e boçorocas às suas características dimensionais. Segundo esse critério, ravinas seriam incisões de até 50 cm de largura e profundidade, e acima disso as feições erosivas lineares devem ser denominadas boçorocas.

Mais recentemente, com destaque para os trabalhos do IPT - Instituto Paulista de Tecnologia - e de técnicos a ele ligados, têm-se vinculado a diferenciação entre ravinas e boçorocas à ausência ou presença, respectivamente, da ação do escoamento sub-superficial no desenvolvimento da erosão, independentemente de suas dimensões. Esse critério apresenta grande valor prático para adoção de medidas mitigatórias do processo, facilitando o planejamento de ações de controle e recuperação de áreas degradadas.

Por adequar-se à finalidade do trabalho desenvolvido, notadamente quanto ao estudo dos fenômenos presentes no desenvolvimento da feição erosiva em estudo, adota-se como conceito de boçoroca aquele disposto em DAEE/IPT (1990). A boçoroca corresponde ao estágio da erosão linear em que se somam aos efeitos do escoamento superficial aqueles advindos da interceptação do lençol freático ou nível d'água da sub-superfície.

As boçorocas constituem a última e talvez mais espetacular fase do processo erosivo linear. Para o DAEE/IPT (1990), a boçoroca corresponde ao estágio mais avançado e complexo da erosão, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas erosivas, impondo maior dificuldade ao controle e recuperação. GUERRA (1999) diz que a boçoroca consiste no último estágio do processo erosivo, quando incisões largas e profundas tornam-se características permanentes das encostas.

Considerando a forma que adquire, a boçoroca pode ser classificada como ovóide, coalescente e linear. A forma ovóide apresenta a configuração de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior e um canal estreito a jusante. A coalescente apresenta mais de um anfiteatro a montante, resultantes de reentrâncias nas paredes laterais que evoluem de maneira independente, e um estreito canal a jusante. A forma linear apresenta um grande desenvolvimento longitudinal, a semelhança de um *canyon*, mas terminando igualmente num estreito canal. (MAGALHÃES, 2001)

Num momento inicial a feição erosiva linear estabelece-se como um entalhe no terreno devido ao fluxo superficial, sendo comum assumir a forma de "V". Diversos processos, como a instabilização e deslizamento dos taludes e a contínua remoção de material, ampliam gradativamente a seção, que tende a assumir o formato em "U". Em toda a seqüência de aprofundamento e alargamento ocorre evolução da feição a montante, buscando o divisor de águas de sua bacia de contribuição pelo seu leito principal e ramificações. O processo tende a se estabilizar quando atinge um nível de base local, comandado pela rede de drenagem da micro-região e/ou pela limitação imposta por substrato rochoso de maior resistência. É comum a estabilização da erosão em sua fase senil, com a gradual consolidação do seu leito, crescimento de vegetação e, quando o lençol freático é atingido, contínuo fluxo d'água. O processo de remoção – transporte – deposição de material diminui então, tendendo a se estabilizar. (VILAR & PRANDI, 1993)

Atuam no desenvolvimento da boçoroca diversos mecanismos, em momentos e posições diferentes, sobrepondo-se ou não. Esses mecanismos dependem das rotas tomadas pelos fluxos d'água, sejam superficiais e/ou sub-superficiais, podendo seus efeitos sobrepor-se. As condições do material, que também variam no tempo e espacialmente, guardam estreita relação com a gênese e evolução da feição erosiva.

A Tabela 2 resume os principais mecanismos atuantes numa boçoroca. A síntese apresentada não se aprofunda na origem e modelagem matemática dos fenômenos, mas permite breve entendimento da evolução do boçorocamento.

Tabela 2 - Principais mecanismos atuantes no boçorocamento. Sintetizado de OLIVEIRA (1999)

	MECANISMO ATUANTE	COMENTÁRIOS
a)	Deslocamento de partículas por impacto de gotas de chuva	Conhecido como efeito <i>splash</i> , ou <i>splash erosion</i> . Deslocamento das partículas do solo pelo impacto direto das gotas de chuva. Depende da duração e intensidade do evento chuvoso, da proteção da superfície e das características geotécnicas do solo.
b)	Transporte de partículas de solo pelo escoamento superficial difuso	As tensões cisalhantes provocadas pelo escoamento superficial em regime turbulento superam a resistência estática das partículas, promovendo seu movimento generalizado. Depende da ocorrência de fluxos superficiais de água, por consequência da intensidade e duração das chuvas, e do próprio estado em que se encontra o solo.
c)	Transporte de partículas de solo por escoamento concentrado	A concentração de fluxo nas microdepressões do terreno promove o aumento de suas dimensões. O choque das partículas transportadas sobre o material estático do fundo e laterais do canal promove seu dissecamento, no efeito de corrasão. A tensão cisalhante do fluxo d'água também contribui para o alargamento e aprofundamento do canal. Depende das condições geométricas do canal, características mecânicas do material e da frequência e intensidade das chuvas.
d)	Erosão por quedas d'água	A turbulência causada pela queda d'água retira material em torno da zona de impacto e escava uma depressão na base da borda da depressão onde se concentra o fluxo. A ação combinada da cascata e aumento da altura de queda da água podem gerar movimentos de massa localizados.
e)	Solapamento da base de taludes	Outro efeito da erosão por queda d'água. Na superfície de contato entre a borda do degrau e da lâmina d'água forma-se um filme que escorre ao longo das paredes da incisão. Esse filme, ao dissipar-se para jusante, ao longo da parede, esculpe alcovas de regressão que, ao se aprofundarem no talude afetado, provocam desmoronamentos periódicos e contribuem para o avanço a montante da erosão.
f)	Liquefação de materiais do solo	Quando ocorre desenvolvimento de poropressões no solo, a interação dos mecanismos de fluidização e liquefação podem fazer com que materiais inconsolidados se comportem como fluidos. Nos taludes íngremes podem ocorrer colapsos por influência do fenômeno. Esses processos manifestam-se quando o material encontra-se saturado.
g)	Movimentos de massa localizados	Vários são os tipos de movimentos de massa que se manifestam em boçorocas. Especialmente fenômenos que contribuem para o aumento das tensões cisalhantes e para a diminuição da resistência ao cisalhamento dos materiais ocorrem nas incisões, a depender de ampla gama de fatores atuantes.
h)	Arraste de partículas por percolação	O arraste de partículas por percolação gera a erosão de vazamento. Ocorre quando se desenvolve uma descarga crítica em torno da área de afloramento da água que atravessa um meio poroso. O fenômeno guarda relação com perturbações que acarretam alterações no nível do lençol freático, como aumento de precipitações.
i)	Arraste de partículas por fluxos concentrados em túneis ou dutos	Ocorre sob efeito do fluxo d'água superficial ou subsuperficial que penetra em furos biogênicos ou fendas de origens diversas. A passagem da água promove a escavação e alargamento desses túneis e fendas, com ocorrência combinada ou não de mecanismos diversos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este título divide-se em sete partes distintas: a primeira traz breve caracterização da região e descrição da gênese da boçoroca; a segunda parte trata da concepção metodológica; a terceira relaciona os materiais alocados para os levantamentos de campo e tratamento das informações coletadas; a quarta discorre sobre os métodos de coleta e tratamento de dados; a quinta parte descreve os critérios para classificação da vertente que contém a boçoroca; a sexta parte discorre sobre os critérios adotados para compartimentação da boçoroca; e a sétima elenca os critérios para eleição das possíveis medidas de controle a aplicar.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E HISTÓRICO DA BOÇOROCA

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DA EROÇÃO

A erosão conecta-se ao trecho inicial do Rio das Mortes, a aproximadamente 2,5 km de sua nascente, e imediatamente a jusante do sua passagem sob a rodovia federal BR 070, na região sudoeste do município de Campo Verde, estado de Mato Grosso.

Campo Verde localiza-se na micro-região *Primavera do Leste*, meso-região *Sudeste Matogrossense*, com sede nas coordenadas geográficas 15°54'S e 55°16'W e altitude de 736 m em relação ao nível médio do mar. Abriga uma população crescente, estimada em 17 mil habitantes, que apresentou taxa de expansão de 60% entre 1996 e 2000 (SEPLAN-MT, 2002).

A área do município tem 76% de sua superfície ocupada, predominando o uso do solo por agricultura modernizada com plantio de grãos e algodão, seguido por agropecuária de bovinos. (SEPLAN-MT, 2002) A região do entorno da boçoroca encontra-se artificializada com a ocupado por lavoura de grãos e algodão, persistindo da vegetação natural as coberturas nas margens de cursos d'água.

O Rio das Mortes nasce na extremidade sudoeste da Chapada dos Guimarães, uma subunidade do Planalto dos Guimarães, e desenvolve-se inicialmente na direção sul-norte para, em seguida, assumir a direção oeste-leste.

Ocorre na região situação peculiar, onde o Rio das Mortes é tributário da bacia Amazônica, e os demais, localizados à sua direita – Rio São Lourenço –, e à sua esquerda – Rio da Casca –, pertencem à bacia do Prata. A erosão intercepta do Rio antes dele receber as contribuições de afluentes de porte, no seu primeiro trecho, com curso sul-norte.

A geologia do trecho inicial da bacia do Rio das Mortes apresenta como unidade basal os arenitos da formação Fumas, grupo Paraná, sobrepostos às rochas metamórficas do grupo Cuiabá. A formação Fumas é composta por arenitos esbranquiçados, médios e grosseiros, com estratificação plano-paralelos e cruzadas e lentes conglomeráticas silto-argilosas. As regiões de topo dos interflúvios, aplainadas, são recobertas por sedimentos neogênicos dendrito-lateríticos, argilosos, de coloração vermelha, constituindo a cobertura predominante na região. Essa cobertura de sedimentos compõem-se de três unidades edafo-estratigráficas, divididas em três níveis: a inferior, constituída por areias inconsolidadas e argilas, produto direto do intemperismo das rochas subjacentes; o horizonte médio, formado por lateritos ferruginosos e concrecionados por seixos de quartzo; e o superior, composto por solo argilo-arenoso, de cores marrom e avermelhada, com concreções ferruginosas.

A cabeceira do Rio das Mortes situa-se na extremidade sudeste da Chapada dos Guimarães, subunidade do Planalto dos Guimarães, com cotas altimétricas de 650 a 800 m em relação ao nível médio do mar. Apresenta relevo predominantemente plano e conservado, de formas tabulares e convexas suaves, com interflúvios amplos e de vertentes longas, declividades variando entre 3% e 12%, onde a ruptura do terço inferior coincide com a transição do cerrado com o campo úmido. Essas superfícies advêm do retrabalhamento da cobertura dendrítico-laterítica e das rochas da formação Fumas, submetidas a intenso processo pedogenético.

As partes mais altas do relevo apresentam latossolo vermelho escuro distrófico de textura argilosa, associado ao latossolo amarelo distrófico de textura média nas posições de jusante das vertentes, desenvolvidos a partir da pedogênese dos sedimentos neogênicos dendrito-lateríticos. Nas áreas mais dissecadas e ao longo do leito do Rio das Mortes ocorrem areias quartzosas, oriundas da pedogênese do substrato rochoso.

A vegetação natural da região sofreu forte alteração desde o final da década de 1970, quando foi substituída por lavouras altamente mecanizadas. Nas margens dos cursos d'água encontram-se remanescentes da cobertura natural, de forte influência fluvial, descaracterizada em pontos discretos pelo avanço de espécies exóticas. Predominam nas coberturas por latossolos pequenos trechos remanescentes da Savana Arborizada, e sobre solos constituídos de areia quartzosa ocorrem Floresta de Galeria. (VASCONCELOS, 1998)

O tipo climático dominante na região é o Aw de Koppen – Tropical Chuvoso. Caracteriza-se por seu um clima quente e úmido, com uma estação chuvosa bem definida, ocorrendo geralmente de outubro a abril, e outra seca, de maio a setembro. A precipitação média anual é de 1750 mm, e a temperatura média anual oscila em torno de 25,5°. (VASCONCELOS, 1998)

4.1.2 HISTÓRICO DA BOÇOROCA

A gênese da feição erosiva relaciona-se com a interceptação e concentração de águas pluviais pelo antigo leito da rodovia federal BR 070.

A estrada desenvolvia-se ao longo da encosta à margem direita do Rio das Mortes, alternando trechos de corte no terreno natural e aterros à medida que vencia o aclave. Tratava-se de rodovia não pavimentada, de manutenção precária. As águas de chuvas ao longo da encosta de montante de sua caixa eram interceptadas e concentradas, ganhando velocidade à medida que lhe aumentava o volume e inclinação da vertente. O fato, somado à fragilidade do solo à margem do Rio das Mortes, deu origem à boçoroca.

A situação foi agravada com a antropização da paisagem, em meados da década de 1970. A devegetação da encosta e implantação de lavouras intensamente mecanizadas levou à aceleração do processo, com avanço para montante e aprofundamento da boçoroca.

Quando das obras de pavimentação da rodovia federal, em meados da década de 1980, optou-se pelo abandono do seu antigo leito. O custo direto de recuperação da caixa da estrada, com o controle e recuperação das partes degradadas, revelou-se maior que aquele estimado para o seu desvio por novo traçado. A boçoroca foi abandonada sem obras complementares que mitigassem o seu desenvolvimento, agravando o problema.

O proprietário das terras implantou na margem de montante da feição erosiva um aterro para desvio das águas superficiais. A prática revelou-se profícua para o controle parcial do processo, revelando-se ineficaz, entretanto, para a estabilização do boçorocamento.

4.2 CONCEPÇÃO METODOLÓGICA

O estudo e entendimento das feições erosivas lineares, considerando a complexidade e as relações do fenômeno com o meio, exige uma abordagem sistêmica. Desta forma, as ferramentas de investigação aplicadas devem permitir a caracterização da erosão suficientemente detalhada para a correta identificação e análise das variáveis envolvidas e de interesse aos objetivos do estudo em curso.

Para o desenvolvimento deste trabalho aplicou-se uma metodologia que permitiu determinar, com suficiente acurácia para um cadastro preliminar, a geometria da boçoroca e a sua posição na vertente, caracterizar o uso e ocupação do solo no seu entorno, classificar a vertente quanto à sua suscetibilidade à erosão linear, identificar os solos interceptados, localizar as efluências de águas sub-superficiais e os escoamento de águas superficiais, e estabelecer os principais mecanismos presentes no seu atual estágio de desenvolvimento.

A escolha dos dados a levantar da boçoroca e sua vertente, adiante detalhados, fundamentou-se em IWASA & FENDRICH (1998) e DAEE/IPT (1990). A identificação dos mecanismos atuantes na boçoroca, descritos em itens próximos, baseou-se em OLIVEIRA (1999) e, quando presentes movimentos de massa, foram estudados de acordo com AUGUSTO FILHO & VIRGILI (1998).

Os dados foram coletados no campo com utilização de equipamento GPS topográfico e registro em fotografias e anotações. Depois de apropriadamente processados, foram convertidos e tratados em ambiente CAD, criando-se arquivos individualizados para cada característica investigada. Essas informações puderam então ser classificadas, estudadas e cruzadas, formando novos conjuntos de dados.

A escolha do ambiente CAD, em detrimento da montagem de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), deve-se à finalidade do cadastro, qual seja de apresentar informações preliminares da feição erosiva. A pouca extensão e complexidade dos dados levantados, aliadas à simplicidade de operação e manipulação, justificam a escolha do CAD nesta fase do estudo de ravinas e boçorocas.

Desta forma, formou-se arcabouço suficiente para a compreensão mínima do funcionamento da erosão em seus diversos trechos distintos, subsidiando a determinação e o planejamento de estudos complementares, bem como a sugestão de medidas de controle adequadas para cada um deles.

As sugestões de possíveis soluções para o controle da erosão foram extraídas, basicamente, de DAEE/IPT (1990) e FENDRICH (1984,a,b). O dimensionamento das obras de engenharia propostas depende de estudos complementares, notadamente ensaios geotécnicos, e fogem aos objetivos deste estudo.

As etapas do trabalho contempladas por este roteiro metodológico obedeceram à seqüência lógica de procedimentos apresentada na Figura 1.

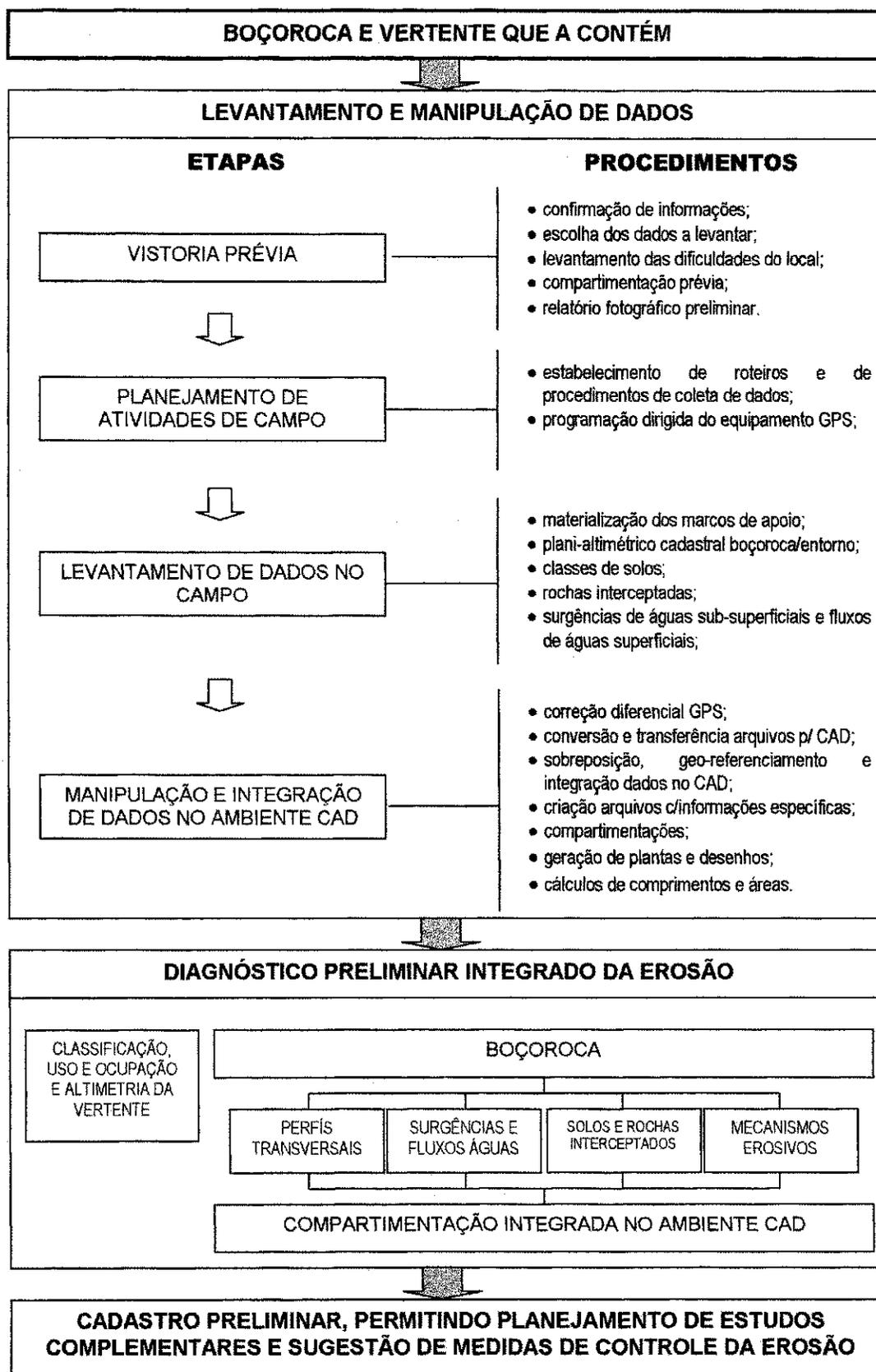


Figura 1 – Representação esquemática das etapas de trabalho do roteiro metodológico.

