

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E
CONSTRUÇÃO CIVIL

PROPOSTA DE MONITORAMENTO DOS
PROCESSOS DO MEIO FÍSICO EM
OBRAS VIÁRIAS

Volume 1 / 2

VICTOR EMMANUEL DOS REIS

D0033G10

GOIÂNIA

2010

VICTOR EMMANUEL DOS REIS

**PROPOSTA DE MONITORAMENTO DOS
PROCESSOS DO MEIO FÍSICO EM
OBRAS VIÁRIAS**

Volume 1 / 2

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Geotecnia e Construção Civil da Universidade
Federal de Goiás para obtenção do Título de Mestre

Área de concentração: Geotecnia

Orientador(a): Prof^a DSc. Patrícia de Araújo Romão

Co-orientador(a): Prof^a DSc. Noris Costa Diniz

D0033G10

GOIÂNIA

2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

R375p Reis, Victor Emmanuel dos.
Proposta de monitoramento dos processos do meio físico em obras viárias [manuscrito] / Victor Emmanuel dos Reis. - 2010.
2v. (301 f). : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^ª. Dr^a. Patrícia de Araújo Romão; Co-orientadora: Prof^ª. Dr^a. Noris Costa Diniz
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2010.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndices.

1. Geotecnia. 2. Processos do meio físico – Monitoramento. 3. Ensaio Geofísico 4. Rodovias – Goiás (Estado). I. Título.

CDU: 624.13(817.3)



Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Construção Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

"PROPOSTA DE MONITORAMENTO DOS PROCESSOS DO MEIO FÍSICO EM OBRAS VIÁRIAS"

Victor Emmanuel dos Reis

Dissertação defendida e aprovada pela banca constituída pelos senhores:

Patrícia de Araújo Romão
Prof.^a Dr.^a Patrícia de Araújo Romão (UFG)

Liliane R. de Aguiar
Prof.^a Dr.^a Lilian Ribeiro de Aguiar (UFG)

Marta Pereira da Luz
Prof.^a Dr.^a Marta Pereira da Luz (Fumase/UFG-GO)

Goiânia, 18 de outubro de 2010.

Dedico este trabalho aos meus pais, Agostinho e Aydeníra, a minha esposa Gabriella e meus filhos Rafaella e Víctor, razão maior de meu viver.

“A natureza é exatamente simples, se conseguirmos encará-la de modo apropriado. Essa crença tem-me auxiliado, durante toda a minha vida, a não perder as esperanças, quando surgem grandes dificuldades de investigação”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Às minhas orientadoras, Prof^a Dra. Patrícia de Araujo Romão e Prof^a Dra. Noris Costa Diniz, pela generosidade na transferência dos ensinamentos que propiciaram meu crescimento profissional.

A Universidade Federal de Goiás e seu corpo docente pela dedicação e oportunidade de participação do programa. Agradecimentos especiais aos professores Lilian Ribeiro de Resende e Maurício Martinez Salles.

Ao professor Dr. Virlei Álvaro de Oliveira pela competência dos conhecimentos repassados sobre pedologia que muito me valem.

Ao professor Dr. Antônio Pasqualetto, que me fez compreender que sustentabilidade ambiental é pré-requisito da boa engenharia.

Aos meus colegas do curso de pós-graduação em Geotecnia da Engenharia Civil da UFG, em especial aos colegas, Ricardo, Eder, Camila, ao “monitor” Alexandre, e a amizade e atenção da colega Adrianne.

A AGETOP, pela possibilidade de investimento na qualificação de seu servidor.

Ao colega de trabalho Marcus Mesquita pela inestimável ajuda na produção gráfica das apresentações.

Ao geógrafo Elizon Nunes, pela participação na elaboração dos mapas de caracterização das áreas de estudo.

Aos meus “ajudantes” de campo, meus filhos Rafaella Brunale dos Reis e Victor Emmanuel Brunale dos Reis, meu sobrinho Diogo dos Reis Guirau e em especial a minha esposa Marta Gabriella Brunale dos Reis, minha maior colaboradora companheira e cúmplice incondicional nesta jornada, nas anotações, preenchimentos das fichas, fotografias, marcação de coordenadas, medições e demais trabalhos do levantamento de campo.

Aos meus queridos pais, Agostinho Pires dos Reis e Aydenira Lázaro dos Reis, pela torcida, apoio e compreensão que nunca me faltaram, fundações que me dão sustento.

Aos meus irmãos e irmãs, e toda minha família, em especial e *in memoriam* as minhas bisavós Justa Cecília dos Santos e Maria Joaquina de Jesus, minhas avós Sebastiana Pires dos Reis e Haydêe Cecília dos Santos e meus avôs o maestro da banda da polícia militar do estado de Goiás Victor Dias dos Reis e o delegado Manoel Lázaro, pelo incentivo, com exemplos: de luta, lealdade, bondade, dignidade, dedicação, garra, amor, exemplos de vida.

Aos meus colegas de trabalho que formam a maior equipe de “docentes” desta escola, palco de minha constante aprendizagem, na execução de centenas de quilômetros de rodovias em vários rincões de nosso estado: caros laboratoristas, topógrafos, técnicos em estradas, greidistas, ajudantes, patroleiros, mestres, encarregados, seção técnica, subempreiteiros, engenheiros, empreiteiros, fiscais, estagiários, e tantos outros. Agradeço a todos, prestando-lhes uma homenagem em nome e *in memoriam* do grande profissional o técnico de estradas Manoel Francisco de Jesus.

A Deus princípio maior de todas as coisas, por me permitir nesta quadra de minha existência, ter ainda, vontade, oportunidade, capacidade e prazer em ser um eterno aprendiz. Gratidão eterna.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma avaliação dos processos do meio físico em construções rodoviárias, materializada em dois estudos de caso e com isso visa contribuir com uma proposta de monitoramento desses processos, intensificados ou deflagrados pelas construções viárias. No primeiro estudo de caso abordou-se a rodovia GO-309, localizada próximo à capital de Goiás. A metodologia empregada compreende o monitoramento das fases construtivas da rodovia, a partir do preenchimento de uma ficha de levantamento de campo para registro das informações coletadas durante os anos de 2005, 2007, 2009 e 2010. Foram observados os processos do meio físico e os impactos decorrentes e feitas correlações e análises pertinentes. Destacaram-se os processos erosivos e os escorregamentos induzidos pela construção das obras viárias, causando degradações as mais diversas, comprometendo o corpo estradal e a segurança do tráfego usuário. A pesquisa também permitiu, além da qualificação, a quantificação dos custos de recuperação das degradações observadas frente aos processos do meio físico, que ensejaram reconstruções e recuperação de grande parte do segmento rodoviário. O segundo estudo de caso tratou-se de um trecho da rodovia GO-236, localizada no noroeste do estado. A metodologia empregada neste segundo caso utilizou dois ensaios geofísicos, não-invasivos e não-destrutivos: o método da eletrorresistividade ou caminhamento elétrico, o que possibilitou a análise da suscetibilidade a movimentos de massa relacionados à localização de cavidades e estruturas cársticas em profundidade; e o método do *Ground Penetrating Radar* ou Radar de Penetração de Solo – GPR na localização de estruturas naturais ou artificiais e para a avaliação da estratigrafia, espessura e condições das camadas do pavimento. Mostrou-se por acréscimo, a importância e pertinência ao emprego de métodos de prospecção geofísicos de investigação, com a utilização do GPR e da Eletrorresistividade, em obras viárias, principalmente na fase de reconhecimento da área de interesse, permitindo melhor embasamento na tomada de decisões, mitigando possíveis riscos futuros. Pretende-se com isso gerar subsídios a órgãos rodoviários, na elaboração de especificações técnicas e termos de referência para controle e monitoramento da dinâmica dos processos do meio físico.

Palavras-chave: Monitoramento, Processos do meio físico; Ensaios geofísicos, Rodovias.

ABSTRACT

This work presents an evaluation of the processes of the physical environment in road construction, materialized in two case studies and thereby aims to contribute to a proposal for monitoring of these processes triggered or intensified by road constructions. In the first case study addressed the highway GO-309 located near the capital of Goiás. The applied methodology includes monitoring the construction phases of the highway, from the completion of field survey form to record information gathered over the years 2005, 2007, 2009 and 2010. We observed the processes of the physical environment and impacts and made relevant correlations and analysis. Were highlighted the erosion and landslides induced by construction of road works, causing degradation of the most diverse, compromising the body road practicability and safety of the user traffic. The survey also allowed, besides the qualification, the quantification of the recovery costs of degradation processes, observed compared to the physical environment that needed reconstruction and recovery of a great part of the road segment. The second case study is a stretch of the highway GO- 236 located in the northwestern state. The methodology used two geophysical researches: Non-invasive and non-destructive; The method of resistivity or electrical profiling, which allowed the analysis of the susceptibility to mass movements related to the location of karst cavities and structures of depth, and the method of Ground Penetrating Radar or Ground Penetrating Soil- GPR in locating natural or artificial structures and the assessment of stratigraphy, thickness and condition of the pavement layers. It has been shown in addition, the importance and relevance, the use of geophysical prospecting methods of investigation, with the use of the GPR and resistivity in road works. Mainly in the recognition of the area of interest, allowing a better foundation in decision –making, mitigating potential future risks. The aim is to it, provide subsidies to road agencies in the preparation of technical specifications and terms of reference for controlling and monitoring the dynamics of the processes of the physical environment.