4.3 MATERIAIS

As informações regionais de caráter genérico foram extraídas dos mapas *Geológico*, *Geomorfológico*, *Exploratório de solos* e *Vegetação*, folha SD 21 Cuiabá do Projeto RADAMBRASIL. (BRASIL, 1982) Em complementação, realizou-se reconhecimento de campo da região, utilizando as estradas vicinais e trilhas de acesso às propriedades próximas, permitindo identificar e analisar características morfométricas e o uso e ocupação da terra no entorno da erosão.

Os levantamentos planimétricos e o geo-referenciamento dos marcos de apoio, bem como a determinação de referencial de nível local foram executados com equipamento GPS modelo *Pathfinder Pro XRS* e coletora de dados *TDC1*, marca *Trimble*. O levantamento plani-altimétrico da bacia de contribuição e dos perfis transversais da erosão foi desenvolvido com estação total da marca *Nikon*, operada por profissional habilitado da Escola Técnica Federal de Mato Grosso (ETFMT).

Os dados de campo dos levantamentos com equipamento GPS foram processados no software *Pathfinder Office*, fornecido pela *Trimble*. Utilizou-se como estação-base para correção diferencial de coordenadas os arquivos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) no sistema Rede Inbra de Bases comunitárias do GPS (RIBaC), estação de referência CUIABÁ, no endereço www.incra.gov.br da internet.

As informações dos levantamentos planimétrico, da bacia de contribuição e dos perfis transversais foram manipuladas em ambiente CAD, com software *MicroStation J Academic Edition*, marca *Bentley*, resultando nas plantas e desenhos constantes do trabalho.

As fotografias foram tomadas com máquina fotográfica reflex modelo *OM-101*, marca *Olympus*, dotada de lente objetiva 28-85 mm para as fotografias gerais, e com objetiva macro 1:5x para detalhes.

As imagens e fotografias foram tratadas digitalmente com software *Corel Photo-Paint 9*, marca *Corel*. Os textos foram desenvolvidos no software *Word 2002* e as planilhas e gráficos estatísticos foram desenvolvidos no software *Excel 2002*, ambos da marca *MicroSoft*.

4.4 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

4.4.1 RECONHECIMENTO PRÉVIO E PLANEJAMENTO DOS TRABALHOS DE CAMPO

Realizou-se reconhecimento prévio da erosão e de seu entorno, buscando informações gerais para o planejamento dos trabalhos de campo.

Essa atividade aconteceu no mês de maio de 2001.

Fez-se, essencialmente, a compartimentação preliminar da boçoroca e dos solos interceptados em trechos de características semelhantes, e levantamento dos mecanismos atuantes e de surgências de água na erosão, além da identificação do uso e ocupação do solo nas adjacências.

As intercepções do substrato rochoso foram localizadas, e fez-se classificação expedita da geologia local.

O leito antigo da rodovia *BR 070* foi identificado e localizado, tanto seus trechos nas imediações da erosão como aqueles interceptados e destruídos pela boçoroca.

As dificuldades aos levantamentos com GPS, notadamente interferências de copas de árvores e outros limitantes à qualidade do sinal do sistema, foram identificados.

Verificou-se nessa etapa a impossibilidade da abertura de picadas e clareiras nas regiões cobertas por vegetação arbórea, bem como a dificuldade na obtenção de sinais do sistema GPS no interior dos trechos profundos da boçoroca.

As informações resultantes foram organizadas e complementadas por desenhos, esquemas e, principalmente, por relatório fotográfico.

Com o resultado do reconhecimento prévio, foi possível o planejamento adequado dos levantamentos de campo, otimizando os equipamentos disponíveis e minimizando os tempos de coletas de dados.

O equipamento de GPS foi programado de modo dirigido, explorando-se os recursos de cadastramento e identificação de *entidades* do coletor de dados. A forma de coleta de informações – *estática* ou *cinemática* – foi estabelecida para cada trecho e lado da boçoroca. Da mesma forma procedeu-se para o levantamento do antigo leito da *BR 070* e das características do entorno da erosão.

Os levantamentos de informações acerca da geologia, mecanismos atuantes no boçorocamento e surgências de água puderam ser dirigidos, estabelecendo-se dados específicos a serem coletados.

4.4.2 LEVANTAMENTO PLANI-ALTIMÉTRICO E CADASTRAL DA EROSÃO E SEU ENTORNO

Os levantamentos plani-altimétricos buscaram estabelecer o contorno externo da boçoroca, qual seja os limites de suas bordas; a forma e o contorno do fundo da boçoroca; os contornos das coberturas vegetais nas adjacências da erosão; os desenvolvimentos das estradas e caminhos próximos; a bacia de contribuição da erosão; os perfis longitudinais da vertente e da boçoroca; os perfis transversais da boçoroca; e a localização de interesse do trabalho.

Os levantamentos aconteceram nos meses de julho de 2001 e fevereiro de 2002. Os períodos foram determinados pela disponibilidade de recursos materiais para os trabalhos de campo.

Esses levantamentos foram realizados, em sua maioria, utilizando-se equipamento GPS, com atenção às instruções do fabricante, às recomendações de GOMES *et al* (2001) e de LOPES & GUERRA (2001) e, naquilo que for aplicável, às determinações da norma técnica ABNT – *NBR 13133 Execução de levantamento topográfico*.

Para alcançar precisão sub-métrica nos levantamentos, e de acordo com as instruções do fabricante, o primeiro ponto de cada seção de coleta de dados com equipamento de GPS necessitou de leitura estática por tempo mínimo de 40 minutos. Essa rotina foi obedecida ao longo de toda a campanha de campo.

Para o geo-referenciamento posterior de informações coletadas, e para subsidiar a coleta sucessiva de dados, foram materializados no solo, na forma de piquetes de madeira identificados, pontos notáveis ao longo da boçoroca. Esses piquetes foram cravados em pares, e suas coordenadas foram determinadas no modo *estático* do equipamento GPS. Posteriormente suas posições relativas foram confirmadas quando dos levantamentos com estação total.

Em cada arquivo de informações iniciado foram coletadas as coordenadas de, pelo menos, três piquetes cravados ao longo da boçoroca. Desta forma, todos os dados puderam ser posteriormente inter-relacionados, formando arquivo único no CAD.

Os arquivos necessários à correção dos dados coletados com equipamento GPS – correção diferencial -, foram capturados diariamente na internet. Desta forma, eventuais refazimentos de serviços de campo, necessários pela indisponibilidade de arquivos-base para processamentos ou por falhas do levantamento, puderam ser executados imediatamente.

Nos locais em que a parca cobertura vegetal permitia, e nos trechos do interior da boçoroca não muito profundos, os trabalhos de coleta de dados foram realizados no modo *cinemático*, com cadastro de informações utilizando os atributos *ponto* e *linha* do coletor de dados.

Quando a cobertura vegetal impedia o recebimento contínuo de sinais do sistema GPS, e nas partes profundas e fechadas da erosão, a coleta de dados foi desenvolvida no modo *estático*, qual seja a coleta de coordenadas ponto-a-ponto.

Os levantamentos que envolviam maior precisão altimétrica foram realizados com estação total, integrando-se os resultados aos dados obtidos com equipamento GPS.

Assim, os perfis transversais da boçoroca, e os dados relativos à bacia de contribuição da erosão foram levantados com estação total. Para a amarração e integração dos dados levantados dessa forma àqueles obtidos com equipamento GPS utilizou-se a seqüência de piquetes cravados ao longo da boçoroca.

Os dados coletados em campo com equipamento GPS foram processados no software próprio, fazendo-se a sua correção diferencial.

Todas as coordenadas foram convertidas para o *Sistema Geodésico Brasileiro* (SGB) tendo como referência horizontal o *datum* SAD-69, fuso 21 S. As altitudes foram referenciadas ao nível médio do mar, considerando como referência o *geóide* global EGM 96. Assim, apresentam-se cotas verdadeiras no desenvolvimento do trabalho.

Os erros máximos e médio dos levantamentos com equipamento GPS foram fornecidos pelo seu software de correção diferencial, subsidiando a determinação das escalas das plantas resultantes dos levantamentos.

Concluídos os levantamentos, a boçoroca foi compartimentada de acordo com os perfis que apresentou. Os limites de cada trecho discretizado foram estabelecidos e geo-referenciados.

4.4.3 CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS

Foram identificados os diferentes tipos de solos da vertente e, principalmente, aqueles interceptados pela erosão, a partir de sua identificação táctil-visual.

Esses solos foram classificados de acordo com a síntese apresentada por SALOMÃO & ANTUNES (1998). Para tanto, observou-se os materiais expostos na superfície e nas paredes da boçoroca, distinguindo-se deles a cor, textura, estrutura, presença de material orgânico, perfil de alteração e outras características relevantes.

Em alguns locais os taludes da boçoroca foram escavados, expondo o material não sujeito diretamente às intempéries. Desta forma, pôde-se observar com maior detalhamento as diferenciações entre materiais com a profundidade e posição na vertente.

Transições entre solos ao longo da encosta, por apresentarem-se difusas, foram localizadas de maneira aproximada.

As coordenadas dessas transições foram determinadas a partir de suas distâncias aos piquetes de referência cravados ao longo da boçoroca, medidas com trena.

Concluída a fase de identificação, a boçoroca foi compartimentada de acordo com os solos interceptados. Os limites de cada trecho discretizado foram estabelecidos e geo-referenciados.

4.4.4 CARACTERIZAÇÃO DE ROCHAS INTERCEPTADAS

As rochas expostas pela erosão foram identificadas pelo Prof. Dr. Kurt João Albrecht, geólogo, professor titular do Departamento de Geologia Geral da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Foram extraídas amostras dos materiais, posteriormente analisadas em laboratório.

As coordenadas dos locais de interceptação do substrato rochoso foram determinadas diretamente com equipamento GPS, ou a partir de suas distâncias, medidas com trena, aos piquetes de referência cravados ao longo da boçoroca.

4.4.5 IDENTIFICAÇÃO DOS MECANISMOS ATUANTES NA BOÇOROCA

No levantamento exploratório preliminar foram identificadas e localizadas as principais feições erosivas presentes na boçoroca.

Numa segunda fase, fez-se a identificação e localização sistemática dessas feições, avaliando sua contribuição local para o avanço horizontal e aprofundamento da boçoroca. A identificação das feições erosivas permitiu, de maneira direta e barata, determinar os mecanismos atuantes na boçoroca, subsidiando posteriormente a sugestão de medidas para seu controle. (OLIVEIRA, 1999)

Os movimentos de massa relacionados à instabilidade dos taludes foram objeto de atenção diferenciada. Buscou-se reconhecer o tipo de ruptura e os fenômenos que desencadearam tais ações. (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998)

As feições erosivas características e predominantes nos diversos trechos da erosão foram registradas em fotografias, e suas localizações estabelecidas por tomada direta de coordenadas com equipamento GPS ou a partir de sua distância aos piquetes de referência cravados ao longo da boçoroca.

Concluídos os levantamentos de campo, a boçoroca foi compartimentada, discretizando-se os seus trechos de acordo com o mecanismo erosivo

predominante. Os limites de cada compartimento foram estabelecidos e geo-referenciados.

4.4.6 PRESENÇA DE ÁGUA

As surgências de água foram localizadas e geo-referenciadas, por tomada direta de suas coordenadas com equipamento GPS. Em visitas sucessivas à boçoroca, ao longo de um ano, estabeleceu-se o regime dessas surgências, identificando-se aquelas perenes e as presentes somente ao final do período chuvoso.

Os efeitos da ocupação antrópica do entorno da boçoroca foram analisados qualitativamente. Observou-se, principalmente, as conseqüências do condicionamento das águas superficiais estabelecido pela estrada existente ao longo do eixo longitudinal da boçoroca. A posição dessa estrada foi levantada por coleta de suas coordenadas com equipamento GPS.

O comportamento dessas águas sub-superficiais, a presença de escoamento de águas superficiais no fundo da boçoroca, e a contribuição da bacia de montante subsidiaram a compartimentação da erosão.

4.4.7 A MANIPULAÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE CAD

A grande vantagem da utilização de CAD para o tratamento dos dados coletados no campo reside na facilidade para sua ordenação e integração. Com adequado planejamento e hierarquização das informações disponíveis e a produzir, a ferramenta permite sua manipulação com rapidez e objetividade.

As informações coletadas com utilização de equipamento GPS e estação total foram convertidas para arquivos lidos pelo software MicroStation, quais sejam os do tipo *.dgn e *.dxf.

Os arquivos convertidos continham nuvens de pontos e linhas. Cada arquivo trazia as posições de, pelo menos, três dos piquetes cravados ao longo da boçoroca. Desta forma, os vários arquivos puderam ser inter-relacionados, constituindo projeção do terreno no plano horizontal ao final da sua integração.

Esses dados coletados foram sintetizados em arquivo único, que serviu de referência para o desenvolvimento dos arquivos de informações, a seguir descritos.

Também foram lançadas no CAD informações geo-referenciadas relativas à dinâmica da erosão, interceptações do substrato rochoso, transições de solos, surgências de águas sub-superficiais, fluxo de águas superficiais e outras ocorrências determinadas na erosão.

A seguir, foram criados arquivos específicos para cada assunto de interesse do trabalho, quais sejam: uso e ocupação do solo; posições da rodovia e estradas; contorno externo da boçoroca; posição e forma do fundo da boçoroca; posições de surgências sub-superficiais e fluxos superficiais de águas; classes de solos e interceptações do substrato rochoso; e localização de dados relevantes.

As características estudadas e posteriormente representadas em plantas e desenhos foram divididas em *layers*, facilitando a sua manipulação, geração de estatísticas e elaboração de cálculos. (COLLET & BERG, 1998)

Em cada arquivo gerado foi introduzido sistema de coordenadas, reproduzindo as suas posições das informações no sistema UTM, referenciado para o SGB.

Formaram-se, assim, planos de informações. Estes foram então sobrepostos com as ferramentas do CAD, criando-se arquivos que aglutinaram informações co-relacionadas. Foram gerados, desta forma, novos planos de informações. (CERRI, 1999)

Os arquivos integrados serviram para o estudo das inter-relações entre os dados coletados. Desta forma foi possível determinar as relações entre os mecanismos erosivos e os tipos de solos e a geologia interceptados; o estágio evolutivo dos diversos trechos da boçoroca e a sua bacia de contribuição; e os mecanismos erosivos e as possíveis soluções para o seu controle.

Para a geração dos desenhos e plantas do trabalho, as informações de interesse foram formatadas nos arquivos aglutinados, utilizando-se ferramentas do CAD para hierarquizá-las.

Com o uso das ferramentas do CAD foram também determinados os parâmetros geométricos da boçoroca:

- a área de contribuição;
- comprimento de rampa e inclinação da boçoroca, total e por trechos;
- comprimento de rampa e inclinação da vertente;
- a área ocupada pela boçoroca, total e por trechos;
- a largura e profundidade da boçoroca em diversos trechos;

Importante frisar que esses cálculos acumulam erros do levantamento com equipamento GPS, a seguir detalhado, e os seus resultados constituem números aproximados. Considerados os objetivos do trabalho, qual seja apresentar levantamento preliminar da feição erosiva linear, os números determinados são aceitáveis. Quando do desenvolvimento de estudos detalhados, bem como elaboração de projetos de engenharia, levantamentos complementares da geometria da erosão terão de ser realizados.

Esses dados subsidiaram os cálculos analíticos do volume de solos deslocado pela erosão, total e por trechos. Para tanto, dividiu-se a boçoroca em trechos distintos de aproximadamente 100 m, respeitando os limites entre mudanças de solos e intercepções do substrato rochoso onde existentes. Para cada trecho estimou-se a largura e altura médias que, multiplicadas pelo seu comprimento, resultavam no volume do solo escavado.

Os mapas e plantas gerados tiveram suas escalas horizontais determinadas pela precisão dos levantamentos, realizados com equipamento GPS e estação total.

Os relatórios do software utilizado para processar os dados obtidos com GPS indicaram precisão sub-métrica para os dados planimétricos, e desvio médio aproximado de 1,2 m (um metro e vinte centímetros) para as informações relacionadas à altimetria.

Assim, considerando erro admissível de 0,2 mm na escala do mapa, as plantas e desenhos que reproduzem a planimetria local admitiram escala até 1:5.000. (MOURA, 2001)

As informações relativas à altimetria da bacia de contribuição e seções transversais tomadas com estação total apresentaram erro vertical significativamente menor que aquele oriundo do equipamento GPS. Obteve-se, assim, conjunto de dados híbrido, com erro máximo de aproximadamente 1,2 metros.

Adotou-se, para representação em planta, considerando a metodologia do levantamento, as curvas de nível representadas a cada 2 metros. Os perfis longitudinais tiveram sua escala vertical estabelecida em 1:5.000, que admite erro de até 1 metro para leitura direta no desenho. Os perfis transversais, levantados com estação total, foram reproduzidos em escala 1:1.000.

4.5 DETERMINAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA VERTENTE À EROSÃO LINEAR

O desenvolvimento de erosão linear, evoluindo para ravinas e boçorocas, depende da conjugação de fatores naturais e da ocupação antrópica. Os fatores naturais envolvem, basicamente, o tipo de solo, o tipo do relevo e, de modo indireto, o tipo do substrato rochoso. O fator relacionado ao antropismo, complexo e variável espacialmente, pode considerar a ocupação contemporânea da região ou uma forma específica de ocupação anterior. (DAAE/IPT, 1990)

Ponderando esses fatores, SALOMÃO (1999) considera a existência de cinco classes de suscetibilidade à erosão linear, originalmente estabelecidas pelo DAAE/IPT para as condições do estado de São Paulo e resumidas na Tabela 4:

Tabela 3 – Classes de suscetibilidade da vertente à erosão linear. Adaptado de SALOMÃO (1999)

CLASSE DE SUSCETIBILIDADE	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Extremamente suscetível a ravinas e boçorocas	Áreas muito favoráveis à instalação de fenômeno de <i>piping</i> , onde os processos de boçorocamento se iniciam logo após a remoção da cobertura vegetal, independentemente da forma de ocupação.	Gradientes hidráulicos subterrâneos elevados; Zonas de percolação do freático que permitam remoção e transporte das partículas do solo; Situam-se, normalmente, nas nascentes, fundos de vales, cabeceiras de drenagem com formas de anfiteatros côncavos e vertentes com lençol freático subafiorante; as feições erosivas logo chegam ao lençol freático, iniciando-se o fenômeno do <i>piping</i> ;
Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas	Áreas favoráveis à concentração de fluxo d'água, onde os processos de ravinamento se desenvolvem em função da ocupação do solo, a partir de pequena concentração de fluxo d'água.	Fenômenos de <i>piping</i> são observados somente em ravinas que se aprofundam, interceptando o lençol freático; Situam-se, normalmente, em terrenos com moderada declividade, que permitem a concentração de águas superficiais; os solos apresentam alto gradiente textural entre os horizontes superiores do perfil.
Moderadamente suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas	Áreas de dispersão de fluxos d'água, bem drenadas, com elevada permeabilidade até grandes profundidades. Processos erosivos lineares se desenvolvem em função da ocupação do solo.	Cobertura pedológica constituída de solos pouco coesos permite fácil remoção de partículas por escoamento de águas superficiais; Processos erosivos por ravinamento estão condicionados à ocorrência de grandes fluxos concentrados de águas de escoamento superficial; Boçorocamentos ocorrem quando as ravinas interceptam o lençol freático, geralmente nas posições próximas ao fundo de vale e de cabeceiras de drenagem; Geralmente são regiões de declividade que permite o escoamento de águas superficiais, constituídas de solos de textura arenosa ou média, muito profundos.
Suscetíveis a ravinas e não suscetíveis a boçorocas	Áreas favoráveis à concentração de fluxo superficial de água, com solos rasos e ausência de lençol freático. Processos erosivos lineares se instalam em função da ocupação do solo.	Ravinas pouco profundas, com maior incidência de sulcos; Resistência ao aprofundamento de erosões lineares imposta pelas características das camadas sub-superficiais do solo; Característica de regiões com declives relativamente elevados, com cobertura pedológica pouco espessa.
Não suscetíveis a ravinas e boçorocas	Áreas de agradação com terrenos de declividade praticamente nula, impossibilitando escoamento superficial, independentemente da forma de ocupação,	Declividade praticamente nula, impedindo escoamento superficial; Gradiente subterrâneo muito baixo, inexistindo formação de <i>piping</i> ; Situam-se às margens de cursos d'água, constituindo planícies de inundação.

Sobre a classificação da cobertura pedológica e do substrato rochoso já se discorreu em título anterior.

Levantada a geometria local, como já exposto, fez-se a análise do comportamento local das águas superficiais e a classificação da vertente de acordo com a sua declividade.

A análise do comportamento de águas superficiais considerou a existência de regiões de concentração do seu fluxo ao longo da vertente, naturais ou antrópicos.

A vertente foi classificada de acordo com a declividade de sua rampa, considerando os intervalos propostos em LEPSCH (1991):

- *classe A* - < 2% - áreas planas ou quase planas, onde o escoamento superficial e o deflúvio são muito lentos ou lentos;
- *classe B* – entre 2% e 5% - áreas com declives suaves, onde o escoamento superficial é lento ou médio;
- *classe C* – entre 5% e 10% - áreas com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, onde o escoamento superficial é normalmente médio ou rápido;
- *classe D* – entre 10% e 15% - áreas muito inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido;
- *classe E* – entre 15% e 45% - áreas fortemente inclinadas, onde o escoamento superficial é rápido;
- *classe F* – entre 45% e 70% - áreas íngremes, de regiões montanhosas, onde o escoamento superficial é muito rápido;
- *classe G* – > 70% - áreas de relevo escarpado ou muito íngreme, onde normalmente nenhum solo se desenvolve.

A posição de lençol freático ou suspenso foi inferida a partir de sua posição na boçoroca, quando existente.

A determinação da ocupação antrópica foi exposta em título anterior.

4.6 CRITÉRIOS PARA A COMPARTIMENTAÇÃO DA BOÇOROCA

A compartimentação final da boçoroca ocorreu com o cruzamento, no ambiente CAD, das informações relativas à seção transversal, regime de águas, solos e rochas interceptados, e mecanismos erosivos predominantes.

Foram determinados trechos discretos com características comuns ou semelhantes. Outras informações relevantes, mas não suficientes para caracterizar um trecho, foram agregadas, a bem de subsidiar o entendimento do boçorocamento.

4.6.1 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM A SEÇÃO TRANSVERSAL

A forma da seção transversal da boçoroca, em "V" ou "U", é indicativa de sua idade e da suscetibilidade do solo à ação dos agentes erosivos. (FENDRICH, 1984)

O formato em "V" está, normalmente, associado aos solos ou camadas de solos com relativa resistência à erosão, à contribuição preponderante das águas superficiais no processo, e à própria profundidade local do solo erodido.

Essa conformação, como regra geral, é característica das fases iniciais do boçorocamento, onde o escoamento superficial atua com maior intensidade em detrimento da eventual ação de águas subterrâneas, e onde o horizonte C e/ou o substrato rochoso local não foram interceptados.

Já a seção transversal com formato em "U" revela, na maioria dos casos, maior suscetibilidade do solo à ação erosiva das águas e uma maior idade do boçorocamento, não significando, entretanto, sua estabilização.

Neste caso, os taludes são praticamente verticais, e a ampliação lateral da boçoroca é realizada pelas águas superficiais que saturam e promovem remoção mecânica do solo da base das paredes, e pela ação de águas sub-superficiais, que os desestabilizam com a saturação do solo e formação de *piping*.

Assim, a boçoroca em estudo foi compartimentada em trechos distintos de acordo com a forma do seu perfil transversal, quais sejam:

- SEÇÃO "V" – paredes da erosão convergentes para fundo constituído por valo único ou predominantemente único;
- SEÇÃO "U" – paredes da erosão convergem para fundo plano ou relativamente plano.

4.6.2 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM O REGIME DE ÁGUAS SUB-SUPERFICIAIS E SUPERFICIAIS

A formação de ravinas e boçorocas é conseqüente de diversos mecanismos, que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Todos esses mecanismos guardam relação direta com as rotas tomadas pelo fluxos de água, sub-superficiais e superficiais. (OLIVEIRA, 1999)

A estabilidade dos taludes tem relação direta com a sucção do solo e, por conseqüência, com a presença e tempo de contato com águas superficiais e sub-superficiais. Quando levado à saturação, o solo altera profundamente suas características mecânicas, especialmente a resistência a cisalhamento.

VARGAS (1977) cita como fatores de instabilização de taludes de maciços de terra a submersão total ou parcial do talude, o aparecimento de pressões neutras devido à percolação ou infiltração de águas de chuvas, o aparecimento de pressões neutras devido a deformações por cisalhamento sofridas pelo maciço, e ao aparecimento de pressões de percolação no interior do maciço.

Essas situações condicionam os mecanismos atuantes no boçorocamento. A expansão a montante e, principalmente, lateral de boçorocas acontece, essencialmente, pela ação constante de águas superficiais e sub-superficiais e do surgimento de tensões e deformações dela resultante.

Assim, as surgências de águas sub-superficiais e a presença de fluxos superficiais no interior da erosão têm papel fundamental no seu desenvolvimento, estando diretamente ligada à instabilização de seus taludes e conseqüente avanço do boçorocamento.

As surgências de águas sub-superficiais podem ter fluxo intermitente ou perene. As primeiras ocorrem sazonalmente, a depender da variação da cota do lençol subterrâneo ao longo do tempo e da profundidade do corte provocado pela boçoroca. Assim, no decorrer do ano, podem ocorrer surgências de águas sub-superficiais no fundo da erosão em determinados meses, normalmente nos períodos chuvosos e imediatamente após estes. Já as surgências perenes acontecem independentemente da estação climática, apresentando fluxo d'água contínuo. Eventual variação pode ocorrer na vazão d'água aflorante, de acordo com a cota do lençol subterrâneo de origem.

Os fluxos superficiais podem advir da concentração e escoamento de águas de chuvas na bacia de contribuição da erosão, ou resultar de fluxos sub-superficiais localizados no interior da boçoroca. Os primeiros, obviamente, são transitórios, dependentes que são da precipitação pluviométrica. Já os fluxos oriundos de surgências de lençóis subterrâneos guardam com estes estreita relação, no que tange ao seu regime e vazão.

A boçoroca foi dividida em trechos característicos considerando os seguintes comportamentos da água sub-superficial e superficial:

- SUPERFICIAL INTERMITENTE, ISOLADO DA BACIA – fluxo de águas superficiais durante precipitações e imediatamente após. Trecho isolado da bacia de contribuição.
- SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL INTERMITENTES, ISOLADO DA BACIA - surgências de águas sub-superficiais intermitentes, notadas durante a estação chuvosa e imediatamente após. Fluxo de águas superficiais no fundo da boçoroca intermitente. Trecho isolado da bacia de erosão.
- SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, ISOLADO DA BACIA - surgências de águas sub-superficiais permanentes, independentemente da estação

climática. Fluxo de águas superficiais no fundo da boçoroca permanente. Trecho isolado da bacia de contribuição da erosão.

- SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA - surgências de águas sub-superficiais permanentes, independentemente da estação climática. Fluxo de águas superficiais no fundo da boçoroca permanente. Trecho conectado à bacia de contribuição da erosão.

4.6.3 COMPATIMENTAÇÃO DE ACORDO COM A INTERCEPTAÇÃO DE SOLOS E ROCHAS

A partir da classificação pedológica, com devida análise crítica, pode-se extrair grande gama de informações. Por exemplo, os processos de dinâmica superficial – erosão dentre eles - guardam estreita relação com as classes de solo. (PASTORE & FONTES, 1998)

A inspeção preliminar da boçoroca e vertente que a contém, bem como o Mapa Exploratório de Solos do RADAMBRASIL (BRASIL, 1982), indicam tratar-se de região de Latossolos, com ocorrência de Areia Quartzosa no fundo de vales.

Os latossolos, que ocorrem predominantemente em relevos suaves, de vertentes pouco declivosas, caracterizam-se por apresentarem horizontes A-B-C com pouca variação textural entre os horizontes A-B. O horizonte B é espesso, homogêneo, com estrutura normalmente do tipo granular, microagregada ou maciça-porosa. Não apresentam materiais primários facilmente intemperizáveis e a fração argila, com alto grau de floculação, é constituída predominantemente por óxidos de ferro, de alumínio e argilominerais do grupo caolinita. Esse horizonte B é geotecnicamente conhecido por solo maduro. O horizonte C é geralmente espesso, refletindo as características texturais e mineralógicas do material de origem. O lençol freático encontra-se, normalmente, a grandes profundidades, no contato entre o horizonte C com o substrato rochoso. O horizonte C é conhecido em geotecnia por solo residual jovem ou solo saprolítico. Os latossolos, em geral, apresentam baixa erodibilidade. Entretanto, se submetidos à concentração de águas superficiais, normalmente associadas à ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas e boçorocas. (SALOMÃO & ANTUNES, 1998)

O latossolo vermelho-amarelo ocorre, geralmente, nos relevos planos e suavemente ondulados e, como no caso observado, nas porções intermediárias a baixa das vertentes. São solos com perfís não hidromórficos, profundos, porosos, possuindo perfís A, B e C, com pequena variação textural entre os horizontes. Apresentam boa drenagem quando em contato com as areias quartzosas e latossolos vermelho-escuros. Esse latossolo apresenta alto grau de intemperização, baixa relação silte/argila, com predomínio de óxidos e hidróxidos de alumínio na fração coloidal. (FETT, 2000)

As areias quartzosas ocorrem em áreas de topografia suave, tais como planícies aluviais, resultando da pedogênese de sedimentos e alterações de rochas predominantemente quartzosas. Possuem seqüência de horizontes A-C, sendo essencialmente arenosos e profundos, constituídos de grãos de quartzo. O horizonte A pode conter elevada concentração de matéria orgânica. O lençol freático normalmente é profundo, abaixo do horizonte C, no contato com a rocha subjacente. Apresenta alta permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula, boa capacidade de carga e fácil escavabilidade. Sua suscetibilidade à erosão varia com a declividade local e concentração de águas superficiais que, em grande fluxo, podem escavar ravinas profundas e boçorocas. (SALOMÃO & ANTUNES, 1998)

Na boçoroca em estudo ocorre a erosão do substrato rochoso em considerável trecho do seu desenvolvimento. Para efeito de compartimentação, considerou-se a associação da cobertura pedológica com o substrato rochoso.

Esse substrato rochoso interceptado, de *siltito* em associação com *folhelos*, menos profundo nas posições de jusante da vertente, possui cor cinza e avermelhada, de granulação finíssima, ligeiramente áspero ao tato. Na região de contato com a cobertura pedológica ocorrem folhelos - estratos finos e paralelos, de grande dureza. À medida que se aprofunda, a formação rochosa diminui as distâncias e espessuras das camadas de folhelos.

Ocorre surgências de águas sub-superficiais a partir da rocha, especialmente entre suas camadas mais altas. À medida que aumenta a profundidade do local, essa quantidade de água tem sensível diminuição.

A partir das observações de campo, os solos e rochas interceptados pela erosão linear dividem-se, para efeito de compartimentação, em:

- LVd – boçorocamento no latossolo vermelho-amarelo distrófico e álico. Solo não hidromórfico, profundo, poroso, de textura argilo-arenosa. Pequena variação textural entre os horizontes. Substrato rochoso não exposto.
- LVd/AQ – boçorocamento na transição entre latossolo e areia quartzosa – região transitória entre as classes. Solo profundo, poroso, de textura arenosa. Pequena variação textural entre os horizontes. Substrato rochoso exposto mas não erodido.
- LVd/AQ+SDf – boçorocamento na transição entre latossolo e areia quartzosa, com incisão no substrato rochoso – região transitória entre as classes. Solo profundo, poroso, de textura arenosa. Pequena variação textural entre os horizontes. Substrato rochoso erodido.

- AQ – boçorocamento na areia quartzosa – solo profundo, poroso, de textura arenosa. Pequena variação textural entre horizontes. Substrato rochoso exposto.

4.6.4 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM OS MECANISMOS EROSIVOS PREDOMINANTES

A erosão em boçorocas é causada por vários mecanismos que, atuando em diferentes escalas temporais e espaciais, derivam, via de regra, das rotas tomadas pelos fluxos superficiais e sub-superficiais da água. (OLIVEIRA, 1999)

O levantamento preliminar da feição erosiva permitiu identificar 3 (três) mecanismos predominantes, quais sejam: a remoção e transporte de partículas por fluxos concentrados, a erosão por quedas d'água, e o solapamento de base de taludes. Estes mecanismos não são os únicos a esculpir a boçoroca, mas constituem-se naqueles que, no estágio atual de desenvolvimento, contribuem decisivamente para a sua evolução.

A maioria dos mecanismos presentes na erosão levam aos movimentos de massa localizados. Eles advêm do aumento das tensões cisalhantes nas encostas e paredes da boçoroca, pela remoção de suporte lateral, solapamentos e tensões transitórias relativas a vibrações diversas; e pela diminuição da resistência ao cisalhamento do maciço, conseqüente, notadamente, das alterações físico-químicas provocadas pela ação da água.

A exceção se dá em pequenos trechos onde a erosão linear encontra-se nos seus estágios iniciais, quando então a sua evolução ocorre pela remoção de material por fluxos concentrados de águas superficiais. Ainda assim essa predominância é efêmera, pois o aprofundamento da incisão acaba por desestabilizar as paredes, com conseqüentes movimentos de massa.

O fluxo concentrado de águas superficiais ocorre pela convergência, para as depressões do terreno e destas para o interior da boçoroca, do escoamento superficial de águas pluviais. Esse fluxo concentrado promove a corrasão do canal, com sua dissecação e alargamento a cada precipitação pluviométrica. Esse mecanismo ocorre em trechos ao lado e no interior da boçoroca.

Nos trechos onde a erosão intercepta o horizonte C da cobertura pedológica, ou o substrato rochoso, ambos de pouca permeabilidade, o fluxo superficial concentrado pode contribuir para a desestabilização das paredes da boçoroca. Nessa situações, o solo da base do talude, saturado pela presença contínua de águas superficiais, tem diminuída consideravelmente sua resistência às pressões de cisalhamento, propiciando a ocorrência de movimentos de massa localizados.

A erosão por queda d'água acontece quando a água de escoamentos superficiais desemboca no interior de feições erosivas profundas. A turbulência causada pela queda d'água formada em torno da sua zona de impacto escava o solo. O aprofundamento da depressão, aumentando o degrau formado, pode ainda gerar movimentos de massa localizados, pela desestabilização do talude no local. Esse mecanismo erosivo ocorre em pequenos trechos e pontos discretos das paredes da boçoroca. Em associação com outros mecanismos, ele provoca avanço do boçorocamento.

O solapamento de base dos taludes decorre da remoção e transporte de material das paredes da boçoroca pelas surgências de águas sub-superficiais. A saturação do solo nesses locais leva à diminuição de sua resistência aos esforços de cisalhamento, com ruptura do maciço e conseqüentes movimentos de massa. Nesses locais de surgências podem ainda ocorrer erosões tubulares – piping -, responsáveis também pela desestabilização das paredes da boçoroca e sua regressão para montante.

Finalmente, existem trechos da boçoroca relativamente estabilizados. Nestes locais os mecanismos erosivos não atuam de maneira agressiva, caracterizando-se pela presença de vegetação nos fundos e laterais da vala e visíveis sinais de estabilidade de suas paredes.

Assim, a erosão foi compartimentada em trechos com ocorrência, isolada ou somada, dos seguintes mecanismos erosivos:

- FLUXO CONCENTRADO – trecho ou local da boçoroca onde a expansão acontece, predominantemente, pela ação de fluxo concentrado de águas superficiais;
- FLUXO CONCENTRADO COM MOVIMENTO DE MASSA – trecho ou local da boçoroca onde a expansão acontece, predominantemente, pela ação de fluxo concentrado de águas superficiais, com desestabilização das paredes e movimentos de massa conseqüentes;
- QUEDA D'ÁGUA – trecho ou local da boçoroca onde a expansão ocorre, predominantemente, pela ação de quedas d'água e conseqüentes movimentos de massa;
- SOLAPAMENTO DE BASE – trecho ou local da boçoroca onde a a expansão ocorre, predominantemente, pelo solapamento de base das suas paredes pela ação de águas sub-superficiais e conseqüentes movimentos de massa, podendo ocorrer *piping*;
- ESTABILIZADO – trecho da boçoroca onde a expansão não mais ocorre de maneira agressiva, percebendo-se auto-regeneração da vegetação e estabilidade das paredes.

4.7 CRITÉRIOS PARA SUGESTÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE DA BOÇOROCA

Consolidadas as informações relativas à caracterização da boçoroca, foram elencadas algumas das possíveis intervenções para o seu controle, disciplinando as causas ativas de sua evolução.

Convém destacar que a geometria da erosão sofre alterações após cada período chuvoso, fato que pode reordenar a importância relativa dos mecanismos erosivos atuantes. Assim, a escolha das possíveis obras e serviços de controle da erosão necessariamente devem ser precedidos de nova inspeção de campo para a validação das medidas de controle propostas neste trabalho.

Além disso, deverão ser desenvolvidos, dentre outros estudos, ensaios de caracterização dos solos atingidos pela boçoroca. Desta forma, a escolha e desenvolvimento das obras e serviços de controle da feição erosiva embasar-se-ão em dados objetivos, evitando-se escolha de intervenções de engenharia inadequadas, bem como dimensionamento adequado das obras necessárias.

As medidas de controle de processos erosivos devem contemplar, com devida hierarquização para cada caso, às seguintes questões: (DAAE/IPT, 1990)

- disciplinamento das águas superficiais;
- disciplinamento de águas sub-superficiais;
- estabilização de taludes.