KEYWORDS: Monitoring, Physical Processes, Geophysical Research, Highways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Extensão da rede rodoviária federal. Fonte: modificado de DNER (1984)	33
Figura 2.2 – Rodovias Federais no estado no ano de 1953. Fonte: modificado de DNER 1984)	34
Figura 2.3 – Evolução da malha rodoviária federal em Goiás. Fonte: modificado de DNER (1984)	35
Figura 2.4 – (a) – Execução manual de corte rodoviário. Fonte: ABPV (2006). (b) Execução de terraplanagem utilizando-se motoscrapers. Fonte: ABPV (2006). (c) Execução de emboque de corte usando trator de esteira. (d) Execução de corte utilizando-se escavadeira hidráulica.	37
Figura 2.5 – (a) Inauguração de ponte na GO-060. (b) Inauguração da rodovia GO-04.	38
Figura 2.6 – (a) Rolo liso compactador. (b) Sinalização horizontal manual	39
Figura 2.7 – Mapa rodoviário do estado de Goiás de 1960 (DER-GO).	40
Figura 2.8 - Acréscimo da malha pavimentada por período de governos. Fonte: modificado de SEPLAN (2005).	41
Figura 2.12 – Matriz nacional de transportes por modais. Fonte PNLT (2007)	44
Figura 3.1 – Delimitação esquemática dos principais solos brasileiros, IBGE (2007).	48
Figura 3.2– Erosão na rodovia - BR 070/GO, km 3,00 (perímetro urbano de Águas Lindas-GO).Autor: Reis (2005).	52
Figura 3.3 (a) – Escorregamento em cunha corte rodovia BR-060/GO, km 13. (b) – Escorregamento translacional ou planar, em corte na rodovia BR-414/GO, Km 11, em 2010.	57
Figura 3.4 – Detalhe do processo de solifluxão em talude da rodovia BR-414/GO, km 09, em 2000	58
Figura 3.5 – Detalhe do processo de solifluxão em talude da rodovia BR-080/GO, km 42, em 2010	58
Figura 3.6 – Tombamento, queda de blocos e rolamento de blocos ou matacões, modificado de IPT (1991).	59

Figura 3.7 – Detalhe de deslocamento rodovia BR-414/GO	60
Figura 3.8 – Rastejo do talude de corte evidenciado pelo deslocamento da face interno da calha triangular, Figura 3.9 – Detalhe de recalque em talude de aterro, rodovia GO-309.	60
Figura 3.9 – Detalhe de recalque em talude de aterro, rodovia GO-309.	61
Figura 3.10- Esquema de formação de cavernas.	62
Figura 3.11 – Intervalos de resistividade/condutividade elétrica de algumas rochas e materiais (BORGES, 2007).	64
Figura 3.12- (a) Representação tridimensional de um potencial semi-esférico em volta de um eletrodo de corrente pontual em um meio homogêneo. (b) Decaimento do potencial nas proximidades do eletrodo de corrente pontual (BORGES, 2007).	65
Figura 3.13 – Linhas de fluxos de correntes e quipotenciais, para duas fontes pontuais (eletrodos) de corrente em um meio homogêneo. (a) Vista do plano. (b) Seção vertical. (c) Variação do potencial na superfície. (BORGES 2007).	66
Figura 3.14 – arranjo de eletrodos dipolo-dipolo e a seqüência de medidas utilizadas.	67
Figura 3.15 - Perfilagem horizontal ou caminhamento elétrico.	68
Figura 3.16 - Arranjo de eletrodos para o dipolo-dipolo e disposição de plotagem (eletroresistividade aparente).	68
Figura 3.17 – Esquema de propagação de sinais em subsuperfície.	70
Figura 3.18 - Plotagem dos sinais (traços) em um gráfico distânciaXtempo-profundidade.	71
Figura 3.19– Representação esquemática da propagação de frentes de onda EM em meios estratificados (pavimentos) e o seu registro em dispositivos tipo Georadar.	73
Figura 3.20 – Organização de transmissor e receptor para medidas de velocidade de propagação de ondas EM nos materiais constituintes de pavimentos a partir do método CMP (Common Mid Point).	73
Figura 3.21 – Radargrama produzido com antena de 1.000 MHz em levantamento ao longo do eixo de rodovia. Observar estratigrafia e espessura das camadas constituintes do pavimento.	74

Figura 4.1 – Mapa Hipsométrico.	79
Figura 4.2 – Mapa de declividade.	80
Figura 4.3 – Mapa Litológico.	81
Figura 4.4 – Mapa Geomorfológico.	82
Figura 4.5 – Mapa Geológico.	83
Figura 4.6 – Mapa de solos.	84
Figura 4.7 – Mapa de declividade.	87
Figura 4.8 – Mapa Geológico.	88
Figura 4.9 – Mapa Geomorfológico.	89
Figura 4.10 – Mapa de hipsométrico.	90
Figura 4.11 – Mapa Litológico.	91
Figura 4.12 – Mapa Pedológico.	92
Figura 5.1- Esquema da apresentação do método hipotético-dedutivo.	94
Figura 5.2 - Esquema da apresentação do método hipotético-dedutivo.	95
Figura 5.3– Localização do trecho da rodovia estudada Fonte: AGETOP (2003).	97
Figura 5.4– Ficha de levantamento de campo do meio físico.	104
Figura 5.5 – Organograma da legislação ambiental brasileira.	105
Figura 5.5– Mapa de localização da área.	109
Figura 5.6– Mapa Espeleológico. Fonte: SEPLAN-GO.	111
Figura 5.8– Inserção dos pontos no mapa rodoviário do estado.	112
Figura 5.9 – (a): Coluna na Lapa do Córrego das Dores. Fonte: Anderson Santos (sd). (b) Entrada da Lapa do Córrego das Dores. Fonte: foto do autor (2010).	113
Figura 5.10 – Detalhe do aterro escolhido para o ensaio.	115
Figura 5.11 – Detalhe dos equipamentos utilizados	116
Figura 5.12 – Detalhe da execução do ensaio	116
Figura 5.13 – Detalhe do bueiro.	117

Figura 5.14 – (a) Arranjo dipolo-dipolo usado na perfilagem. (b) Unidade de comutação.	117
Figura 5.15 – Detalhe do aterro onde foi realizado o ensaio.	118
Figura 5.16 – (a) Detalhe espaçamento entre eletrodos. (b) Procedimento de molhagem para diminuir a resistência de contato. (c) Detalhe do corpo do maciço. (d) Surgência no pé do aterro da rodovia	119
Figura 5.17 – (a) Verificação dos dados do ensaio. (b) Vista do procedimento de molhagem dos eletrodos. (c) Vista do equipamento. (d) Detalhe do ensaio	119
Figura 6.1 – Histograma síntese dos processos do meio físico por unidade de análise.	123
Figura 6.2 – Deslizamentos em taludes de corte e aterro.	124
Figura 6.3 – Processo de rastejo em talude de corte.	124
Figura 6.4 – Voçoroca ameaçando a pista de rolamento, provocada por dissipação de calha, ponto 33.	125
Figura 6.5 – Assoreamento provocado por bota-fora em área de dessedentação.	125
Figura 6.6 – Processo de empastilhamento em talude de corte.	126
Figura 6.7 – Recalque em talude de aterro.	126
Figura 6.8 – Detalhes do processo de dobramento.	127
Figura 6.9 - Detalhes dos processos de deslizamentos ao longo das xistosidades.	127
Figura 6.10 – Detalhes dos processos de deslizamentos ao longo das xistosidades e dos planos de falhamento/fraturamento.	128
Figura 6.11– Disposição inadequada de bota-fora, causando assoreamento de drenagem natural, foto 2005	131
Figura 6.12 – Abatimento de aterro km 12 – lado esquerdo, foto 2010.	132
Figura 6.13 – Reconstrução de segmento – km 34- lado esquerdo (foto 1 – março, foto 2 – abril/2010).	133
Figura 6.14 – Perfil LNO.	134
Figura 6.15 – Perfil LN1	134