O controle de águas superficiais envolve a captação e condução de águas pluviais, e o controle e dissipação de energia das águas no fundo da feição erosiva.

O aporte das águas para o talvegue degradado deve ser minimizado, promovendo a sua retenção, infiltração e condução disciplinadas. (RIDENTE JUNIOR *et al*, 1999)

Esse controle das águas pluviais consiste, por exemplo, na implantação de terraços e curvas de nível na bacia de contribuição da feição erosiva, associados, se necessário, a canais e tubulações de desvio.

O fluxo de água no fundo das feições erosivas, proveniente da concentração de chuvas ou surgências, precisa ter sua energia dissipada. A estabilização desse fluxo d'água deve garantir baixas velocidades de escoamento, minimizando o seu efeito erosivo e promovendo a sedimentação dos materiais transportados.

Esse controle das águas superficiais pode acontecer por meio de estruturas e práticas vegetativas, geralmente associadas.

As estruturas de controle, de concreto, alvenaria, metal, terra, rocha ou qualquer outro material disponível na região, podem ser temporárias ou

permanentes, e devem ser dimensionadas considerando a vazão de projeto e o controle da velocidade das águas, dissipando continuamente sua energia. (FENDRICH, 1984, a; DAAE/IPT, 1990)

Por fim, essas estruturas de controle devem obedecer a requisitos funcionais. Elas têm de possuir capacidade suficiente para suportar não somente a vazão de projeto considerada, mas de dissipar a energia cinética. Essa preocupação deve estender-se ao solo ou rocha das fundações, ombreiras e outras interfaces do elemento considerado, garantindo a integridade também do local de implantação da estrutura. (FENDRICH, 1984, b)

As práticas edáficas de caráter vegetativo normalmente estão associadas às estruturas de controle, compondo a proteção de obras de terra e dos taludes. A escolha das espécies dos indivíduos vegetais deve considerar a baixa fertilidade e alto teor de umidade do solo dos locais onde transplantados, assegurando sua sobrevivência e desenvolvimento.

As águas sub-superficiais, provenientes do lençol freático ou do lençol suspenso, constituem-se num desafio para a execução de obras de estabilização de boçorocas. (DAAE/IPT, 1990)

Os tratamentos tradicionais envolvem a aplicação de drenos enterrados, promovendo a drenagem controlada dessas águas sub-superficiais. Deve-se garantir, essencialmente, a interrupção dos processos erosivos internos, promovendo o escoamento disciplinado das águas oriundas de surgências.

A estabilização dos taludes confunde-se com a própria estabilização da boçoroca. As intervenções visando o controle de águas superficiais e sub-superficiais visam, essencialmente, a proteção dos solos desprotegidos dos taludes, garantindo-lhes a estabilidade e, por consequência, inibindo a evolução da feição erosiva. (DAAE/IPT, 1990)

Entretanto, dependendo das características geotécnicas dos solos dos taludes, podem ser necessárias intervenções complementares para manutenção e/ou adequação da sua geometria. Essas intervenções envolvem obras sem estruturas de contenção (retaludamentos, drenagens e proteção superficial), obras com estruturas de contenção (muros de gravidade, atirantamentos, aterros reforçados e estabilização de blocos), e obras de proteção (barreiras vegetais e muros de espera). (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998)

Finalmente, as obras e práticas edáficas implantadas devem ser objeto de periódica manutenção, preventiva e corretiva. Além disso, medidas complementares, a depender do desempenho das intervenções feitas para o controle da boçoroca, podem ser necessárias. Avaliações contínuas, notadamente após períodos chuvosos, adquirem fundamental importância para o desempenho satisfatório das intervenções na feição erosiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente são apresentados e discutidos os dados relativos à vertente que contém a erosão. A seguir, da segunda à sexta seções, são dispostas as características e compartimentações da boçoroca considerando, respectivamente, as suas seções transversais, regime de águas, solos e rochas interceptados e mecanismos erosivos predominantes.

5.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA VERTENTE

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento planialtimétrico e do uso e ocupação do solo, determinadas as estatísticas da vertente e sua classificação.

A Figura 2 apresenta a planta de ocupação da vertente, com destaque para a rodovia e estradas, o desenvolvimento da boçoroca, o uso do solo e a altimetria nas imediações da erosão. Nela está registrada a situação encontrada no primeiro semestre do ano de 2002, ocasião em que o proprietário do imóvel iniciou também a ocupação das terras à direita da boçoroca, com plantio de grãos em lavoura mecanizada.

O ponto mais alto da vertente encontra-se na cota 742 m, e localiza-se à margem da estrada de acesso às lavouras e à boçoroca, nas coordenadas E:684362;N:8267440. Esse ponto mais alto considera a situação atual da bacia de contribuição da boçoroca, limitada pelas estradas internas da propriedade rural. O seu ponto inferior confunde-se com a interceptação do Rio das Mortes pela boçoroca, na cota 679 m, nas coordenadas E:682302;N:8266741.

LEGENDA TEMATICA

- Agricultura modernizada com cultura ciclica.
Algodao (3 anos) rotacionado com graos (1 ano).
- Mata de galeria.
Ocorrencia (alguma) de especies exoticas.
- Vegetacao natural auto-recuperada semelhante a Savana Parque.
Ocorrencia de especies exoticas.
- Area degradada / devegetada.
Solo exposto com formacao de crosta e sulcos.
- Area degradada / devegetada.
Solo exposto c/formacao de crosta e ravinos.
- Bocorocamento.
Solo exposto em bocoroca linear.

LEGENDA CARTOGRAFICA

- Rio das Mortes
- Surgencia perene
- Surgencia intermitente
- BR 070-atual (pavimentado)
- BR 070 (abandonada)
- Estradas a Cesso
- Curva de nivel
- Divisor aguas

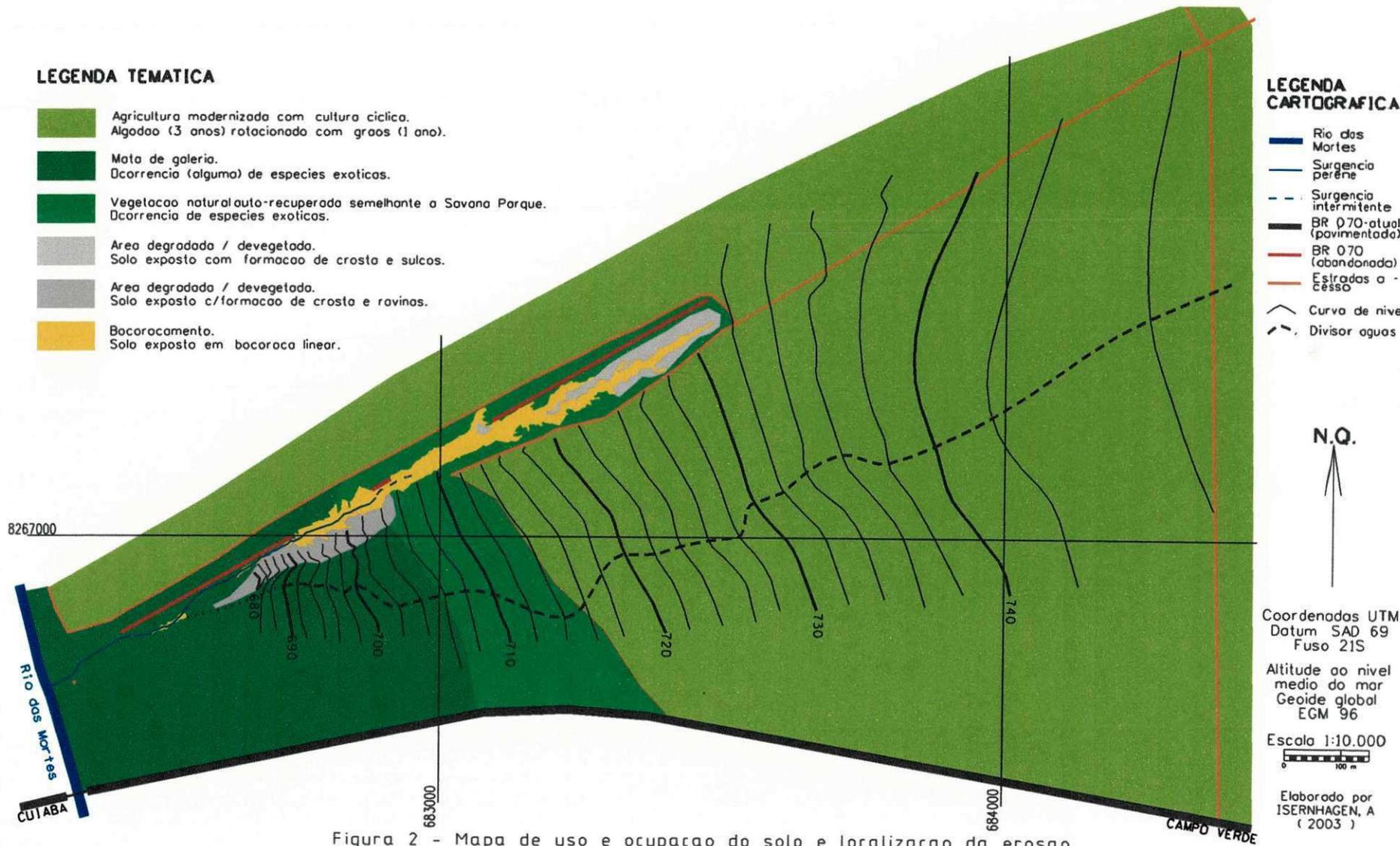


Figura 2 - Mapa de uso e ocupacao do solo e localizacao da erosao.

Coordenadas UTM
Datum SAD 69
Fuso 21S
Altitude ao nivel
medio do mar
Geoida global
EGM 96

Escala 1:10.000
0 100 m

Elaborado por
ISERNHAGEN, A
(2003)

O polígono irregular que constitui a bacia de contribuição encontra-se entre os seguintes pontos limítrofes: a Oeste, no ponto de interdeptação com o Rio das Mortes; a Leste com o ponto mais alto da vertente; ao Sul sobre a imaginária que define o divisor de águas, com coordenadas E:683222;N:8266858; e ao Norte à margem de estrada de acesso, coordenadas E:684343;N:8267879.

A Figura 3 traz fotografia panorâmica da vertente, percebendo-se a forte antropização da região. Da vegetação natural restam trechos às margens dos cursos d'água, com a presença algumas espécies exóticas.

Percebe-se o paralelismo entre o leito antigo da rodovia BR 070 e o eixo longitudinal da boçoroca, confundindo-se os dois em alguns trechos. O fato indica a decisiva contribuição da estrada para a gênese da erosão, com a interceptação e concentração do fluxo superficial de águas pluviais ao longo do seu eixo de desenvolvimento.

As fotografias constantes das figuras 4 e 5 corroboram a informação. A primeira mostra o traçado atual da rodovia BR 070 e o desenvolvimento da boçoroca, coincidente com a antigo leito da estrada. A Figura 5 mostra em detalhe partes remanescentes do aterro na cabeceira de ponte sobre o Rio das Mortes, com seu eixo longitudinal coincidente com o da erosão.

A ocupação do solo pela lavoura modernizada, a esquerda da erosão, coincide com o limite de estrada. Essa estrada de acesso constitui dique que isola parcialmente a boçoroca da sua bacia de contribuição, interceptando as águas superficiais e impedindo seu escoamento para o interior da erosão. Trata-se de solução paleativa para contenção local do processo erosivo, inexistindo medidas complementares de controle e recuperação. O tema é melhor explorado adiante.

Na posição de montante da boçoroca, entre as coordenadas E:683250 a E:683500 e N:8267250 a N:8267500, o solo encontra-se descoberto, com formação de crosta superficial. Trata-se de região que teve o solo devegetado e movimentado, em tentativa de aterramento do trecho da erosão. A prática resultou inócua, além de submeter a superfície diretamente à erosão por embate – *splash erosion*.

A segunda região degradada, com solo descoberto e selado por formação de crosta superficial, encontra-se à esquerda da boçoroca, entre as coordenadas N:8266800 a N:8267100 e E:682600 a E:683000. A causa inicial da devegetação local e alteração da topografia não pôde ser determinada, sendo resultante, provavelmente, de movimentação mecânica do solo. O solo encontra-se desprotegido, submetido diretamente à erosão por embate (*splash erosion*) e forte escoamento superficial de águas oriundas da bacia de contribuição, concentradas e conduzidas pela estrada introduzida. Os fatos provocam formação de ravinas no local, e ativação de novo ramo derivado do canal original da erosão.

Os dados apostos na Tabela 4 resumem os parâmetros geométricos da vertente, e consideram a bacia de contribuição atual da erosão, respeitando os limites ao fluxo de águas superficiais imposto pelas estradas locais.

Tabela 4 – Estatísticas da vertente.

PARÂMETRO DA VERTENTE	VALOR
Comprimento	2.350 m
Altitude do ponto de máximo	742 m
Altitude do ponto de mínimo	679 m
Declividade da rampa	2,7 %
Área de contribuição da boçoroca	54,1 ha

A vertente enquadra-se, no tocante à sua declividade, na *Classe B – declives entre 2 e 5%*, conforme a classificação proposta por LEPSCH (1991). Essa classe compreende as áreas com declives suaves, nos quais, geralmente, o escoamento superficial é lento ou médio. Na maioria dos solos a erosão hídrica não oferece problemas, sendo necessárias práticas simples de conservação. Entretanto, quando em solos erodíveis, com longos comprimentos de rampa, proteções com práticas conservacionistas complexas podem ser necessários.

Trata-se de vertente onde os fluxos d'água se dispersam naturalmente, constituída de solos bem drenados, de textura média para arenosa, com elevada permeabilidade até grandes profundidades. Entretanto, a sua ocupação condicionou e condiciona o escoamento de águas superficiais, interceptando-o e concentrando o seu fluxo ao longo da encosta com a construção de estradas.

Predominam lavouras altamente modernizadas de grãos e algodão. Na vertente em estudo a ocupação dá-se de maneira indiscriminada, sem distinção no manejo e proteção do solo nas diferentes classes ocorrentes. Verificaram-se práticas simples de conservação do solo, limitadas à execução de curvas de nível.

Na parte alta da vertente predomina solo classificado como Latossolo, de cor vermelho, textura argilosa a média à medida que se desce a encosta. Na porção mediana da vertente ocorre solo classificado como Latossolo, de cor vermelho-amarela, textura média a arenosa. À medida que se aproxima do Rio, no terço inferior da vertente, inicia-se a transição para Areia Quartzosa, com aumento do teor de areia e de matéria orgânica, e alteração da cor de vermelho-amarelo para cinzento. À margem do Rio das Mortes ocorre solo classificado como Areia Quartzosa, com alto teor de matéria orgânica, textura arenosa, de cor amarela-cinzenta.

As informações recolhidas a respeito da vertente levam ao seu enquadramento como *moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas*. (SALOMÃO, 1999)



Figura 3 – Vista panorâmica da vertente.



Figura 4 – Vista frontal da vertente e da boçoroca.



Figura 5 – Vista frontal da boçoroca, com posição do antigo leito da rodovia BR 163.

5.2 GEOMETRIA E ESTATÍSTICAS DA BOÇOROCA

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento planialtimétrico e cadastral da boçoroca, e dispostos dados estatísticos acerca da sua extensão e volume de solo deslocado. Ao final, faz-se a compartimentação da boçoroca de acordo com o formato dos seus perfis transversais.

A Figura 6 apresenta os contornos dos bordos externos e do fundo da boçoroca; a localização do leito antigo da rodovia BR 070; a localização de estradas internas da propriedade; o Rio das Mortes e a localização dos cortes transversais feitos durante os levantamentos, além do seu perfil longitudinal.

As figuras 7 a 14 trazem os cortes transversais da erosão, localizados em trechos distintos do seu desenvolvimento.

O ponto mais alto da boçoroca, imediatamente antes do seu início, encontra-se na cota 731 m e, no seu interior, na cota 727 m, e localiza-se à margem da estrada de acesso às lavouras e à boçoroca, nas coordenadas E:683477; N:8267381. O seu ponto inferior confunde-se com a interceptação do Rio das Mortes pela boçoroca, na cota 679 m, nas coordenadas E:682302; N:8266741, visto em fotografia na Figura 22.

Nessas plantas de detalhes observa-se que a erosão apresenta desenvolvimento linear e paralelo ao leito antigo da rodovia BR 070, confundindo-se com ele em alguns locais.

As figuras 20 e 21 trazem fotografias de dois trechos remanescentes desse leito abandonado da rodovia. A primeira mostra a estrada num trecho de montante da boçoroca, próximo à seção transversal 6. Os furos vistos nessa Figura 20, logo abaixo do corpo do pavimento, são biogênicos. A Figura 21 revela trecho da rodovia na parte de jusante da erosão, já em desenvolvimento na mata de galeria.

A configuração retilínea da feição demonstra mais uma vez o papel fundamental exercido pela estrada no seu surgimento e evolução, interceptando e concentrando o fluxo de águas superficiais de origem pluviais.

Essas características enquadram a erosão, quanto à forma, como *linear*. Tais feições apresentam um grande desenvolvimento longitudinal, assemelhando-se a um *canyon*. Geralmente tal tipo de feição está relacionada a um desenvolvimento inicial em grande velocidade, associado a locais de solos e/ou rochas friáveis, com predomínio dos mecanismos erosivos oriundos de escoamentos superficiais e sub-superficiais. (MAGALHÃES, 2001)

No primeiro trecho da boçoroca, a montante, percebe-se região degradada no seu entorno – Figura 15. Como já exposto, essa região devejetada

provavelmente sofreu movimentação mecânica do solo, na tentativa de aterrar a erosão.

Na lateral esquerda da feição foi executada estrada de acesso, funcionando como dique. Ela intercepta e desvia da boçoroca as águas superficiais coletadas na bacia de contribuição. A solução paleativa isolou parcialmente o canal principal das águas superficiais de montante da vertente. A inexistência de medidas complementares de controle dos mecanismos erosivos no interior da boçoroca e suas imediações, entretanto, impede a estabilização da corrasão e alargamento do canal no trecho.

À jusante dessa estrada lateral as águas superficiais, em fluxo paralelo ao eixo da boçoroca, são concentradas e escoam em alta velocidade. Essa estrada/dique repete o papel original do leito antigo da BR 070, qual seja a interceptação e condução das águas originalmente escoando na forma de lençol ao longo da vertente, aumentando-lhe consideravelmente a energia.

Com alta concentração de volume e energia, a água desviada à montante retorna ao canal original da boçoroca de duas maneiras: por diversas ravinas anastomosadas que convergem para o canal originário da erosão, e por ravina única que se desenvolve paralelamente a esse canal primário, conectando-se a ele em trecho à jusante.

No primeiro caso, forma-se conjunto de sulcos e ravinas que conduzem as águas superficiais captadas à montante para a boçoroca – figuras 16 e 17. Com o fato ocorre sensível incremento da atividade da erosão, que no trecho também intercepta o substrato rochoso.

A ravina única – figuras 18 e 19 - conecta-se ao canal da boçoroca em seu trecho próximo ao Rio das Mortes. Esse trecho da conexão encontrava-se originalmente estabilizado, tendo sido reativado pelo forte aporte de água.