Figura 6.16 – Perfil LN2	135
Figura 6.17 – Perfil LN3	135
Figura 6.18 – Detalhe da grande vazão propiciada pela surgência	136
Figura 6.19 – Vista do aterro a ser investigado	137
Figura 6.20 – Resultado da perfilagem do radar.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Rodovias pavimentadas – percentual. Fonte: NTC (2010).	45
Tabela 3.1 - Histórico das normativas sobre construções viárias.	50
Tabela 3.2. Característica dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira (Augusto Filho,1992).	54
Tabela 5.1 – Características técnicas. FONTE: Projeto Final de Engenharia – AGETOP.	99
Tabela 5. 2 – Características operacionais.	99
Tabela 5.3 – Características técnicas.Fonte: Projeto Final de Engenharia – DER-GO.	109
Tabela 5.4 – Características operacionais. FONTE: Projeto Final de Engenharia – AGETOP.	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1- Marcos representativos da historia da pavimentação no Brasil	28
Quadro 2.2– Marcos representativos da historia da pavimentação em Goiás.	31
Quadro 2.3 – Marco representativo das rodovias estaduais. Fonte: Coordenação da Rede Física – AGETOP.	36
Quadro 2.4 – Situação das rodovias – 2009. (FONTE: DNIT, 2009).	36
Quadro 2.1 – Situação das rodovias – 2009. FONTE: modificado de DNIT, 2009.	44
Quadro 5.1 Aspectos construtivos e ambientais.	107
Quadro 6.1 – Correlação dos pontos de campo com os processos do meio físico nas respectivas unidades de análise.	120
Quadro 6.2 – Origem do assoreamento dos cursos d’água listados.	122
Quadro 6.3 – Risco gerado pela ocorrência em sua respectiva unidade de análise.	129
Quadro 6.4 – Características e propriedades dos métodos geofísicos utilizados.	141
Quadro 6.5 – Ações Preconizadas – Desmatamento – Empréstimo – Bota-fora.	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
APA	Área de Preservação Ambiental
BD	Banco de Dados
CENTRAN	Centro de Excelência em Engenharia de Transportes
CERG	Comissão de Estradas de Rodagem de Goiás
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRISA	Consórcio Rodoviário Intermunicipal
DER-GO	Departamento de Estradas de Rodagem de Goiás
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DNOCS	Departamento Nacional Contra as Secas
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EM	Ondas Eletromagnéticas
FENIT	Fundo Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
GPS	Ground Penetrating Radar (Geo-radar)
GREGO	Grupo Espeleológico Goiano
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Minerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISA	Instruções de Serviço Ambiental
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
NTC	Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística
NRV	Nascentes do Rio Vermelho
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PGA	Plano de Gestão Ambiental

PNLT	Plano Nacional de Logística e Transportes
PNV	Plano Nacional de Viação
PPA	Plano Plurianual
PRODOESTE	Programa de Desenvolvimento do Centro- Oeste
RODOBRAS	Comissão Executiva da Rodovia Belém - Brasília
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPVEA	Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SRE	Sistema Rodoviário Estadual
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPE	União Paulista de Espeliologia
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

VOLUME 1/2

1 INTRODUÇÃO.....	22
1.1 JUSTIFICATIVA.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	25
1.2.1 Objetivo Geral.....	25
1.2.2 Objetivos Específicos.....	25
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	26
2 PEQUENA REVISÃO SOBRE A HISTORIA DO RODOVIARISMO NACIONAL	27
2.1 APRESENTAÇÃO.....	27
2.2 RODOVIAS BRASILEIRAS.....	27
2.3 RODOVIAS NO ESTADO DE GOIÁS.....	30
2.3.1 Rodovias Federais.....	30
2.3.2 Rodovias Estaduais.....	35
2.3.3 Nomenclatura das Rodovias Estaduais.....	41
2.4 MATRIZ NACIONAL DE TRANSPORTES.....	43
3.PROCESSOS DO MEIO FÍSICO E GEOFÍSICA APLICADA.....	46
3.1 PROCESSOS DO MEIO FÍSICO.....	49
3.2 GEOFÍSICA APLICADA Á ENGENHARIA GEOTECNICA.....	63
3.2.1 Método da Eletroressistividade.....	64
3.2.2 Método do Radar de Penetração de Solo –GPR.....	69
3.2.2.1 Aplicação do Geo-Radar em Pavimentos Rodoviários.....	72
3.2.2.2 Fundamentos da Avaliação de Pavimentos com Geo-Radar.....	72

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS.....	75
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA RODOVIA GO-309.....	75
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA RODOVIA GO-236.....	85
5 METODOLOGIA.....	93
5.1 ESTUDO DOCUMENTAL.....	96
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO RODOVIA-GO -309	96
5.2.1 Características Técnicas.....	98
5.2.2 Vistoria de Campo.....	99
5.2.3 Composição da Ficha de Levantamento de Campo.....	100
5.2.3.1 Área de abrangência.....	100
5.2.3.2 Ficha de Levantamento de Campo.....	101
5.2.3.3 Processos e Impactos Associados.....	103
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO DA RODOVIA GO-236.....	108
5.3.1 Características Técnicas.....	110
5.3.2 Ensaios Realizados.....	111
5.3.2.1 Ensaio com o Método GPR.....	115
5.3.2.2 Ensaio com o Método da Eletrorresistividade.....	117
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E MEDIDAS PRECONIZADAS.....	120
6.1 CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS COM AS UNIDADES DE ANÁLISE RODOVIA GO-309	120
6.1.1 Síntese dos Processos por Unidade de Análise.....	123
6.1.2 Vulnerabilidades Geradas Pela Ocorrência por Unidade de Análise	128
6.1.3 Recuperação do Segmento: Deseconomias.....	131
6.2 RESULTADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO: RODOVIA GO-236.....	133
6.2.1 Resultados do Ensaio - Método da Eletrorresistividade.....	133
6.2.2 Resultados do Ensaio – Método do GPR.....	136
6.3 ANÁLISE DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EMPREGADOS.....	139
6.4 MEDIDAS PRECONIZADAS.....	141

7. CONCLUSÃO.....	149
REFERÊNCIAS.....	152

Volume 2/2

APÊNDICE A – Cartilha: Processos do Meio Físico em Obras Viárias.....	161
APÊNDICE B. - Fichas de Levantamento de Campo do Meio Físico ano de 2005.....	191
APÊNDICE C.- Fichas de Levantamento de Campo do Meio Físico ano de 2007.....	242
APÊNDICE D. – Fichas de Levantamento de Campo do Meio Físico ano de 2010.....	257
APÊNDICE E – Pontos Coordenadas.....	277
ANEXO A – Modelo de Fichas	279
ANEXO B – Relatório Quantitativos e Medições da Obra.....	284
ANEXO C – Diário de Obras Mambai	296

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma análise crítica dos fatores geológico-geotécnicos na avaliação dos processos do meio físico em construções rodoviárias e uma proposta de monitoramento dos processos intensificados e deflagrados por tais obras.

A evolução das forças produtivas, pelas necessidades de locomoção e transporte, impulsiona o desenvolvimento de tecnologias, assim, a natureza vai sendo apropriada e transformada pelo homem. Os caminhos evoluíram das picadas, as trilhas, as estradas carroçáveis, as rodovias e as auto-estradas.

Com a evolução dos meios de transporte, a natureza passa de condicionante a condicionada. As dificuldades de transposição como as elevações e depressões dos terrenos e cursos d'água, e demais obstáculos naturais, são contornados pelos cortes, aterros e obras de arte correntes e especiais.

O modelo econômico de produção e consumo, a partir da Revolução Industrial, teve como consequência grandes problemas sociais e ambientais, que influenciam na sustentabilidade ambiental. Assiste-se a exaustão dos recursos naturais – posto que finitos, a extinção de espécies da fauna e flora, a contaminação e poluição do ar, água e solo.

Assim, as implantações das obras viárias interferem em maior ou menor grau no meio ambiente, gerando diversas modificações no seu condicionamento e ou funcionamento, (BELLIA E BIDONE, 1993), podendo operar, segundo Guerra e Cunha (2000), como agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrio da paisagem. Estas alterações têm início com a retirada da cobertura vegetal, envolvendo a seguir a movimentação de solos e rochas, com alterações significativas nas condições de estabilidade dos maciços.

O manejo inadequado dos recursos naturais tem sido causa importante de degradação ambiental. Como consequência, assiste-se a uma gama de impactos adversos como: desmatamentos, processos erosivos, poluição, assoreamento dos cursos d'água, riscos à

segurança da rodovia e, por conseguinte, aos usuários e às propriedades lindeiras. Nota-se que as obras viárias, pelas grandes extensões e diversas unidades geológicas que cortam, necessitam uma atenção especial. A busca de soluções que minimizem as agressões ao ambiente tem levado as empresas a controlarem seus processos produtivos e de trabalho.

O controle dos processos, bem como dos resultados devem garantir que as atividades de implantação do empreendimento rodoviário ocorram conforme planejado. As atividades de monitoramento geológico-geotécnico podem possibilitar mudanças que venham ensejar melhoria na qualidade dos serviços executados.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil possui maior dependência do modal rodoviário do que dos demais modais, por opção da política de integração, desenvolvimento e ocupação de grandes áreas territoriais.

É um país de dimensões continentais, em franco estado de desenvolvimento, necessitando atender a grande demanda de transporte de cargas e passageiros, que possibilite e propicie seu desenvolvimento. As rodovias foram e continuam a ser o principal meio de integração entre as regiões produtoras e os principais centros consumidores, propiciando o fluxo de pessoas e bens, facilitando as transações locais e inter-regionais (REIS, 2005). Segundo DNER (2000), estrada é uma faixa do terreno preparada para ser utilizada por pessoas, animais ou veículos, com a finalidade de facilitar o deslocamento de um local a outro. Estrada vicinal é uma estrada rural, que engloba o sentido de vizinho, pequena distância e rodovia, estrada de rodagem, estrada de longo percurso, destinada especialmente ao trânsito de veículos munidos de rodas de borracha.

Os sistemas viários em geral e as rodovias, em particular, constituem uma categoria de empreendimentos de grande porte que:

- alteram profundamente o desenvolvimento e ordenamento territorial;
- impactam o meio físico, biológico e antrópico, nas fases de implantação, operação e conservação;
- possibilitam o fluxo de bens e pessoas influenciando atividades econômicas e sociais das mais diversas.

As construções rodoviárias são projetadas de maneira a possibilitar a compatibilização entre as diretrizes da rodovia com as peculiaridades e características das regiões a serem transpostas pelas obras, como as características geológicas, pedológicas, geomorfológicas etc.

A intenção é minimizar os efeitos adversos, gerados pelas alterações empreendidas ao meio natural, sobretudo pela deflagração ou intensificação de processos do meio físico, principalmente nas operações de terraplenagens envolvendo a execução de cortes, aterros empréstimos e bota-foras dentre outros.

As deficiências construtivas em diversos empreendimentos viários têm levado a uma série de problemas que muitas das vezes transformam-se em passivos e/ou áreas degradadas, trazendo prejuízos os mais diversos às propriedades lindeiras, ao longo de sua área de influência. Desde riscos à segurança do tráfego, que denotam falta de conhecimento das especificidades regionais, das propriedades, das fragilidades, das capacidades dos solos em que são assentes tais obras e dos processos do meio físico associados.

Diante desse quadro, verifica-se a necessidade da consideração dos fatores geológico-geotécnicos na avaliação dos processos do meio físico em construções rodoviárias para que se tenha uma gestão mais eficiente, que assegure que os benefícios do empreendimento sejam acompanhados da necessária sustentabilidade dos fenômenos geodinâmicos superficiais e subsuperficiais.

Cumprir ressaltar o fato de ser escassa no Brasil, a tradição de estudos regionais sobre os fatores geológico-geotécnicos na avaliação dos processos do meio físico associado a obras viárias, sendo este, um amplo campo de investigação para os técnicos levando-se em conta as condições climáticas peculiares neste país de dimensões continentais.

Neste intuito esta análise, recai sobre as características peculiares encontradas no estado de Goiás. Assim, o que norteou a elaboração deste trabalho foram a análise do problema em seu contexto regional, a compilação de dados e os estudos de caso relacionados ao tema, além de certa parcela de experiência do autor pela atuação profissional na área.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho visa concretizar uma proposta de monitoramento dos processos do meio físico aplicado a construções rodoviárias, por meio de estudos de caso. Pretende-se com isso, gerar subsídios a órgãos rodoviários, na elaboração de especificações técnicas e termos de referência para controle e monitoramento da dinâmica dos processos do meio físico.

1.2.2 Objetivo Específico

A partir do objetivo geral apresentado, o objetivo específico desta pesquisa relaciona-se aos dois estudos de caso. Neste sentido, o objetivo é contribuir para o estabelecimento de rotinas nas ações construtivas, que venham propiciar melhor eficiência aos empreendimentos viários, contribuindo com sua sustentabilidade ambiental.

No primeiro estudo de caso, objetiva-se a investigação e monitoramento ao longo do tempo, principalmente quanto à ocorrência de processos erosivos, em solos do tipo Latossolos sobre rochas do Grupo Araxá, em segmento rodovia GO-309, na Microrregião de Pires do Rio, assim descrita no Sistema Rodoviário Estadual – SRE, Trecho: ENTR. BR-154/483/GO-236 (P/ Cachoeira Dourada) – DIV. GO/MG, Subtrecho: ENTR. BR-490(B)/GO-213(B) (Caldas Novas) – ENTR. BR-352(A)/GO-020/320(A) início do perímetro urbano (Pires do Rio), com extensão de 64,20 km, distando aproximadamente 150,00 km da capital.

No segundo estudo de caso, pretende-se analisar a suscetibilidade a movimentos de massa relacionados à existência de cavidades naturais em formações calcárias do Grupo Bambuí, em áreas cortadas por rodovias estaduais, na região de Mambáí-GO, Microrregião do Vale do Paranã, utilizando-se a construção da rodovia GO-236, sendo assim descrita no Sistema Rodoviário Estadual – SRE: Trecho: DIV. GO/BA – ENTR. BR-010/GO-118, Subtrecho: ENTR. GO-118(A) – ENTR. BR-020(A), com extensão de 35,60 km, distando aproximadamente 500,00 km da capital do estado.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O desenvolvimento e os resultados desta dissertação são apresentados em sete capítulos. Este primeiro capítulo introduz o tema, objeto da pesquisa, os objetivos gerais e específicos que devem ser alcançados, a metodologia empregada e os passos adotados na condução da pesquisa. O segundo capítulo intitulado Pequena Revisão Sobre a História do Rodoviarismo Nacional apresenta um breve histórico sobre as rodovias brasileiras, e sobre o rodoviarismo no estado de Goiás.

No terceiro capítulo apresentam-se os processos do meio físico e geofísica aplicada contendo as referências que foram utilizadas como fonte de apoio ao desenvolvimento do estudo e apresentam-se os conceitos iniciais, abordando os termos básicos utilizados no decorrer da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta a caracterização das duas áreas de estudo, abordam-se as condições do meio físico, como forma de contextualização e para melhor entendimento da dinâmica que governa os principais processos reinantes na área.

O quinto capítulo apresenta a metodologia adotada na pesquisa. Enfoca os estudos de caso, apresentando os dados observados em campo, que abrangem um período compreendido entre o ano de 2005 e 2010.

O sexto capítulo apresenta a análise dos resultados e medidas preconizadas com a identificação e correlação dos processos do meio físico catalogados, as vulnerabilidades geradas em suas respectivas unidades de análise. Adicionalmente apresenta recomendações e medidas preconizadas.

No sétimo capítulo, apresentam-se as conclusões do estudo, e sugestões para continuidade de futuras pesquisas. Em apêndice apresenta-se em forma de Cartilha, uma abordagem diferenciada dos processos do meio físico em construções viárias, Fichas de Levantamento de Campo do Meio Físico contendo os levantamentos de campo realizados nos anos de 2005, 2007, 2009 e 2010, e a relação dos Pontos de Campo com as Coordenadas. Em anexo apresentam-se Modelos de Fichas de Levantamento, Quantitativo e Medições da GO-309, e Diário de Obras e Medições da rodovia GO-236.

CAPÍTULO 2

PEQUENA REVISÃO SOBRE A HISTÓRIA DO RODOVIARISMO NACIONAL

Esse capítulo apresenta uma visão global das rodovias brasileiras, destacando-se os dados sobre a matriz de transportes, a malha rodoviária nacional, bem como a contextualização da malha viária do estado de Goiás no cenário nacional.

Descreveram-se os termos e expressões técnicas utilizadas ao longo do estudo para melhor compreensão da pesquisa como um todo. Para tanto, recorreu-se a fontes bibliográficas consagradas pela comunidade rodoviária.

2.1 APRESENTAÇÃO

Esse capítulo é composto de quatro seções. No próximo tópico são apresentadas as rodovias brasileiras. Em seguida, é apresentado um rápido histórico sobre as rodovias no estado de Goiás, distinguindo-se as federais e as estaduais. Para fechamento do capítulo, tem-se o tópico sobre a matriz nacional de transportes, justificando-se por último a preocupação com os processos do meio físico decorrentes das construções viárias.

2.2 RODOVIAS BRASILEIRAS

O presente trabalho propicia a abertura de importante espaço para apresentar de forma sucinta a história da pavimentação no Brasil, além de resgatar à recente, importante e pouco conhecida história do rodoviarismo no estado de Goiás.

Inicialmente, de forma cronológica, são descritos os marcos representativos da história da pavimentação no Brasil, descritos no Quadro 2.1, procurando-se de forma resumida catalogar alguns dos fatos mais representativos desta história, desde a inauguração da primeira rodovia pavimentada até o advento do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC).