Essa concentração de águas superficiais contribui também para a manutenção de região degradada à esquerda da erosão, fortemente impactada também pela ação direta das águas de chuvas, que lhe selam a superfície – formação de crosta por erosão de embate.

LEGENDA TEMATICA

- Agricultura modernizada com cultura ciclica
Algodao (3 anos) rotacionado com graos (1 ano)
- Mata de galeria.
Ocorrencia (alguma) de especies exoticas.
- Vegetacao natural auto-recuperada semelhante a Savana Parque.
Ocorrencia de especies exoticas.
- Area degradada / devegetada
Solo exposto com formacao de crostas e sulcos.
- Area degradada / devegetada.
Solo exposto com formacao de crostas e ravinos.
- Bocorocamento.
Solo exposto em bocoroca linear.
- Ravinamento.

LEGENDA CARTOGRAFICA

- Rio das Mortes
- Surgencia perene
- Surgencia intermitente
- BR 070-atual
- BR 070-antigo
- Estrados acesso
- Curvas de nivel
- Divisor aguas

N.Q.



Coordenadas UTM
Datum SAD 69
Fuso 21S

Altitude ao nivel
medio do mar
Geoide global
EGM 96

Escala 1:5.000



Elaborado por
ISERNHAGEN, A
(2003)

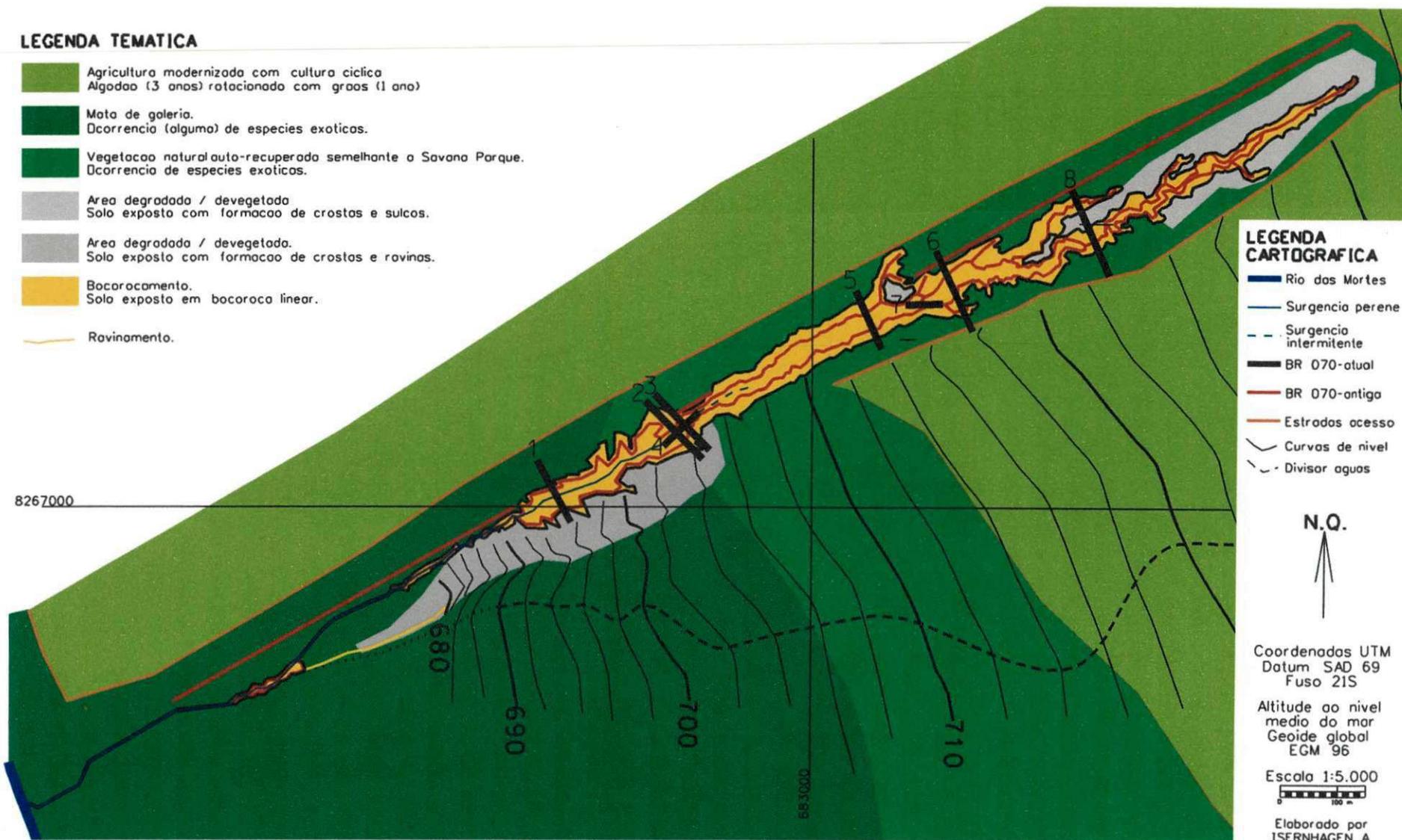


Figura 6 - Planta da bocoroca e localizacao das secoes transversais

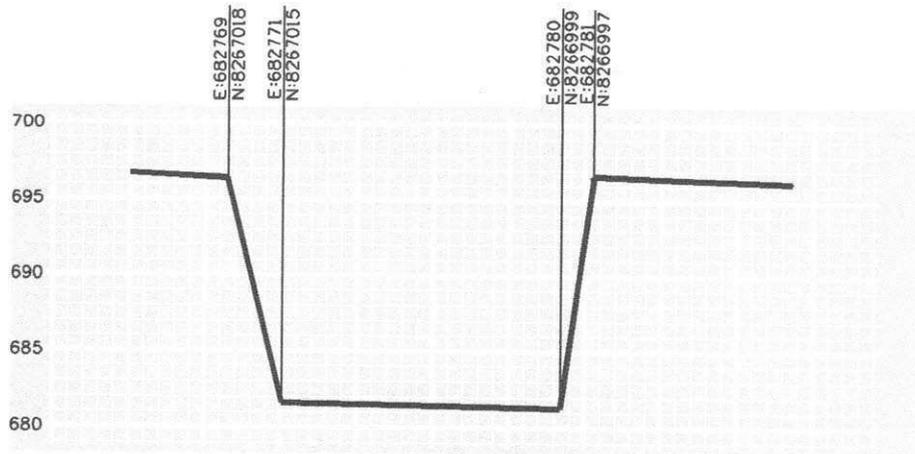


Figura 7 - Secao transversal 1

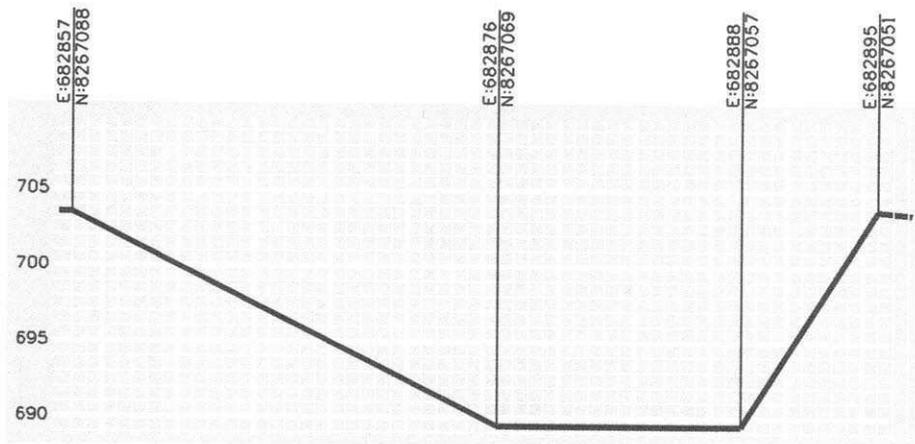


Figura 8 - Secao transversal 2.

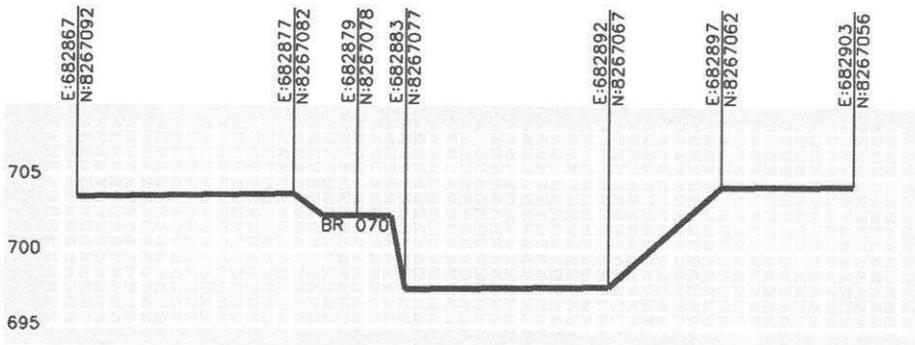


Figura 9 - Secao transversal 3, contendo trecho preservado da rodovia.

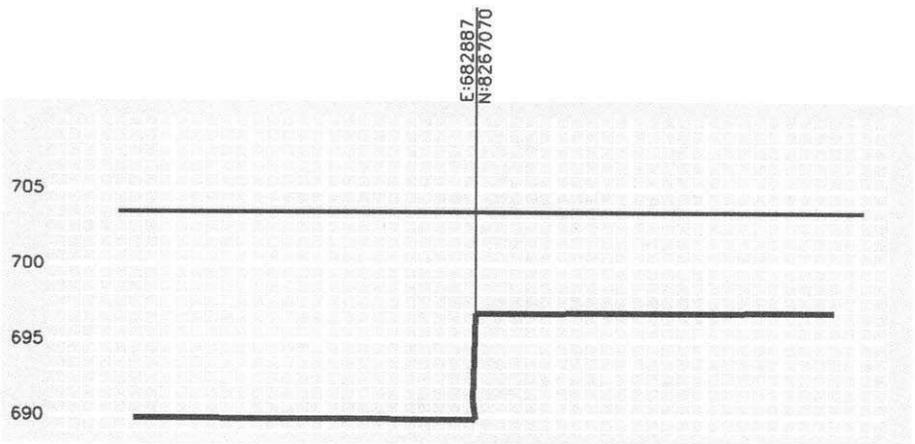


Figura 10 - Secao longitudinal 4, ruptura substrato rochoso.

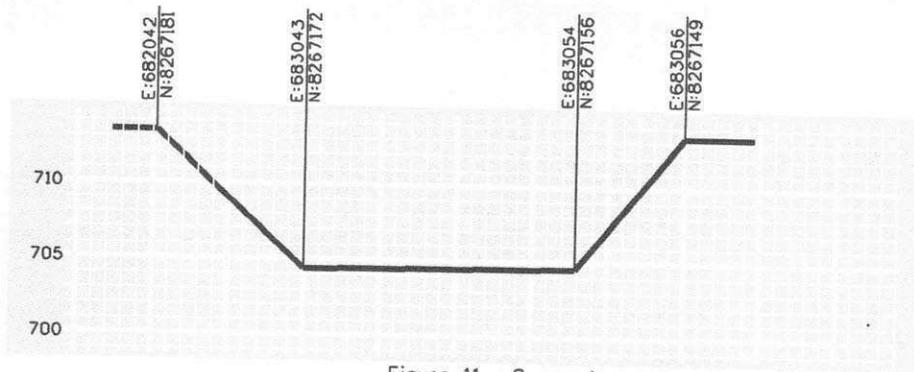


Figura 11 - Secao transversal 5.

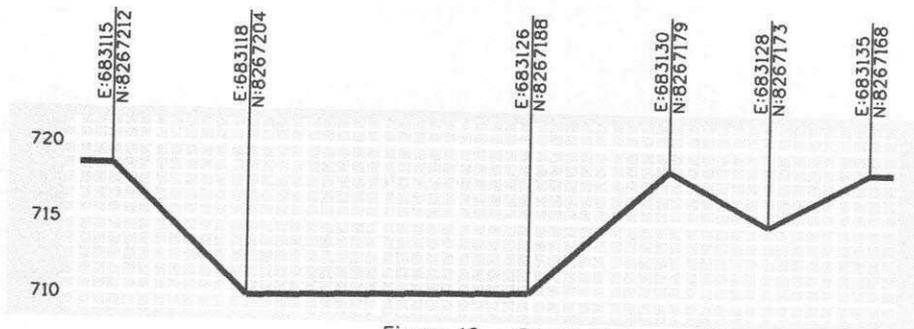


Figura 12 - Secao transversal 6.

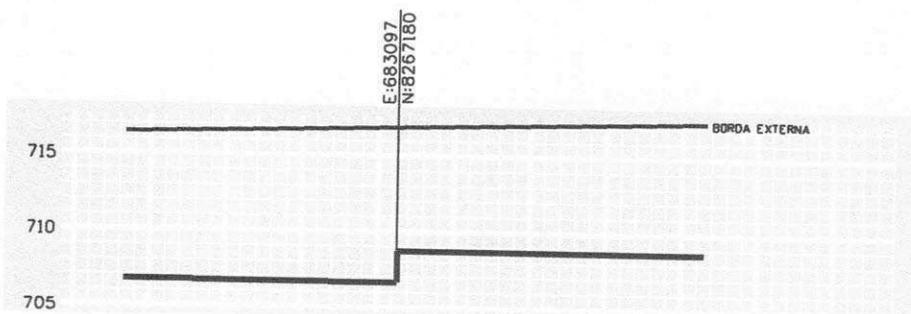


Figura 13 - Secao longitudinal 7, ruptura do substrato rochoso.

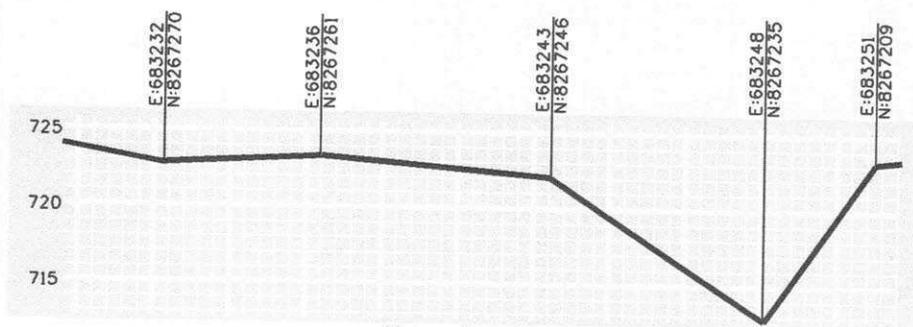


Figura 14 - Secao transversal 8.



Figura 15 – Região degradada a montante da erosão, observando-se formação de crostas e sulcos.



Figura 16 – Região degradada a esquerda da erosão, observando-se formação de crostas e ravinamento.

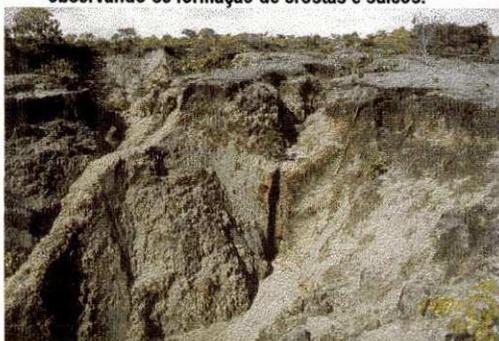


Figura 17 – Região degradada a esquerda da erosão, com alcovas de regressão na borda da boçoroca.



Figura 18 – Região degradada a esquerda da erosão, vendo-se material transportado da vertente.

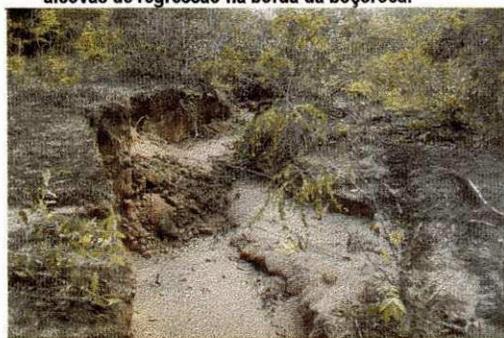


Figura 19 – Ravina ativa conectada à boçoroca, a jusante da região degradada.

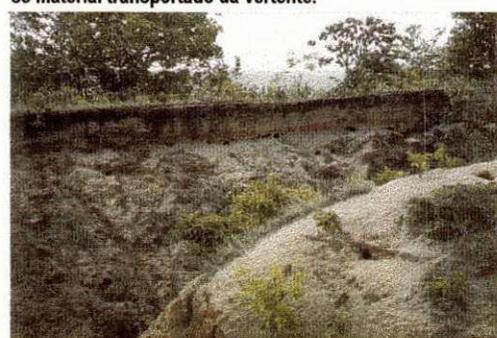


Figura 20 – Trecho remanescente do traçado antigo da rodovia BR 070, na parte de montante da erosão.



Figura 21 – Trecho remanescente do traçado abandonado da rodovia BR 070, próximo ao Rio das Mortes.



Figura 22 – Conexão da erosão ao Rio das Mortes.

No seu desenvolvimento longitudinal o fundo da boçoroca apresenta variação suave e contínua de cota, acompanhando a inclinação da vertente. Entretanto, ocorrem três pontos distintos de ruptura, localizados, em seqüência de montante para jusante, nas coordenadas E:683097;N:8267180 o primeiro; nas coordenadas E:682887;N:8267070 o segundo, e nas coordenadas E:682550;N:8266862 o terceiro.

A primeira e segunda rupturas brusca do fundo da boçoroca coincidem com intercepções do substrato rochoso, descritos em seção adiante. A terceira ruptura brusca do desenvolvimento do fundo ocorre no trecho da erosão que recebe as águas superficiais oriundas da bacia de contribuição na sua configuração atual. Ocorre aí reativação da erosão pelo aporte de águas superficiais no seu interior, como exposto em parágrafos anteriores.

Os dados estatísticos relacionados à configuração atual da feição erosiva estão resumidos na Tabela 5:

Tabela 5 – Estatísticas gerais da boçoroca.

PARÂMETRO GEOMETRICOS TOTAIS DA BOÇOROCA	VALOR
Comprimento total medido pelo eixo longitudinal	1.399 m
Altitude do ponto inicial - no nível do terreno	731 m
Altitude do ponto inicial - no fundo da boçoroca	727 m
Altitude do ponto final – interseção com Rio das Mortes	679 m
Declividade média boçoroca	3,6 %
Largura máxima	63,5 m
Profundidade máxima em relação ao nível do terreno	15,5 m
Área ocupada estimada	26.759 m ²
Volume estimado de solos e rochas removido	164.229 m ³

5.3 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM AS SEÇÕES TRANSVERSAIS

A compartimentação da boçoroca pelo critério da geometria de seu perfil transversal determinou sua divisão em 5 trechos, conforme planta na Figura 23.

O trecho I corresponde à parte inicial do boçorocamento. A forma em V da seção transversal confirma tratar-se de região de boçorocamento em fase inicial, desenvolvida sobre solo com relativa resistência à ação das águas superficiais. Foram notados sinais discretos de instabilidade de taludes no local.

O segmento de maior comprimento é o identificado como II, com seção transversal em forma de U, e grande profundidade. Em sua parte inicial, à montante, o trecho possui fundo relativamente estreito, anastomasado, desenvolvendo-se de maneira irregular. O trecho intermediário coincide com o contato da erosão com o horizonte C e substrato rochoso, de baixa permeabilidade,

formando barreira para o aprofundamento da boçoroca, e propiciando condições para o seu alargamento. Finalmente, o último trecho em U desenvolve-se na rocha esculpida pelo boçorocamento, logo após a segunda ruptura do substrato rochoso. Trata-se de região onde as surgências de águas sub-superficiais, aliadas à concentração de águas superficiais, contribuem para o alargamento da erosão.

O terceiro trecho, com seção transversal em forma de V, coincide com parte estabilizada da boçoroca. Nele há presença constante de água no fundo, existe vegetação desenvolvida nas paredes da erosão, e a feição é relativamente rasa no local.

O trecho identificado como IV corresponde à parte reativada da boçoroca, que recebe em alta velocidade e grande volume, parte das águas superficiais da bacia de contribuição de montante. Embora curto diante do comprimento total da erosão, o trecho apresenta alta atividade, tendendo a expandir-se rapidamente.

Finalmente, o último trecho, identificado como V, considera a parte estabilizada da boçoroca junto ao leito do Rio das Mortes. Trata-se de parte rasa da erosão, sem sinais evidentes de atividade, apresentando bancos de material arenoso ao longo do seu desenvolvimento, transportado pelas águas superficiais da bacia de contribuição e partes de montante da boçoroca.

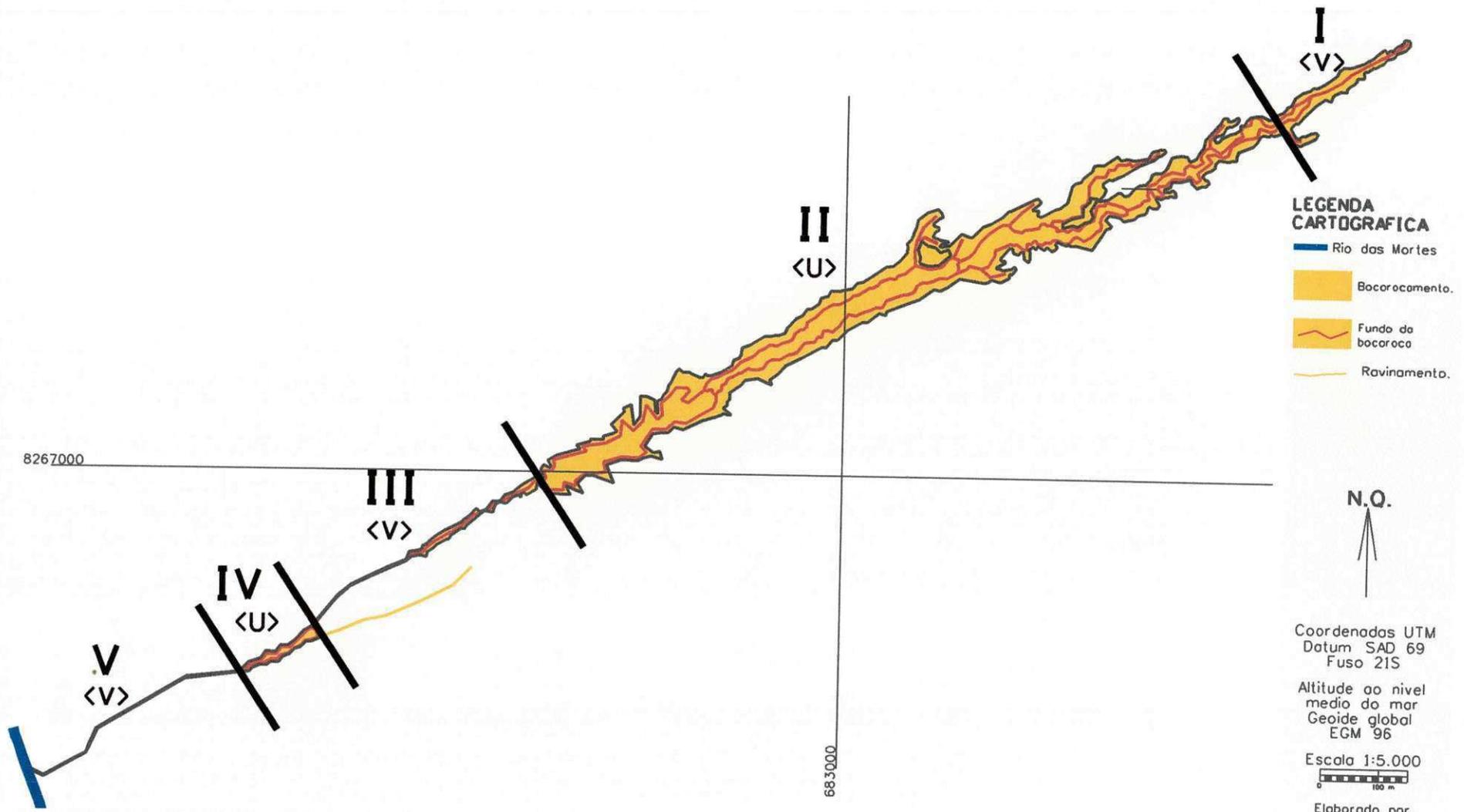


Figura 23 - Compartimentação da bocoroca de acordo com a forma dos perfis transversais.

5.4 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM O REGIMES DE ÁGUA NA BOÇOROCA

A compartimentação da boçoroca pelo critério da presença e origem de águas determinou sua divisão em 4 trechos, conforme planta na figura 24.

O primeiro trecho da boçoroca, identificado como trecho I, não apresenta sinais de surgências de águas sub-superficiais. Compreende a parte da boçoroca submetida à ação de águas superficiais, que lhe erodem as bordas e o fundo.

Verifica-se surgência intermitente de águas sub-superficiais no segundo trecho, aproximadamente entre a primeira e segunda ruptura brusca do fundo da erosão. Essa surgência manifesta-se na zona de contato entre o horizonte C da cobertura pedológica com o substrato rochoso. A situação favorece a formação de *piping* na base dos taludes de terra. No local ocorre, entre os meses de fevereiro e agosto, discreto acúmulo e fluxo de águas superficiais. Na região de jusante da surgência percebe-se carreamento de finos por esse fluxo d'água formado.

Ocorre surgência perene no trecho III, à jusante da segunda ruptura brusca do fundo da boçoroca, com fluxo contínuo de águas sub-superficiais originárias do substrato rochoso interceptado no local. Ela alimenta fluxo contínuo de águas superficiais, que flui pelo fundo da erosão até sua interceptação do Rio das Mortes. Ao longo da rocha exposta percebe-se contribuições de surgências menores, em maior número no bordo esquerdo da boçoroca.

No trecho IV a boçoroca recebe águas superficiais oriundas da bacia de contribuição. O fato concorre para a reativação de trecho antes estabilizado da erosão.

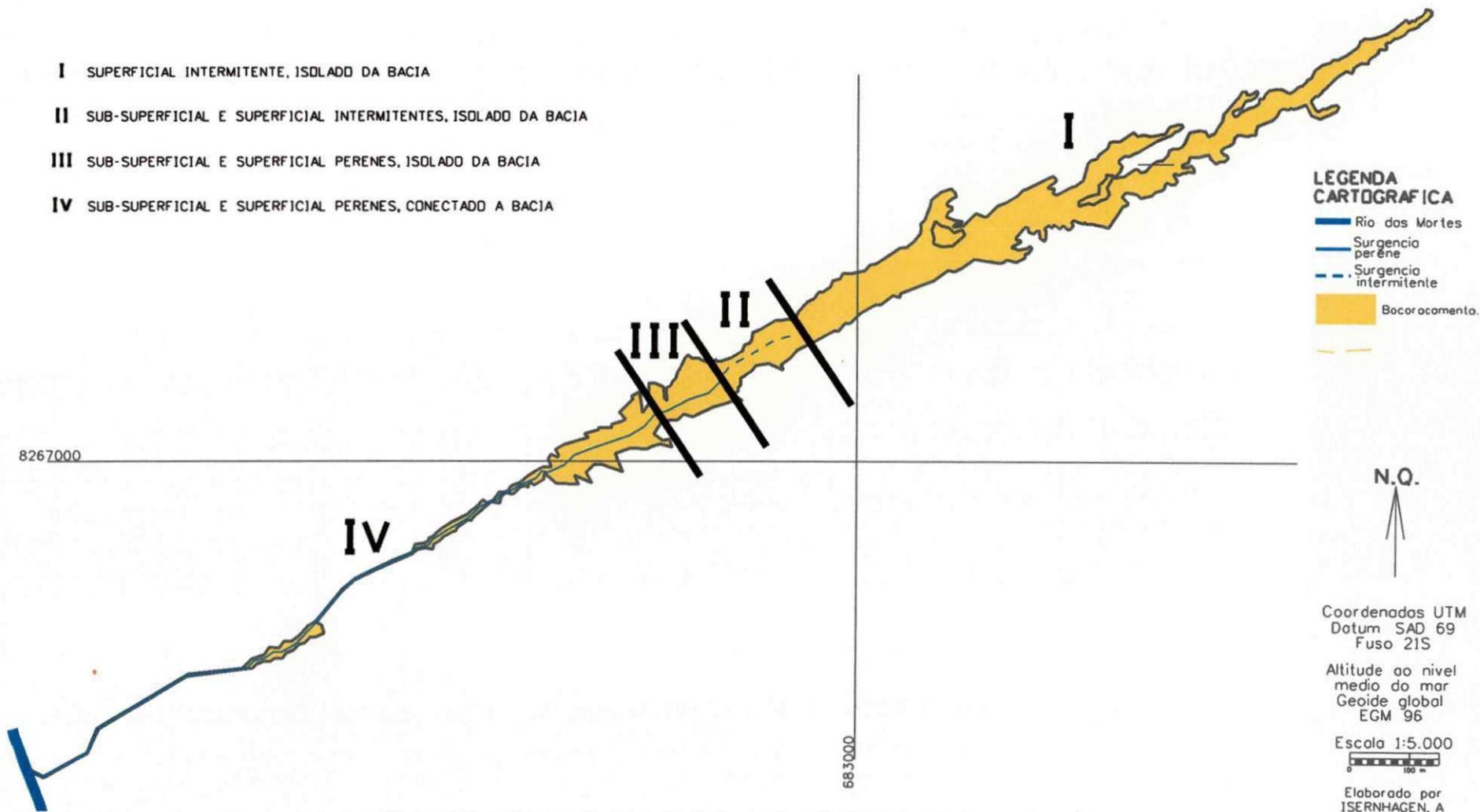


Figura 24 - Compartimentacao da bocoroca de acordo com o regime de aguas.

5.5 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM OS SOLOS E ROCHAS INTERCEPTADOS PELA BOÇOROCA

5.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS LIMITES ENTRE COBERTURAS PEDOLÓGICAS

A investigação de campo revelou que a boçoroca intercepta duas coberturas pedológicas distintas, o latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa no seu trecho de montante, e a areia quartzosa à margem do Rio das Mortes, com região de transição entre ambos, como disposto na planta da Figura 25.

Na transição entre latossolo e areia quartzosa percebe-se leve ruptura do declive, potencializando a aceleração da concentração do escoamento superficial. Os solos apresentam perfil não hidromórfico, alta profundidade e porosidade. Ocorre pequena variação textural entre os horizontes A, B e C. Mescla características de ambas as classes de solos que a confinam. Os teores de areia se elevam à medida que se aproxima a região coberta por areia quartzosa. O lençol freático é profundo, normalmente localizado no contato entre o horizonte C e o substrato rochoso. Percebe-se a diminuição da profundidade do solo à medida que se desce a vertente, com exposição do substrato rochoso pela boçoroca. No local percebe-se afloramento do lençol sub-superficial.

Na região em estudo, a areia quartzosa é formada por camada relativamente profunda, de constituição areno-quartzosa, com coloração amarelada. Ocupa a porção média-baixa e baixa da vertente, sendo altamente suscetível à formação de erosões lineares pelo baixo teor de argila que apresenta ao longo de todo o seu perfil. Formado a partir da intemperização do substrato rochoso da Formação Fumas, possui boa drenagem e pouca diferenciação entre os horizontes A e C.

Os limites entre as classes de solos, e da própria região de transição, não se encontram perfeitamente definidos. Considerou-se, para efeito de compartimentação, critérios subjetivos.

O limite da cobertura por Latossolo foi definido em coincidência com o final da linha de concreções lateríticas verificadas em profundidade no desenvolvimento da boçoroca. O posicionamento do início da cobertura por Areia Quartzosa considerou a ruptura da declividade do terreno, próximo ao curso do Rio das Mortes, a alteração de cor do solo, passando de cinza-claro para tons amarelados e, de maneira indireta, o aumento do porte da vegetação.

5.5.2 COMPARTIMENTAÇÃO DE ACORDO COM SOLOS E ROCHAS INTERCEPTADOS

A compartimentação da boçoroca pelo critério dos solos e rochas interceptados determinou sua divisão em 4 trechos, conforme planta da Figura 25.

O primeiro trecho – trecho I - considera a cobertura por latossolo vermelho-amarelo distrófico e álico, profundo, textura média a arenosa. Percebe-se em diversos locais camada constituída de concreções lateríticas, e discreta alteração de características do solo abaixo dela, com diminuição do teor de areia.

O trecho II limita-se a montante com a cobertura de latossolos, e a jusante com a segunda ruptura do substrato rochoso. O boçorocamento é profundo, e não se percebem alterações que indiquem horizontes definidos nas paredes. Ocorre contato da erosão com o substrato rochoso, inclusive sua ruptura às coordenadas E:682887;N:8267070. O fundo largo e plano ao longo de todo o desenvolvimento do trecho deve-se justamente a esse contato com substrato rochoso, não havendo continuidade de sua erosão a partir dos pontos de ruptura pelo isolamento do canal de sua bacia de contribuição.

O trecho III inicia-se na segunda ruptura do substrato rochoso e vai até o início da cobertura por Areia Quartzosa. A cobertura pedológica é a mesma do trecho II, porém ocorre erosão em rocha no local. O substrato de siltito forma taludes íngremes, de até 90° nas posições de montante, e severo aprofundamento da boçoroca.

Ao fim da erosão, no trecho IV, a incisão ocorre em Areia Quartzosa. Em pequeno percurso, no início da classe de solos, onde parte das águas da bacia de contribuição são concentradas em ravina conectada, ocorre alargamento da boçoroca. Atribui-se o fato à fragilidade maior do solo no local, não resistente à concentração de águas superficiais.

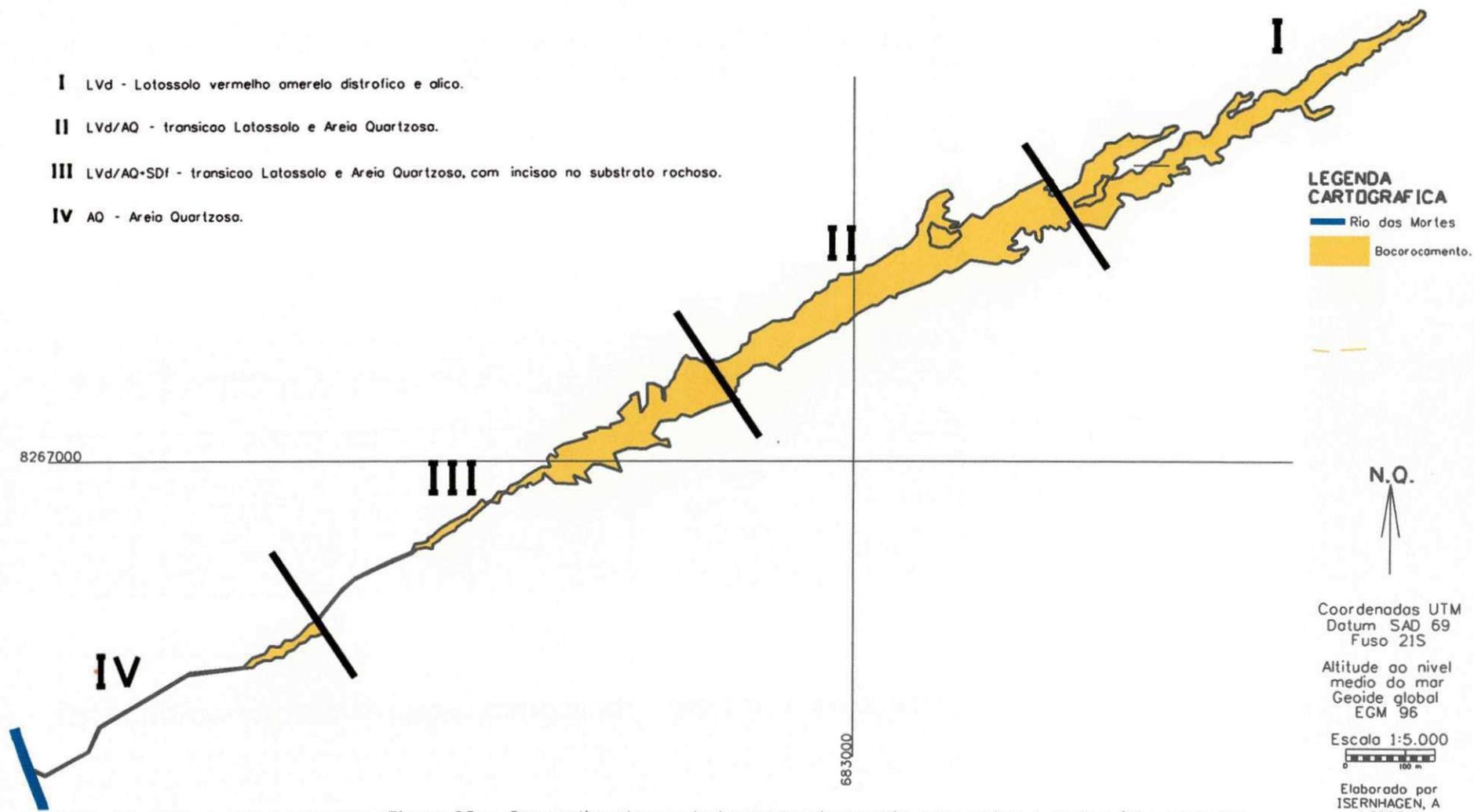


Figura 25 - Compartimentacao da bocoroca de acordo com solos e rochas interceptados.

5.6 PRINCIPAIS MECANISMOS ATIVOS NA BOÇOROCA

O primeiro trecho da boçoroca – trecho I – isolado da bacia de contribuição da boçoroca, desenvolveu-se pela ação predominante de fluxo concentrado de águas superficiais. Não acontece contato da erosão com o substrato rochoso, e não foram percebidas surgências de águas sub-superficiais ao longo de um ano. Notam-se desestabilizações de taludes em locais discretos, com movimentos de massa do tipo conchoidal.

Em seguida, no início da transição entre latossolo e areia quartzosa, a erosão se aprofunda, atingindo o horizonte C da camada pedológica e o substrato rochoso.

Na parte inicial desse segundo trecho, onde a boçoroca tem seu fundo limitado pelo substrato rochoso, acontece alargamento considerável. O fluxo superficial concentrado promove a contínua remoção de material na base dos taludes da erosão, provocando movimentos de massa pela desestabilização das paredes. O material erodido é continuamente removido e transportado por esse mesmo fluxo concentrado para posições de jusante.