ANO	MARCO REPRESENTATIVO
1861	Inaugurada em 23 de junho de 1861 a primeira rodovia pavimentada no Brasil, pelo Imperador D. Pedro II, sendo a primeira rodovia brasileira macadamizada, unindo Petrópolis a Juiz de Fora, percorrendo 144 km, com um tempo de viagem estimado em 12 horas, à velocidade média de 20 km/h nas diligências da época.
1905	Aprovada a lei federal para auxílio à construção de estradas.
1918	Chega no Brasil, o primeiro trator de esteiras da Caterpillar.
1926	Criada a Diretoria de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (antecessor do DER/SP), constituindo-se no 1º Órgão Rodoviário Brasileiro
1926	Presidente da república Washington Luís declara "governar é abrir estradas", dando impulso na implantação da malha rodoviária nacional.
1927	O governo federal criou a Comissão de Estradas de Rodagem Federais (antecessora do DNER), com dotação proveniente de um fundo especial de financiamento obtido a partir de sobretaxa nos impostos sobre a gasolina, veículos e acessórios.
1937	Fundação do DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, com a finalidade de executar a política rodoviária.
1940	Meados da década de 40 o Brasil possuía 423 km de rodovias pavimentadas entre estaduais e federais
1945	Criação do Fundo Rodoviário Nacional – FRN
1950	Após 5 anos de criação do FRN, a malha rodoviária pavimentada mais do que dobrava, passando a contar com 968km
1956	No período de governo do presidente Juscelino Kubitschek (1956 - 1961), seu Plano de Metas era o binômio "energia e transportes", sendo criadas as bases da industrialização brasileira, com a construção de grandes hidrelétricas e abertura de mais de três mil quilômetros de rodovias.
1961	Inaugurada a maior rodovia brasileira pavimentada, a BR-116, ou como é conhecida, a Regis Bittencourt, com início na cidade de Fortaleza – CE, passando por 10 estados, com seu término na cidade de Jaguarão, no estado do Rio Grande do Sul, na fronteira com o Uruguai, com extensão total de 4.385,00 km.
1966	No final da década de 60, o Brasil possuía quase todas as capitais interligadas por estradas federais, com exceção de Manaus e Belém.
1988	1988 – A constituição de 1988 extingue o Fundo Rodoviário Nacional.
2001	Em 5 de junho de 2001, Lei nº 10233, que dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, sucedâneo do DNER.
2001	Foi criada a contribuição de intervenção no domínio econômico - CIDE, incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível. Atendendo o disposto no § 2º do art. 1º da Lei nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001, cria o Fundo Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – FNIT e dá outras providências.

Quadro 2.1- Marcos representativos da história da pavimentação no Brasil.

2007	O governo federal cria o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC, em 28 de janeiro de 2007, sendo um programa que engloba um conjunto de políticas econômicas, tendo como objetivo acelerar o crescimento econômico do Brasil, prevendo investimentos totais de R\$ 503,9 bilhões até 2010, sendo uma de suas prioridades o investimento em infra-estrutura, destacando-se a construção e recuperação de estradas em todo país.
2007	Em abril foi lançado o Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT, fruto da retomada do planejamento de médio e longo prazos para o setor. Para sua execução foi mobilizada equipe técnica de alto nível responsável pelo seu desenvolvimento, utilizando-se, para tanto, do CENTRAN – Centro de Excelência em Engenharia de Transportes, fruto da parceria entre o Ministério dos Transportes e o Ministério da Defesa. De imediato, o PNLT serviu de embasamento para a formulação do PPA 2008-2011, assim como servirá para as primeiras indicações de investimentos para o PPA 2012-2015 e dos ensaios de organização dos PPA's seguintes até 2023, quando se atinge o horizonte dos estudos socioeconômicos elaborados para este Plano. Importa ressaltar ainda que o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, lançado pelo Governo Federal em 22 de janeiro de 2007, está integrado ao PNLT, no que diz respeito ao seu horizonte 2008-2011. PNLT. Importa salientar que não se trata de um plano de governo, mas sim de uma proposta para o Estado brasileiro, destinada a subsidiar a elaboração dos próximos quatro Planos Plurianuais – PPAs, ou seja, com um horizonte de 2008 a 2023. Outros fundamentos do PNLT: implementar um método de planejamento científico, baseado em sistema de dados georreferenciado, ancorado em análise macroeconômica consistente, desenvolvida pela Universidade de São Paulo, utilizando modelos adequados de simulação e projeção de transportes.

Quadro 2.2- Marcos representativos da história da pavimentação no Brasil. (cont.)

Do Quadro 2.1 se depreende quão recente é a história da pavimentação no Brasil, a partir da inauguração da “Estrada Real”, ligando Petrópolis a Juiz de Fora em 1861 pelo imperador D. Pedro II, época do Brasil Colônia, utilizada na exploração econômica dos recursos naturais .

O primeiro órgão estadual rodoviário brasileiro, a Diretoria de Estradas de Rodagem de São Paulo, foi criado em 1926. Por seu turno o Órgão Rodoviário Federal, a Comissão de Estradas de Rodagem Federais, foi criada em 1927.

Outra data marcante é o ano de 1937 com a fundação do DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, responsável pelo planejamento e execução da política rodoviária em todo país.

Em 1945 com a criação do Fundo Rodoviário Nacional - FRN, pela primeira vez o país passa a ter uma fonte de receita para execução dos grandes empreendimentos rodoviários em todo país. Sendo responsável pelo grande impulso na pavimentação de rodovias no Brasil.

Em apenas 5 anos de sua criação a malha pavimentada nacional mais que dobra, passando de 423 km para 986 km. Somente em 1966, o Brasil passa a interligar todas as capitais por rodovias federais, a exceção de Manaus e Belém.

Da mesma forma que a criação do FRN, deu grande impulso a pavimentação rodoviária, sua extinção em 1988, por meio da Constituição, marca o declínio da construção e conservação das rodovias brasileiras, deixando de existir recursos constitucionais com essa finalidade, apenas em 2001 com a criação de novo imposto, a Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico - CIDE , é que o país volta a ter recursos que atendam a grande demanda para a retomada da construção e recuperação das rodovias.

No ano de 2007 finalmente o país passa a ter um programa de investimentos em infraestrutura denominado Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), atendendo a todos os modais de transportes, mas, prioritariamente o modal rodoviário.

2.3 RODOVIAS NO ESTADO DE GOIÁS

O estado de Goiás pela sua situação geográfica, longe dos principais centros econômicos e políticos do país, encontrava-se até pouco tempo praticamente isolado das demais unidades da federação.

O grande progresso alcançado pela região central do país tem nas rodovias um fator de indução e de catalisação de seu desenvolvimento, permitindo a integração entre as comunidades, e o escoamento das riquezas produzidas.

2.3.1 Rodovias Federais

No estado de Goiás, a história do rodoviarismo é recente. No final da década de 30, o sistema viário federal era constituído apenas pela Estrada de Ferro Goiás, com seu ponto extremo em Anápolis, aonde os trilhos chegaram em 1935 e, desde então, não avançaram mais (DNER, 1984).

No Quadro 2.3, são apresentados os marcos representativos da história da pavimentação em Goiás, referentes às rodovias federais, desde a década de quarenta mostrando a maneira precária de construção das primeiras rodovias no estado, as dificuldades, a criação dos órgãos

responsáveis pelas primeiras ligações viárias, as marcantes participações do Eng^o Bernardo Sayão e do presidente Juscelino Kubitschek.

ANO	MARCO REPRESENTATIVO – RODOVIAS FEDERAIS
1954	Ano de criação do 12 ^o Distrito Rodoviário Federal em Goiás - 12 ^o DRF , subordinado ao DNER, encarregado pela execução das obras rodoviárias no Estado.
Década de 40	A primeira rodovia construída com recursos federais pelo DNER no Estado foi aberta nos primeiros anos da década de 40, para fazer a ligação da estrada de ferro com a rica província mineral de São José do Tocantins, no município que mais tarde teve seu nome mudado para Niquelândia, numa alusão a sua principal riqueza, o níquel. Embora com características de rodovia pioneira, a sua abertura obedeceu a um primoroso traçado e bem elaborado projeto geométrico. Nos primeiros anos de sua construção, durante a 2 ^a Guerra Mundial, foi usado o processo de escavação manual e o transporte de solos foi feito em carrocinhas de tração animal. Mais tarde quando começaram a serem usados os primeiros caminhões basculantes o seu carregamento era manual, com pás, por falta de carregadeiras mecânicas. Como ressalta a publicação do DNER (1984), a implantação dessa estrada prosseguiu em passo lento, com várias paralisações, de conformidade com os minguados recursos a ela destinados durante muitos anos, sendo que em 1963 ocorreu a última arrancada, ainda sem ter completado a terraplenagem, faltando ainda os últimos 29 km, próximos à Niquelândia. Cumpre ressaltar que, a pavimentação deste trecho, hoje denominado BR-414, ligando Anápolis à Niquelândia numa extensão de 240,00 km encontra-se até a presente data inconclusa, faltando aproximadamente 17,00 km para sua perfeita ligação, com previsão de conclusão até o final deste ano. Ainda no princípio da década de 40, foi iniciada a construção de outra rodovia federal em Goiás, independentemente do Ministério de Viação e Obras Públicas, pois a iniciativa foi do Ministério da Agricultura para atender as necessidades da colônia agrícola de Ceres, ligando-a a Anápolis. Cumpre salientar que as primeiras providências para a construção dessa estrada, que viria a se chamar “rodovia Belém-Brasília”, foram tomadas em abril de 1941 pelo engenheiro Bernardo Sayão.
1958	O Decreto 43.710 de 15 de maio assinado pelo presidente Juscelino Kubitschek, por ocasião da construção de Brasília, criou a Comissão Executiva da Rodovia Belém- Brasília -RODOBRÁS, autarquia subordinada à Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), SUDAM, o engenheiro Bernardo Sayão tornou-se o diretor da Rodobrás.
1971	Em novembro desse ano destaca-se a criação do Programa de Desenvolvimento do Centro – Oeste – PRODOESTE, pelo Decreto n ^o 1192 de novembro de 1971, sendo outro programa com finalidade específica de dotar a região de melhor infra-estrutura.
	Enquanto o 12 ^o Distrito Rodoviário Federal – DRF executava, principalmente por administração direta, a terraplenagem do trecho Jataí-Santa Rita do Araguaia, integrante da ligação São Paulo-Cuiabá, segundo a rota pioneira de Rondon, o Departamento de Estradas de Rodagem de Goiás - DER-GO construía a ligação Goiânia-Itumbiara, mediante convênio de delegação. Diversos outros convênios foram firmados com o DER-GO, para a construção de outras rodovias como a Goiânia-Anápolis (BR-153/060), Goiânia - Rio Verde (BR-060). O órgão estadual executou toda a terraplanagem da primeira e implantou os 19 km iniciais entre Goiânia e Rio Verde.

Quadro 2.3– Marcos representativos da historia da pavimentação em Goiás.

O desenvolvimento da rede rodoviária em Goiás não se fez de forma regular. Houve períodos de grandes volumes de obras e outros de atividade reduzida. Foram notáveis os impulsos ocorridos nos governos dos presidentes Juscelino Kubitschek (1956/60) e Emílio Médici (1969/74). Por influxo do programa de mudança da capital para o Planalto, durante a construção de Brasília, foram executadas as seguintes obras:

- BR-020, Trecho: Formosa-Div. GO/BA (250 km) com a terraplenagem executada pelo Departamento Nacional Contra as Secas - DNOCS, exceto nos dois trechos de Serra, um com 8 km e outro com 16 km;
- BR-040, Trecho: Brasília-Cristalina-Div.GO/MG (168 km), com implantação e pavimentação executadas por uma Comissão Especial do DNER;
- BR-050, Trecho: Catalão/Rio Paranaíba (33 km);
- BR-060, Trecho: Brasília/Anápolis (135 km), Implantação e pavimentação executada pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital – NOVACAP, empresa criada para construir Brasília;
- BR-060, Trecho: Goiânia/Rio Verde (os 19 km iniciados pelo DER-GO foram prolongados até o km 220) e trecho Rio Verde – Jataí (97 km). Em tempo recorde de 6 meses foram implantados 257 km e construídos 478m de pontes;
- BR-070, Trecho Brasília-Entr. BR-414 (70 km), e Trecho: Mal.Floriano – Rio Claro (37 km);
- BR-153, Trecho: Anápolis-Goiânia-Itumbiara (259 km),
- BR-153/226, Trecho: Alvorada/Estreito (740 km), a Rodobrás concluiu os segmentos iniciados pelo DER-GO e implantou o restante do trecho.

Os dados sobre o crescimento da malha rodoviária federal em um período de 30 anos, a partir de dados apresentados no Histórico das Rodovias Federais em Goiás (DNER, 1984), observa-se que de 1953 a 1963 houve um grande crescimento da malha viária federal, com a abertura de novas estradas em leito natural que passaram de 540,00 km para 2.723,00 km, e com a pavimentação dos primeiros 594,00 km de rodovias. Do período compreendido entre 1963 a 1973, observa-se um grande investimento na pavimentação das principais rodovias em leito natural, de 594,00 km para 1.135,00 km, estando ainda em obras de pavimentação 1.715,00km. De 1973 a 1983 os maiores investimentos foram aplicados na pavimentação das vias existentes que passaram de 1.135,00 km para 3.362,00 km, como se verifica pela Figura 2.1, o crescimento da malha viária federal no estado de rodovias com a abertura de vias não pavimentadas (em leito natural) e pavimentadas, atualizando-se os dados até o ano de 2009.

Nos últimas décadas verifica-se que os investimentos foram direcionados para a restauração e o aumento de capacidade das rodovias pavimentadas com a realização das diversas

duplicações: BR-040, BR-050, BR-060 e BR-153, estando em obras de pavimentação 210,4 km e com apenas 205,6 km de rodovias em leito natural.

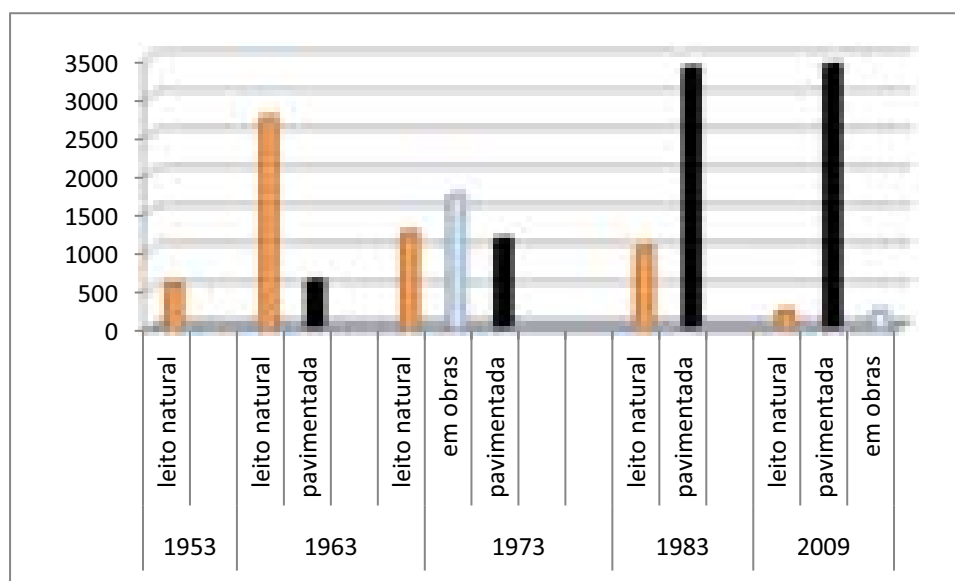


Figura 2.1 – Extensão da rede rodoviária federal no estado de Goiás de 1953 à 1983 e 2009.

Fonte: modificado de DNER (1984), e PNV (2009).

As rodovias federais no território goiano apresentam duas características marcantes. Primeiramente atuam como rodovias arteriais principais, coletando o tráfego das rodovias estaduais em direção aos grandes centros de processamento e distribuição dos produtos locais.

Além disso, o tráfego dessas rodovias tronco (BR's) é composto basicamente de cargas, por se tratar de um tráfego interestadual, oposto ao tráfego regional (local) das rodovias estaduais (GO's), que foram dimensionadas para um nível menor de tráfego, com predominância de veículos leves.

Demonstra-se pela Figura 2.2a, a extensão e localização das rodovias federais no estado no ano de 1953, percebendo-se não haver ainda, nenhuma rodovia pavimentada, quando o objetivo era a ligação e integração de regiões notadamente o eixo norte-sul do estado - antes da criação e desmembramento do estado do Tocantins.

A evolução da malha viária federal de 1953 a 1963, no período de 10 (dez) anos é demonstrada pela Figura 2.2b, percebendo-se a pavimentação da rodovia BR-060, de Anápolis Brasília – construída em menos de um ano de obras, e depois de Goiânia à Anápolis.

Concomitantemente teve início à pavimentação da rodovia BR-153 ligando Goiânia a Itumbiara.



Figura 2.2 – (a) Rodovias Federais no estado no ano de 1953. (b) Evolução da malha rodoviária federal em Goiás de 1953 a 1963. Fonte: modificado de DNER (1984).