Com o desenvolvimento para posições de jusante da vertente, a boçoroca intercepta o lençol sub-superficial de água. Soma-se então a ação do escoamento superficial com o solapamento de base dos taludes. Os movimentos de massa são intensificados, com contínuo alargamento da boçoroca para montante.

A partir da ruptura do substrato rochoso, a boçoroca passa a receber águas pluviais concentradas oriundas da sua bacia de contribuição, iniciando o trecho IV.

O confinamento da erosão pelo dique constituído pela estrada à sua esquerda deixa de existir. As águas superficiais da bacia de contribuição tendem então a convergir para o interior da feição. Parte dessas águas concentra-se em pequena depressão e, em seguida, ravinamento que se forma paralelamente ao canal principal. Outra parcela das águas converge para o interior da erosão numa série de sulcos e ravinas formadas na região devegetada à esquerda da boçoroca.

No trecho soma-se aos mecanismos já expostos e que continuam a atuar no fundo da boçoroca a erosão por quedas d'água. As águas superficiais advindas da bacia de contribuição, convergindo parcialmente para o canal da erosão, conectam-se a ele por uma série de ravinas que, pelo desnível formado, precipitam-se para o fundo em quedas d'água.

Também após a interceptação do substrato rochoso, onde a erosão se desenvolve então na rocha, ocorre surgência perene de águas sub-superficiais, com fluxo contínuo de águas superficiais no fundo da boçoroca.

Trata-se do trecho de maior atividade da erosão. O fluxo contínuo de água no fundo da boçoroca, alimentado pela surgência perene de águas sub-superficiais, somado à ação de águas de chuvas que escoam pelo fundo da feição ou são para ela dirigidas pelo ravinamento na superfície da vertente, promovem seu rápido alargamento e avanço para montante.

Passado esse percurso com maior atividade, a boçoroca estreita bruscamente, iniciando o trecho V. Passa a partir daí por trecho de relativa estabilização. Ela se desenvolve no substrato rochoso, mas não se percebe seu alargamento ou aprofundamento acelerado no local. Ocorre revegetação de suas paredes e fundo, com crescimento inclusive de arbustos de médio porte e árvores menores.

Após o recebimento de águas da bacia de contribuição, com a conexão ao canal principal de ravina que concentra águas superficiais, ocorre reativação da boçoroca – trecho VI. Predominam a partir de então os mecanismos erosivos relacionados ao escoamento superficial de águas e erosão por queda d'água. Não foram percebidas surgências no trecho, mas o grande volume de águas superficiais correntes na boçoroca pode tornar imperceptíveis pontos de afloramento do lençol sub-superficial.

Finalmente, no seu trecho final – trecho VII - e até a conexão ao Rio das Mortes, a boçoroca encontra-se estabilizada, com crescimento de vegetação de porte nas suas margens. Não se percebem atuações de mecanismos erosivos, mas o transporte e, em determinados trechos, depósito do material vindo de montante.

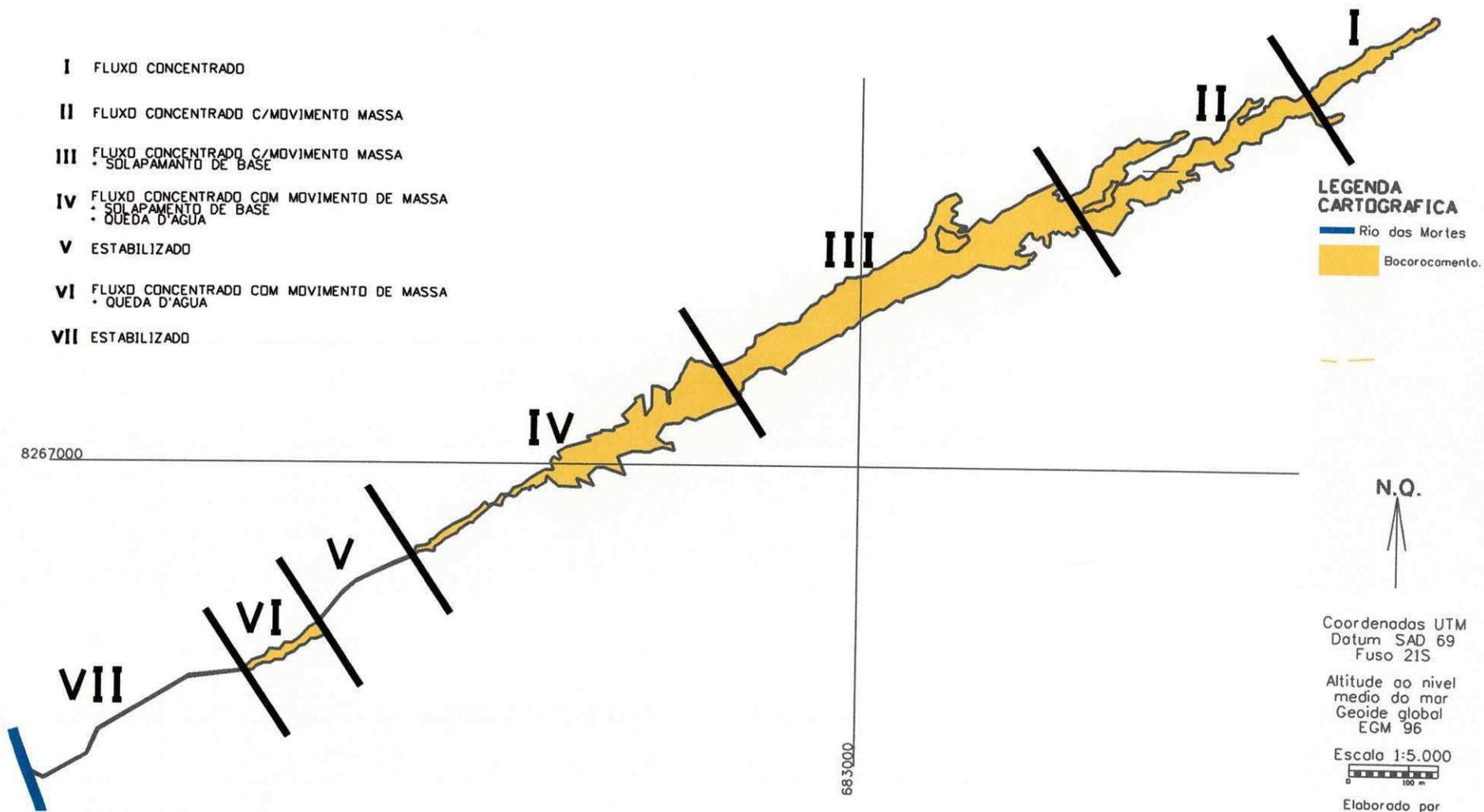


Figura 26 - Compartimentação da bocoroca de acordo com os mecanismos erosivos predominantes.

6 COMPARTIMENTAÇÃO FINAL INTEGRADA DA BOÇOROCA E SUGESTÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE APLICÁVEIS

A sobreposição das características estudadas, quais sejam a forma do perfil transversal da boçoroca, o regime de águas, solos e rochas interceptados e principais mecanismos erosivos atuantes, resultou na divisão final da erosão estudada em 10 compartimentos. As posições dos compartimentos está representada na planta da Figura 27.

Cada um desses segmentos – compartimentos - apresenta conjunto de características singular, que exigem atenção diferenciada no planejamento de estudos geotécnicos complementares e escolha de obras de engenharia para seu controle.

Os dados dos compartimentos são apresentados na forma de fichas, de leitura objetiva e imediata. Para cada trecho discretizado são elencados os dados colhidos e fotografias, quando possível sua tomada.

As fichas contém também sugestões de soluções de engenharia e edáficas aplicáveis ao controle do boçorocamento no compartimento. Ressalte-se que a aplicabilidade das medidas de controle sugeridas deve ser considerada à luz de atualização e detalhamento do diagnóstico feito, realização de ensaios geotécnicos complementares, além do dimensionamento técnico das obras e serviços.

LEGENDA TEMATICA

- Agricultura modernizada com cultura ciclica
Algodao (3 anos) rotacionado com graos (1 ano)
- Mata de galeria.
Ocorrencia (alguma) de especies exoticas.
- Vegetacao natural auto-recuperada semelhante a Savana Parque.
Ocorrencia de especies exoticas.
- Area degradada / devegetado
Solo exposto com formacao de crostas e sulcos.
- Area degradada / devegetado.
Solo exposto com formacao de crostas e ravinas.
- Bocorocamento.
Solo exposto em bocoroca linear.
- Bocorocamento.
Desenvolvimento do fundo.
- Ravinamento.

LEGENDA CARTOGRAFICA

- Rio dos Mortes
- Surgencia perene
- Surgencia intermitente
- BR 070-atual
- BR 070-antiga
- Estradas acesso
- Curvas de nivel
- Divisor aguas



Coordenadas UTM
Datum SAD 69
Fuso 21S

Altitude ao nivel
medio do mar
Geoide global
EGM 96

Escala 1:5.000

Elaborado por
ISERNHAGEN, A
(2003)

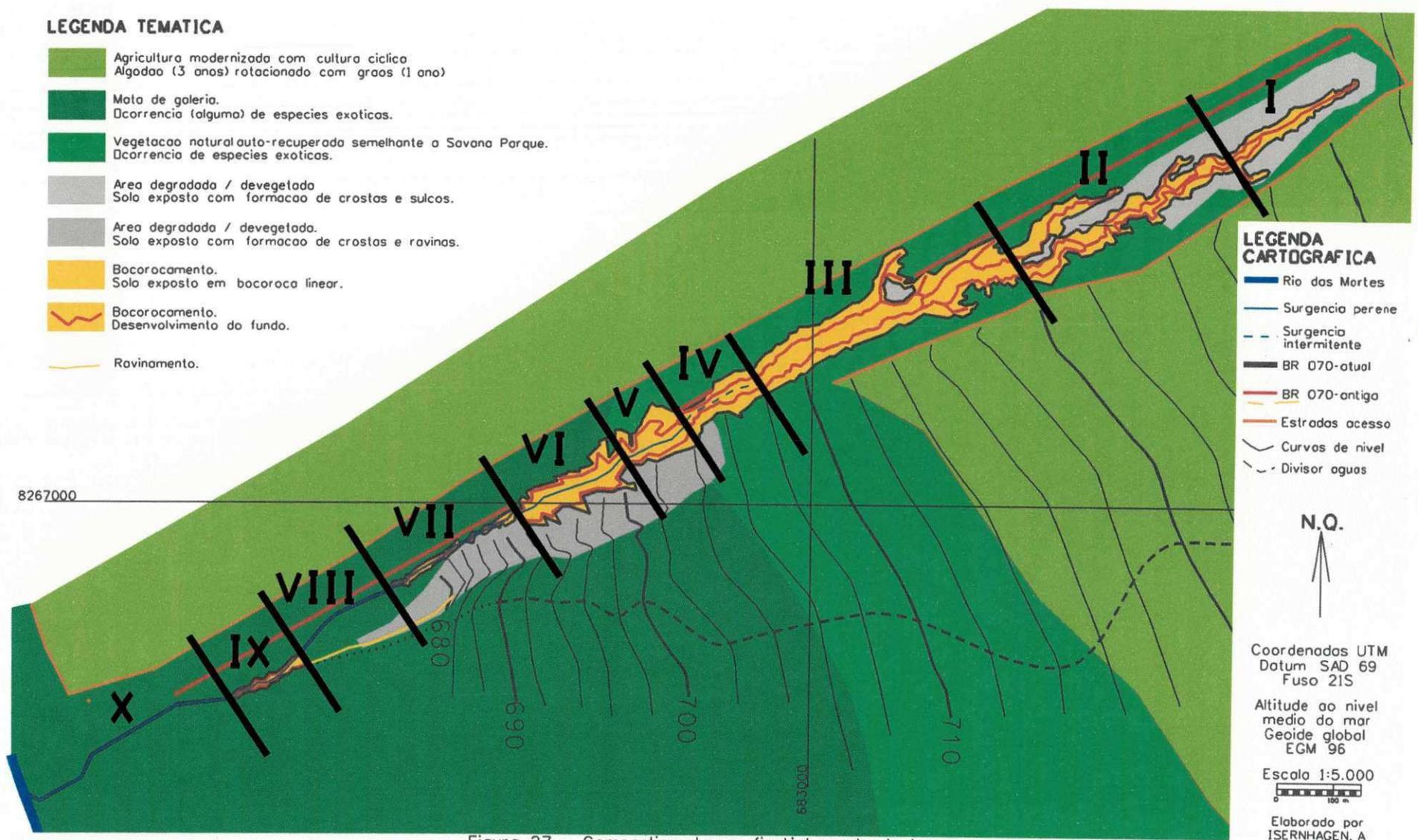


Figura 27 - Compartimentacao final integrada da bocoroca.

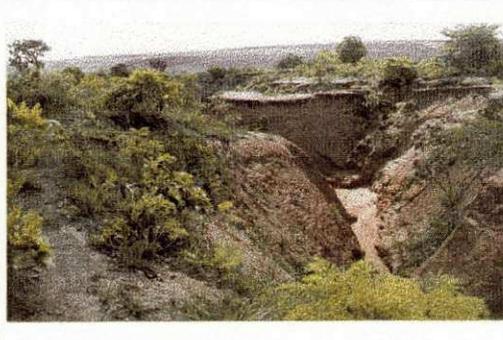
6.1.1 COMPARTIMENTO I – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 1 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho I da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	V
Regime de águas	SUPERFICIAL INTERMITENTE, ISOLADO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO
Coordenadas do início do trecho	E:683477; N:8267381
Coordenadas do final do trecho	E:683368; N:8267308
Comprimento do trecho – pelo eixo	131 m
Área de projeção horizontal do trecho	1744 m ²
Profundidade no início do trecho	4 m
Profundidade no final do trecho	6 m
Volume removido estimado	5813 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
INÍCIO DA BOÇOROCA A MONTANTE	REGIÃO CARACTERÍSTICA DO TRECHO I
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • plantio de gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nas adjacências da boçoroca. 	

6.1.2 COMPARTIMENTO II – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 2 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho II da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUPERFICIAL INTERMITENTE, ISOLADO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA
Coordenadas do início do trecho	E:683368; N:8267308
Coordenadas do final do trecho	E:683180; N:8267213
Comprimento do trecho – pelo eixo	211 m
Área de projeção horizontal do trecho	6144 m ²
Profundidade no início do trecho	6 m
Profundidade no final do trecho	6 m
Volume removido estimado	29491 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
REGIÃO DE MONTANTE DO TRECHO	REGIÃO DE JUSANTE DO TRECHO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • reconformação manual das paredes, permitindo plantio de espécies vegetais; • execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, conduzindo-as de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • plantio de gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nas adjacências da boçoroca. 	

6.1.3 COMPARTIMENTO III – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 3 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho III da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUPERFICIAL INTERMITENTE, ISOLADO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA + SOLAPAMENTO DE BASE DE TALUDE
Coordenadas do início do trecho	E:683180; N:8267213
Coordenadas do final do trecho	E:682952; N:8267109
Comprimento do trecho – pelo eixo	251 m
Área de projeção horizontal do trecho	9602 m ²
Profundidade no início do trecho	6 m
Profundidade no final do trecho	5 m
Volume removido estimado	42249 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
REGIÃO DE MONTANTE DO TRECHO	REGIÃO DE JUSANTE DO TRECHO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Reconformação manual das paredes, permitindo adaptação de tela vegetal e plantio de espécies vegetais; • Proteção superficial do solo nas paredes com tela vegetal degradável; • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, conduzindo-as de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • Execução de diques de retenção no fundo da erosão. 	

6.1.4 COMPARTIMENTO IV – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 4 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho IV da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL INTERMITENTE, ISOLADO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA + SOLAPAMENTO DE BASE DE TALUDE
Coordenadas do início do trecho	E:682952; N:8267109
Coordenadas do final do trecho	E:682888; N:8267071
Comprimento do trecho – pelo eixo	74 m
Área de projeção horizontal do trecho	2003 m ²
Profundidade no início do trecho	5 m
Profundidade no final do trecho	5 m
Volume removido estimado	8012 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
REGIÃO DE MONTANTE DO TRECHO	FINAL DO TRECHO, NA RUPTURA SUBSTRATO ROCHOSO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Reconformação manual das paredes, em associação com obras de reforço do solo com geotêxteis e gabiões ao final do trecho; • Drenagem controlada de águas sub-superficiais na base dos taludes; • Proteção superficial do solo nas paredes com tela vegetal degradável; • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, conduzindo-as de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • Execução de diques de retenção no fundo da erosão; • Execução de barragem de estabilização no final do trecho, com obras complementares de reforço do solo nas laterais da estrutura. 	

6.1.5 COMPARTIMENTO V – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 5 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho V da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, ISOLADO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ + Sdf
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA + SOLAPAMENTO DE BASE DE TALUDE + QUEDA D'AGUA
Coordenadas do início do trecho	E:682888; N:8267071
Coordenadas do final do trecho	E:682833; N:8267042
Comprimento do trecho – pelo eixo	62 m
Área de projeção horizontal do trecho	2333 m ²
Profundidade no início do trecho	13 m
Profundidade no final do trecho	14 m
Volume removido estimado	25196 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
VISTA DE MONTANTE PARA JUSANTE DO TRECHO	VISTA DE JUSANTE PARA MONTANTE DO TRECHO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Reforço do solo, ao pé dos taludes, com geotêxteis e gabiões; • Drenagem controlada de águas sub-superficiais na base dos taludes; • Proteção superficial do solo nas paredes com tela vegetal degradável; • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, e sua condução de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • execução de diques de retenção permanentes no fundo da erosão; 	

6.1.6 COMPARTIMENTO VI – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 6 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VI da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ + Sdf
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO c/ MOVIMENTO DE MASSA + SOLAPAMENTO DE BASE DE TALUDE + QUEDA D'ÁGUA
Coordenadas do início do trecho	E:682833; N:8267042
Coordenadas do final do trecho	E:682740; N:8266990
Comprimento do trecho – pelo eixo	107 m
Área de projeção horizontal do trecho	3163 m ²
Profundidade no início do trecho	14 m
Profundidade no final do trecho	14 m
Volume removido estimado	44282 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
VISTA DE JUSANTE PARA MONTANTE DO TRECHO	DETALHE TÍPICO DE TALUDE NO LADO ESQUERDO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Obras de reforço do solo, ao pé dos taludes, com geotêxteis e gabiões; • Drenagem controlada de águas sub-superficiais na base dos taludes; • Proteção superficial do solo nas paredes com tela vegetal degradável; • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, e sua condução de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • Execução de diques de retenção permanentes no fundo da erosão; 	

6.1.7 COMPARTIMENTO VII – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 7 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VII da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	V
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ + SDF
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA + SOLAPAMENTO DE BASE DE TALUDE + QUEDA D'ÁGUA
Coordenadas do início do trecho	E:682740; N:8266990
Coordenadas do final do trecho	E:682626; N:8266922
Comprimento do trecho – pelo eixo	133 m
Área de projeção horizontal do trecho	754 m ²
Profundidade no início do trecho	14 m
Profundidade no final do trecho	6 m
Volume removido estimado	6032 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
VISTA DE JUSANTE PARA MONTANTE DO TRECHO	DETALHE DE TALUDE NO INÍCIO DO TRECHO
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Proteção superficial do solo nas paredes, em trechos discretos, com tela vegetal degradável; • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, e sua condução de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • Execução de diques de retenção no fundo da erosão; 	

6.1.8 COMPARTIMENTO VIII – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 8 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho VIII da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	V
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	LVd/AQ + SDf
Mecanismos erosivos predominantes	ESTABILIZADO
Coordenadas do início do trecho	E:682626; N:8266922
Coordenadas do final do trecho	E:682547; N:8266866
Comprimento do trecho – pelo eixo	97 m
Área de projeção horizontal do trecho	108 m ²
Profundidade no início do trecho	6 m
Profundidade no final do trecho	2 m
Volume removido estimado	288 m ³
FOTOGRAFIAS	
Cobertura vegetal densa não permite tomada de fotografias	
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Execução de banquetas de captação e desvio de águas das bordas da erosão, e sua condução de maneira disciplinada para o seu interior em escadas de descida e dissipadores de energia ao final; • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade e saturados, no fundo da erosão; 	

6.1.9 COMPARTIMENTO IX – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 9 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho IX da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	U
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	AQ
Mecanismos erosivos predominantes	FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO C/ MOVIMENTO DE MASSA + QUEDA D'ÁGUA
Coordenadas do início do trecho	E:682547; N:8266866
Coordenadas do final do trecho	E:682485; N:8266826
Comprimento do trecho – pelo eixo	74 m
Área de projeção horizontal do trecho	597 m ²
Profundidade no início do trecho	6 m
Profundidade no final do trecho	6 m
Volume removido estimado	2866 m ³
FOTOGRAFIAS	
	
VISTA DE JUSANTE PARA MONTANTE DO TRECHO	
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Reconformação manual das paredes em terra, para plantio de espécies vegetais; • Proteção superficial do solo nas paredes com tela vegetal degradável; • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e gramíneas, adaptadas a solos de baixa fertilidade, nos taludes da erosão; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade, no fundo da erosão; • Execução de diques de retenção no fundo da erosão; 	

6.1.10 COMPARTIMENTO X – CARACTERÍSTICAS E SOLUÇÕES PARA CONTROLE SUGERIDAS

Ficha 10 – Características e soluções de controle sugeridas para o Trecho X da boçoroca.