Demonstra-se na Figura 2.3a, o crescimento da malha rodoviária federal no estado de 1963 a 1973, tendo como destaque neste período as obras de pavimentação de grande extensão da rodovia BR-153 de Ceres a Estreito, e da rodovia BR-060 e BR-364 de Goiânia a Santa Rita do Araguaia. Tendo sido concluídas nesta década as pavimentações da rodovia BR-040 de Brasília a Cristalina e da rodovia BR-452 de Itumbiara a Rio Verde. Em leito natural destacam-se a implantação das rodovias BR-414 BR-020 e BR-070 ligando até a Cidade de Goiás e divisa com Mato Grosso em Aragarças. Na Figura 2.3b, verifica-se o crescimento da malha rodoviária federal no estado, em 10 (dez) anos (de 1973 a 1983). Tendo como maior

destaque as pavimentações das rodovias: BR-153 em toda sua extensão e das rodovias BR-060, BR-020, BR-050 e BR-364.



Figura 2.3 – (a) Evolução da malha rodoviária federal em Goiás de 1963 a 1973. (b) O crescimento da malha rodoviária federal no estado, em 10 (dez) anos (de 1973 a 1983). Fonte: modificado de DNER (1984).

2.3.2 Rodovias Estaduais.

A história do rodoviarismo estadual é bem recente, principalmente tratando-se de rodovias pavimentadas, que remontam à década de 40. No Quadro 2.3, são apresentados os marcos representativos da história da pavimentação em Goiás, referentes às rodovias estaduais, desde a criação da Comissão de Estradas de Rodagem de Goiás (CERG), até os dias atuais.

ANO	MARCO REPRESENTATIVO
1946	Criada em 31 de agosto e instalada em 19 de novembro de 1946, a Comissão de Estradas de Rodagem de Goiás – CERG, órgão que passou a ser denominado Departamento de Estradas de Rodagem de Goiás – DER-GO em 14 de novembro de 1952. As primeiras estradas construídas pela CERG foram às ligações de Goiânia a Inhumas, a Hidrolândia e a Trindade, além, das ligações de Goiás a Jussara e São Luís de Montes Belos a Firminópolis.
Década de 60	O primeiro trecho de rodovia goiana pavimentada foi a antiga GO-04, hoje GO-070, ligando Goiânia a Goianira na década de 60 (Alves, 2005);
1964	Até o ano de 1964 a malha estadual pavimentada era de apenas 157 quilômetros, acresce lembrar que o estado incorporava ainda a extensão territorial do estado do Tocantins;
1999	Em 1999, o DER-GO foi extinto com a criação da Agência Goiana de Transportes e Obras -AGETOP, que absorveu a estrutura e atribuições do extinto DER-GO e do Consórcio Rodoviário Intermunicipal S/A – CRISA.
2009	O estado de Goiás possui a 6ª maior malha pavimentada e a 4ª não pavimentada entre os estados da Federação, constituída de 9.646,10km de rodovias pavimentadas e 9.810,10 km de rodovias não pavimentadas, (PNV - DNIT, 2009).

Quadro 2.4 – Marco representativo das rodovias estaduais.

Fonte: Coordenação da Rede Física – AGETOP.

A história do desenvolvimento do estado guarda estreiteza com a construção das rodovias que impulsionaram de maneira decisiva os processos de ocupação e de desenvolvimento sociais e econômicos experimentado pelo estado de Goiás.

Foram as estradas que permitiram a interligação das regiões, propiciando deslocamentos, o fluxo de bens e riquezas em um Estado de grandes dimensões territoriais. Pode-se dizer que as rodovias foram o suporte para o grande desenvolvimento que o estado experimentou nestas três décadas, em que a malha viária estadual saltou de 157 quilômetros de rodovias pavimentadas, no ano de 1964, para os atuais 9.646,60 quilômetros, ligando e interligando os diversos municípios goianos (AGETOP, 2009).

Os métodos construtivos, até a década de 60, eram ainda bastante rudimentares, e muitas etapas construtivas eram feitas de forma manual, principalmente nos serviços de terraplenagem, como os cortes, que eram feitos a picaretas, alavancas e dinamite. O transporte dos solos era, ainda, realizado principalmente a tração animal, usava-se galeotas (tracionada por muires), constituídas de uma caixa inclinável para carga e descarga, duas rodas e um

varal central, puxado a braço para transportar o material escavado. Na Figura 2.4, demonstra-se com fotos ilustrativas a evolução tecnológica das ferramentas e equipamentos usados para a execução das operações de terraplanagem.

Verifica-se, o rápido desenvolvimento dos equipamentos de terraplenagem, apresentando máquinas cada vez mais eficientes sob o aspecto mecânico, resultando em aumento extraordinário de produtividade.

Quanto às pontes, utilizava-se em sua execução ferramentas artesanais para seu entalhe como o machado, e a enxó. A madeira utilizada na construção era cedida pelos fazendeiros (DERGO, 1996).



Figura 2.4 – (a) – Execução manual de corte rodoviário. Fonte: ABPV (2006). (b) Execução de terraplanagem utilizando-se motoscrapers. Fonte: ABPV (2006). (c) Execução de emboque de corte usando trator de esteira. (d) Execução de corte utilizando-se escavadeira hidráulica.

A chegada das frentes de pavimentação ao interior do estado era recebida com entusiasmo pelas comunidades. As inaugurações realizavam-se em clima de grande festa.

Estudantes participam de festividades de inauguração de um aponte sobre o Rio Claro no município de Israelândia por onde atualmente passa a GO-060 (Figura 2.5a), e solenidade de inauguração da Rodovia GO-04 (figura 2.5b) hoje GO-070, ligando as cidades de Itaberai e Goiás, pelo Sr. Governador do estado de Goiás, José Ludovico (DER-GO, 1996).



Figura 2.5 – (a) Inauguração de ponte na GO-060.

(b) Inauguração da rodovia GO-04.

Fonte: DER-GO (1999)

Concretamente era o fim do isolamento, da dificuldade de locomoção e o transporte de bens e pessoas representava como não poderia deixar de ser, a interiorização do progresso e a possibilidade de integração regional.

Detalhes do rolo compressor empregado pela Comissão de Estradas de Rodagem de Goiás – CERGO, na década de 40, e de funcionários do Departamento de Estradas de Rodagem – DER-GO (Figura 2.6a), trabalhando na sinalização de uma rodovia pavimentada (Figura 2.6b).

Como ilustração, (após escaneamento) apresenta-se o mapa rodoviário mais antigo do estado encontrado em arquivos da AGETOP (1960), permitindo observar a pequena extensão de rodovias pavimentadas, em contraponto com a grande extensão territorial do estado principalmente antes da divisão dos estados de Goiás e Tocantins Figura 2.7. Basicamente das rodovias federais a BR-060, BR-040 e BR-153.



Figura 2.6 – (a) Rolo compactador de solos.

(b) Sinalização horizontal manual

Fonte: DER-GO (1999)

Considerando-se as rodovias estaduais, o estado de Goiás possui a 6ª maior malha pavimentada e a 4ª não pavimentada entre os estados da Federação, constituída de 9.646,10 km de rodovias pavimentadas e 9.810,10 km de rodovias não pavimentadas, (PNV - DNIT, 2009).

Ao levar-se em consideração que no ano de 1966 a malha pavimentada era de apenas 157 quilômetros, depreende-se que em apenas 40 anos, a mesma experimentou um incremento de aproximadamente 62 vezes (ou 241,15 km/ano).

Levantamento realizado pela AGETOP demonstra crescimento da malha viária estadual de 1966 até 1998, por períodos de governos. Verifica-se, que: até 1966 a malha viária estadual era constituída de apenas 157 km de rodovias pavimentadas, ressaltando que não existia ainda o estado do Tocantins (SEPLAN, 2005). Sendo a rodovia GO-04 – hoje GO-070 a primeira rodovia pavimentada no estado ligando Goiânia em direção a antiga capital a Cidade de Goiás. Hoje a malha viária pavimentada estadual é de 9.646,60 km (SRE, 2009). Desta forma, demonstra-se ser uma rede pavimentada muito recente construída em pouco mais de 46 anos, ligando e interligando, tirando literalmente do isolamento várias regiões do estado, propiciando o fluxo de bens e pessoas neste estado que era até então um dos maiores do país, antes da criação do estado do Tocantins.



Figura 2.7 – Mapa rodoviário do estado de Goiás de 1960 (DER-GO).

Verifica-se que aconteceram a partir de 1966, 3 (três) períodos de acréscimo significativo de construção na malha viária estadual, a saber: de 1983 a 1986, de 1991 a 1994 e de 1995 a 1998, juntos representam a construção de 5.962,60 km de rodovias pavimentadas, correspondendo a 61,8% da malha viária pavimentada do estado atual (Figura 2.8).