DADOS DO TRECHO	
PARÂMETRO / DADO DO TRECHO	VALOR / CARACTERÍSTICA
Forma da seção transversal	V
Regime de águas	SUB-SUPERFICIAL E SUPERFICIAL PERENES, CONECTADO À BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
Solos e rochas interceptados	AQ
Mecanismos erosivos predominantes	ESTABILIZADO
Coordenadas do início do trecho	E:682485; N:8266826
Coordenadas do final do trecho	E:682302; N:8266741
Comprimento do trecho – pelo eixo	214 m
Área de projeção horizontal do trecho	
Profundidade no início do trecho	nível do terreno natural
Profundidade no final do trecho	nível do terreno natural
Volume removido estimado	
FOTOGRAFIAS	
Cobertura vegetal densa não permite tomada de fotografias	
MEDIDAS DE CONTROLE SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Controle e desvio das águas da bacia de contribuição com práticas edáficas na vertente; • Plantio de espécies vegetais arbustivas e árvores, adaptadas a solos de baixa fertilidade e saturados, no fundo da erosão; 	

7 CONCLUSÕES

O cadastro de feição erosiva linear com utilização de sistema GPS e integração de dados em CAD mostrou-se eficaz na caracterização preliminar do fenômeno. Os resultados apresentados foram possíveis pela aplicação de metodologia de análise integrada das características da boçoroca. A coleta de dados de maneira dirigida e ordenada, com utilização planejada de coletor de dados e equipamento GPS, permitiu o cadastro rápido e em escala adequada das suas principais características e da vertente. A classificação das informações em planos distintos no ambiente CAD propiciou a compartimentação da feição erosiva em trechos característicos.

O processo revelou-se rápido e passível de desenvolvimento em tempos diferentes. Novamente, o adequado planejamento permitiu a coleta de dados em datas distintas, pois a materialização de marcos de apoio nas bordas da erosão propiciou o georeferenciamento das informações coletadas em diversas datas. Essa prática permitiu a alocação do equipamento GPS somente uma vez, desenvolvendo-se posteriormente algumas etapas do trabalho de cadastro com auxílio de ferramentas simples, como trenas.

A integração de dados no ambiente CAD possibilitou sua livre manipulação e classificação. Foram criados planos de informações acerca da boçoroca que, depois de compartimentados individualmente, foram sobrepostos. Essa sobreposição permitiu a compartimentação final da boçoroca.

A esse conjunto de dados podem ser incorporadas novas informações em qualquer tempo, agregando valor ao banco formado. Novas compartimentações podem ser desenvolvidas, e a própria evolução e/ou eficácia de medidas de controle do boçorocamento poderão ser monitoradas.

No caso analisado, as diferentes combinações entre formato de seções transversais, regimes de águas sub-superficiais e superficiais, solos e rochas interceptados e mecanismos erosivos predominantes levaram à compartimentação da boçoroca em dez trechos distintos. Cada compartimento apresenta combinação única das características elencadas, que conformam o desenvolvimento local da erosão.

O estudo da vertente onde instalada a boçoroca permitiu classificá-la quanto à suscetibilidade a fenômenos erosivos lineares, determinar a bacia de contribuição da erosão e identificar as interferências antrópicas responsáveis pela gênese e evolução da feição erosiva estudada.

Os trechos I a IV da boçoroca, localizados nas porções de montante, encontram-se hoje isolados da bacia de contribuição. Sua evolução, desacelerada, ocorre pelo escoamento superficial das águas pluviais captadas em pequena superfície externa à erosão e no interior do canal, e pela ação de águas sub-superficiais ocorrentes no final do Trecho IV.

Nos trechos V e VI verifica-se a maior atividade da boçoroca, acumulando efeitos erosivos de águas superficiais concentradas, oriundas da bacia de contribuição, e de águas sub-superficiais perenes. Ocorre nos trechos erosão no substrato rochoso de siltito, formando taludes de até 90° e altura de 15 m. A fragilidade do solo, de transição entre Latossolo e Areia Quartzosa, contribui também para a sua maior erodibilidade.

A boçoroca passa por relativa estabilização e estabilização, respectivamente, nos trechos VII e VIII. A menor ação dos agentes erosivos, notadamente de águas superficiais da bacia de contribuição, diminuem a atividade do boçorocamento. Ocorrem nos trechos também erosão no substrato de siltito, mas com taludes menos profundos e íngremes.

No Trecho IX ocorre reativação do boçorocamento, em cobertura de Areia Quartzosa, pelo aporte concentrado de águas superficiais oriundas da bacia de contribuição. Ravinamento formado em paralelo ao canal principal da erosão conduz águas em volume e velocidade para o interior da boçoroca, promovendo seu alargamento e aprofundamento.

Finalmente, o Trecho X, conectado ao Rio das Mortes, encontra-se estabilizado, sem sinais evidentes de remoção de material de suas margens e fundo.

Para cada trecho foram sugeridas possíveis medidas de controle adequadas ao formato da seção transversal da boçoroca, regime de águas ocorrente, classe de solo e rocha interceptados, e mecanismos erosivos predominantes. Essas obras e serviços de engenharia, e medidas edáficas complementares, podem ser previamente quantificadas. Os estudos e ensaios geotécnicos necessários podem ser dirigidos para situação encontrada, de acordo com a importância e custos da interferência necessária.

O cadastro preliminar da boçoroca comprovou também a relação de sua gênese com a ocupação antrópica. A erosão nasceu da implantação de leito de estrada na vertente sem a execução de obras complementares de controle das águas superficiais interceptadas.

8 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Este trabalho apresenta ferramenta nova de cadastro de feição erosiva linear, ora desenvolvido para coleta e sistematização de dados preliminares do fenômeno.

A evolução do sistema GPS e seus equipamentos, a incorporação de novas informações, e a adoção de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), dentre outras opções, abrem perspectivas para o aperfeiçoamento da metodologia de cadastro proposta e a elaboração de novas pesquisas.

Sugerem-se os seguintes trabalhos de pesquisa em continuidade:

- estudo da variação de propriedades geotécnicas na região e ao longo de feição erosiva linear, e sua validação como critério de compartimentação;
- cadastro tridimensional de feição erosiva, e validação de critérios de compartimentação que considerem variações de dados de acordo com a profundidade ou cotas altimétricas;
- elaboração de Modelo Tridimensional de Terreno (MDT) para fins de cadastro de feição erosiva linear;
- integração de dados cadastrais de feição erosiva linear em SIG;
- estudo da variação temporal dos dados cadastrais de feição erosiva linear;
- estudo da eficácia de obras de engenharia e medidas edáficas adotadas para o controle de feição erosiva linear previamente cadastrada.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 BIBLIOGRAFIA CITADA

- AUGUSTO FILHO, O., VIRGILI, J.C. *Estabilidade de taludes*. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 243-269.
- BASTOS, A.C.S., FREITAS, A.C. *Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental*. In: CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (Org.). **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 77-113.
- BASTOS, C.A.B., MILITITSKY, J., GEHLING, W. *Proposta metodológica para avaliação geotécnica da erodibilidade de solos residuais não saturados*. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. **Anais**: Goiânia, ABGE, 2001. CD-ROM.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**; Folha SD 21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1982. 544 p.
- CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino. **Mapeamento das áreas de risco de erosões dos solos da bacia do Rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. Piracicaba, 1999. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', USP.
- COLLET, H.B., BERG, A.G. *Utilização do AutoCAD como ferramenta para elaboração de mapas de risco geotécnico de escorregamento em encostas urbanas*. In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, 1998. **Anais**: Florianópolis, ABGE, 1998. CD-ROM.
- DAEE/IPT – Departamento de Águas e Energia Elétrica, Secretaria de Energia e Saneamento, Governo do Estado de São Paulo/Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas**;

- diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas.** 2ª ed. São Paulo: DAEE/IPT, 1990. 92 p.
- D'AGOSTINO, Luiz Renato. **Erosão: o problema mais que o processo.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 131 p.
- FENDRICH, Roberto. **Erosão urbana.** In: FENDRICH, Roberto (Org.). **Drenagem e controle de erosão urbana.** Curitiba: EDUCA – Editora Universitária Champagnat, 1984. p. 15-43. (a)
- FENDRICH, Roberto. **Estabilização de vales receptores.** In: FENDRICH, Roberto (Org.). **Drenagem e controle de erosão urbana.** Curitiba: EDUCA – Editora Universitária Champagnat, 1984. p. 345-395. (b)
- FETT, Lineu Petersen. **Controle dos processos erosivos da bacia do Rio Brilhante (MT) como subsídio à recuperação de áreas degradadas.** Cuiabá, 2000. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - UFMT.
- GALETI, Paulo Anestar. **Conservação do solo; Reflorestamento; Clima.** 3ª ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 236 p.
- GOMES, E., PESSOA, L.M.C., SILVA JUNIOR, L.B. **Medindo imóveis rurais com GPS.** Brasília: LK-Editora, 2001. 136 p.
- GUERRA, Antônio José Teixeira. **O início do processo erosivo.** In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.
- INFANTI Jr, N., FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial.** In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 87-99.
- IWASA, O.Y., FENDRICH, R. **Controle de erosão urbana.** In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 271-281.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico do uso da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 1999. 58 p.
- JORGE, F.N., UEHARA, K. **Águas de superfície.** In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 87-99.
- KÉZDI, Árpád. **Handbook of soil mechanics.** New York (USA): American Elsevier Publishing Company, Inc., 1974. 4 v. V. 1: *Soil Physics.* 294 p.

- LAMBE, W.T., WHITMAN, R.V. **Mecânica de Suelos**. Trad. SALAS, J.A.J., *Soil mechanics*. Mexico: Editorial Limusa, 1974. 582 p.
- LARIOS, Mário Roberto Barraza. **Caracterização geotécnica de solos susceptíveis à erosão e sua identificação utilizando sistemas de informações geotécnicas**. São Carlos, 2000. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- LEPSCH, Igo Fernando. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1991. 175 p.
- LIMA-e-SILVA, P.P., GUERRA, A.J.T., DUTRA, L.E. **Subsídios para avaliação econômica de impactos ambientais**. In: CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (Org.). **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 217-261.
- LOPES, José Antônio Urroz. **Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/corretivos de engenharia civil**. In: III Curso de Atualização sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba, UFPR, 1996. p. 59-81.
- LOPES, S.L., GUERRA, A.J.T. **Monitoramento de voçorocas por satélites em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praias Mole, Florianópolis - SC**. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. **Anais**: Goiânia, ABGE, 2001. CD-ROM.
- LÓPEZ, Ariel Abderraman Ortiz. **Análise dos custos privados e sociais da erosão do solo – o caso da bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba, 1997. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências, concentração em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', USP.
- MACHADO, S.L., MACHADO, M.F.C. **Mecânica dos solos I – Conceitos introdutórios**. Salvador: UFBA/Escola Politécnica/Depto.Ciências e Tecnologia dos Materiais/Setor de Geotecnia, capturado em 2001. Apostila. 111 p. Disponível em www.geotec.eng.ufba.br. (a)
- MACHADO, S.L., MACHADO, M.F.C. **Mecânica dos solos II – Conceitos introdutórios**. Salvador: UFBA/Escola Politécnica/Depto.Ciências e Tecnologia dos Materiais/Setor de Geotecnia, capturado em 2001. Apostila. 96 p. Disponível em www.geotec.eng.ufba.br. (b)
- MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. **Erosão: definições, tipos e formas de controle**. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. **Anais**: Goiânia, ABGE, 2001. CD-ROM.

- MOURA, Ana Clara Mourão. **Cartografia II**. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Cartografia/Centro de Sensoriamento Remoto, 2001. Apostila. 58 p. Disponível em www.ufmg.gov.br.
- OLIVEIRA, Marcelo Accioly Teixeira. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.57-99.
- PASTORE, E.L., FONTES, R.M. *Caracterização e classificação de solos*. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 87-99.
- PINTO, Carlos de Souza. *Propriedades dos solos*. In: **Fundações**. São Paulo: PINI, 1998. p. 51-118.
- PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 251 p.
- RIDENTE JUNIOR, J.L., CANIL, K., MACEDO, E.S. ALMEIDA, G.S., CARVALHO, W.T. Caracterização de erosão e diretrizes para o controle corretivo e preventivo em bacias de contribuição do Alto Araguaia – GO/MT. In: 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1999. **Anais**: São Paulo, ABGE, 1999. CD-ROM.
- RÖHM, Sérgio Antônio. **Solos não saturados**. São Carlos: USP/Escola de Engenharia de São Carlos/Departamento de Geotecnia, 1997. Monografia técnica. 135 p.
- SALOMÃO, F.X.T., ANTUNES, F.S. *Solos em pedologia*. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 87-99.
- SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. *Controle e prevenção dos processos erosivos*. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.229-267.
- SANTOS, D., BAHIA, V.G., TEIXEIRA, W.G. *Queimadas e erosão do solo*. In: EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, nr. 176, p. 38-43, 1992.
- Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral – Estado de Mato Grosso (SEPLAN-MT). **Estatísticas municipais MT 2001**. SEPLAN/Governo de Mato Grosso, capturado em 2002. Disponível em www.seplan.mt.gov.br.

- SOARES FILHO, Britaldo Silveira. *Cartografia assistida por computador – conceitos e métodos*. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Cartografia/Centro de Sensoriamento Remoto, 2000. Apostila. 19 p. Disponível em www.ufmg.gov.br.
- SUDO, Hideo. *O conceito de sistema e a estrutura físico-antrópica dos processos erosivos*. In: 6º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, 1998. **Anais**: Presidente Prudente, ABGE, 1998. CD-ROM.
- TAYLOR, Donald W. *Fundamentos de la mecánica de suelos*. Trad. GUERRA, R.M., *Fundamentals of soil mechanics*. Mexico: Compañía Editorial Continental S.A., 1969. 782 p.
- VASCONCELOS, Tereza Neide Nunes. *Interpretação morfopedológica da bacia do Rio Tenente Amaral – Jaciara/MT: consição básica para sua caracterização ambiental*. Cuiabá, 1998. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – UFMT.
- VARGAS, Milton. *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil/Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. 510 p.
- VERDADE, F. da Costa. *Conceito de solo e evolução da pedologia*. In: MONIZ, Antônio C. (Org.). *Elementos de pedologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972. p. 3-8.
- VILAR, O.M., PRANDI, E.C. *Erosão dos solos*. In: CINTRA, J.C., ALBIERO, J.H. *Solos do interior de São Paulo*. São Paulo: ABMS/Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993. p. 177-206.

9.2 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ABRAHÃO, W.A.P., MELLO, J.W.V. *Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada*. In: DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Org.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV, 1998. p.15-26.
- BACCARO, Claudete Aparecida Dallevedove. *Processos erosivos no domínio do cerrado*. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.195-227.
- BATISTA, M.J., NOVAES, F., SANTOS, D.G., SUGUINO, H.H. *Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção de salinização dos solos*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 1998. 203 p.

- BROMS, BENGT B. *Landslides*. In: WINTERKORN, H.F., FANG, H-Y (Org.). **Foundation engineering handbook**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1975. p. 373-401.
- CHAVES, H.M.L. *Método estocástico para a estimativa da erosão em sulcos e voçorocas*. In: SBCS, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, nr. 2, p. 285-294, mai/ago 1994.
- DIAS, Luiz Eduardo. *Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas*. In: DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Org.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p.27-44.
- GREGÓRIO, Carlos Eduardo. **Análise de uma região no município de Campinas (SP) através do uso de imagens orbitais Landsat e Spot: com ênfase em áreas de preservação permanente**. São Carlos, 2000. 95 p. Dissertação – USP/Escola de Engenharia de São Carlos.
- GALETI, Paulo Anestar. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984. 278 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE – Manuais técnicos em geociências, 1999. 130 p.
- LEMONS, M.S.S., BAHIA, V.G. *Erosividade da chuva*. In: EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, nr. 176, p. 32-37, 1992.
- NETTO, Ana Luiza Coelho. *Diagnóstico de erosão para o planejamento regional: subsídios metodológicos sob enfoque geo-hidroecológico*. In: 6º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, 1998. **Anais: Presidente Prudente, ABGE, 1998. CD-ROM**.
- PEREIRA, J.C., OLIVEIRA, G.C., MESQUITA, M.G.B.F. *Controle de erosão em terras não cultivadas*. In: EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, nr. 176, p. 69-72, 1992.
- SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. *Subsídios para o controle da erosão em Mato Grosso*. In: 6º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, 1998. **Anais: Presidente Prudente, ABGE, 1998. CD-ROM**.
- SILVA, Alexandre Marco da. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica**. São Carlos, 1999. 249 p. Tese – USP/Escola de Engenharia de São Carlos.
- VALENTE, A.L.S., STRIEDER, A.J., QUADROS, T.F.P. *Considerações sobre procedimentos para a integração de dados por meio de Sistema de*

Informações Geográficas (SIG) visando a análise de meio físico e estudos geotécnicos. In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, 1998. **Anais:** Florianópolis, ABGE, 1998. CD-ROM.

WOLSKI, M.S., ORTH, D.M., DIAS, R.D. *Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas dom uso de sistemas de informações geográficas: uma aplicação à região do Médio Uruguai (RS).* In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, 1998. **Anais:** Florianópolis, ABGE, 1998. CD-ROM.