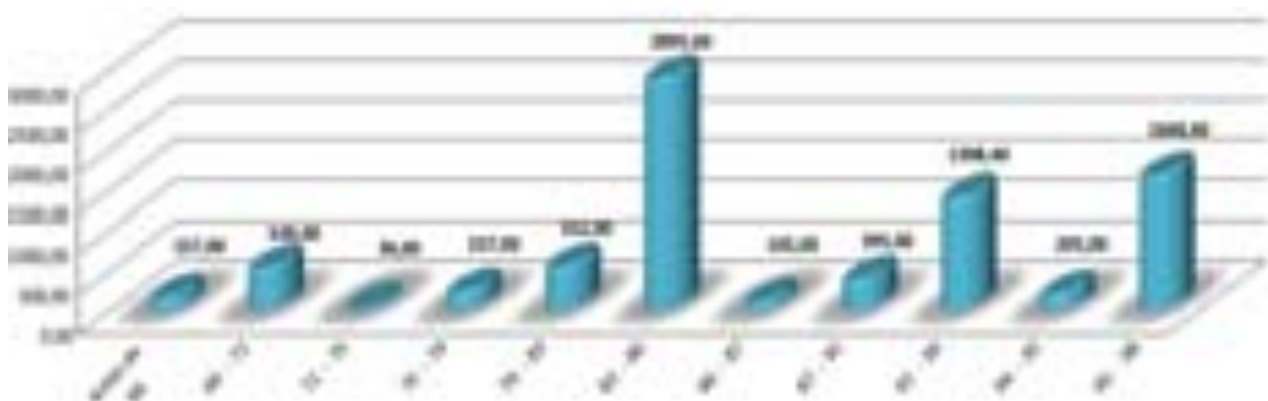


Figura 2.8 - Acréscimo da malha pavimentada por período de governos.

Fonte: modificado de SEPLAN (2005)

2.3.3 Nomenclatura das Rodovias Estaduais.

A Agência Goiana de Transportes e Obras – AGETOP, autarquia vinculada à Secretaria de Estado da Infra-Estrutura, é responsável pela elaboração do Sistema Rodoviário Estadual – SRE, que integra o conjunto de informações que caracteriza a malha viária do Estado de Goiás, destinada a compor o Plano Nacional de Viação – PNV. O Plano Nacional de Viação nos Termos da Lei nº 5917 de 12/09/73 estabeleceu em seu artigo 11 a obrigatoriedade dos estados federativos elaborarem seus respectivos Sistemas Rodoviários Estaduais. O Sistema Rodoviário Estadual foi baseado na nova edição de Roteiros Básicos para Elaboração de Sistemas Rodoviários Estaduais, lançados pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, em outubro de 2006. A nomenclatura das rodovias é definida pela sigla GO, que significa que a rodovia é do estado de Goiás, seguida por três algarismos. O primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, de acordo com as definições estabelecidas no Sistema Rodoviário Estadual:

- 0 (zero) rodovias radiais – são as rodovias que partem da Capital em direção aos extremos do estado;

- 1 (um) rodovias longitudinais – são as rodovias que cortam o estado na direção Norte-Sul;
- 2 (dois) rodovias transversais. – são as rodovias que cortam o estado na direção Leste-Oeste;
- 3 (três) rodovias diagonais – estas rodovias podem apresentar dois modos de orientação: Noroeste-Sudeste ou Nordeste-Sudoeste;
- 4 (quatro) rodovias de ligação – estas rodovias apresentam-se em qualquer direção, geralmente ligando outras rodovias estaduais, ou pelo menos uma rodovia estadual às cidades ou pontos importantes ou ainda às divisas do estado;
- 5 (cinco) Ramais, as que ligam cidades, estâncias hidrotermais, pontos de atração turística e portos fluviais a rodovias tronco.

Os dois outros Algarismos definem a posição, a partir da orientação geral da rodovia, relativamente à Capital Federal e aos limites do País (Norte, Sul, Leste e Oeste), obedecidas as indicações seguintes:

Rodovias Radiais (GO-0XX) – a numeração dessas rodovias pode variar de 05 a 95, segundo a razão numérica 05 e no sentido horário; exemplo: GO-020, GO-040 e GO-070.

Rodovias Longitudinais (GO-1XX) – a numeração dessas rodovias varia de 00, no extremo leste do estado, a 50, na Capital e de 50 a 99, no extremo oeste. O número de uma rodovia longitudinal é obtido por interpolação entre 00 e 50, se a rodovia estiver a leste de Goiânia e, entre 50 e 99 se estiverem a oeste, em função da distância da rodovia ao meridiano da Capital; exemplo: GO-108, GO-110, GO-112.

Rodovias Transversais (GO-2XX) – a numeração dessas rodovias varia de 00, no extremo norte do país, a 50 na Capital, e de 50 a 99 no extremo sul. O número de uma rodovia transversal é obtido por interpolação, entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte da Capital, e entre 50 e 99, se estiverem ao sul, em função da distância da rodovia ao paralelo de Goiânia; exemplo: GO-206, GO-210, GO-213.

Rodovias Diagonais (GO-3XX) – a numeração dessas rodovias obedece ao seguinte critério: orientadas na direção geral NO-SE. A numeração varia, segundo números pares, de 00, no extremo NE do país, a 50, em Goiânia, e de 50 a 98, no extremo SO. Obtém-se o número da

rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção NO-SE, passando pela Capital; exemplo: GO-301, GO-319, GO-326;

Rodovias de Ligação (GO-4XX) – a numeração dessas rodovias varia entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte do paralelo da Capital, e entre 50 e 99, se estiverem ao sul desta referência; exemplo: GO-401, GO-402, GO-403.

Rodovias Ramais (GO-5XX) - exemplo: GO-501, GO-511, GO-533.

Assim, as rodovias objeto deste estudo: rodovia GO-309 Trecho: ENTR. BR-154/483/GO-236 (P/ Cachoeira Dourada) – DIV. GO/MG, Subtrecho: ENTR. BR-490(B)/GO-213(B) (Caldas Novas) – ENTR. BR-352(A)/GO-020/320(A) início do perímetro urbano (Pires do Rio), é uma rodovia diagonal, e a rodovia GO-236, sendo assim descrita no Sistema Rodoviário Estadual – SRE: Trecho: DIV. GO/BA – ENTR. BR-010/GO-118, Subtrecho: ENTR. GO-118(A) – ENTR. BR-020(A) é uma rodovia transversal.

2.4 MATRIZ NACIONAL DE TRANSPORTES

A matriz nacional de transportes, segundo o PNLT (2009) apresenta-se, subdividida, por modais em: modal rodoviário 58%, ferroviário 25%, hidroviário 13%, demais 4 % (Figura 2.9).

O Quadro 2.5 – Situação das rodovias brasileiras, realizado a partir de dados extraídos do PNV/DNIT (2009), apresenta as extensões pavimentadas, não pavimentadas e a totalização das extensões das malhas rodoviárias federal, estadual e municipal, bem como o percentual de rodovias pavimentadas em relação as respectivas malhas viárias. Desta forma, são feitas correlações da malha viária do estado de Goiás com as malhas viárias a nível federal, estadual e municipal.

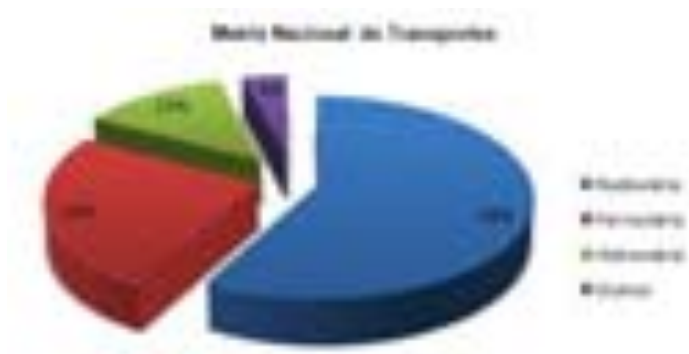


Figura 2.9 – Matriz nacional de transportes por modais. Fonte PNLT (2009).

SITUAÇÃO DAS RODOVIAS	FEDERAL		ESTADUAL		MUNICIPAL	
	GOIÁS	BRASIL	GOIÁS	BRASIL	GOIÁS	BRASIL
Pavimentadas (km)	3.355,70	61.919,70	9.646,10	128.571,90	60,00	27.341,70
Não pavimentadas (km)	292,00	13.774,70	9.810,10	117.698,70	64.630,90	1.236.127,80
Total (km)	3.647,70	75.694,40	19.456,20	246.270,60	64.690,90	1.263.469,50
% das rodovias pavimentadas	91,99%	81,80%	49,58%	52,21%	0,09%	2,16%

Quadro 2.5 – Situação das rodovias – 2009.

FONTE: modificado de DNIT, 2009.

O Brasil constitui-se, hoje, em um país eminentemente rodoviário, mas não é devido à extensão de sua malha pavimentada. Quando se compara com outros países de menores dimensões territoriais e com menor população, conclui-se que o país possui uma malha pavimentada ainda insuficiente.

Dentre os 20 (vinte) países da América Latina apesar de possui o maior PIB, extensão territorial, população, frota de veículos e extensão de rodovias, é, no entanto, apenas o 17^o (décimo sétimo) considerando-se o percentual da malha rodoviária pavimentada, com apenas 12,2 %, à frente apenas de Nicarágua, Uruguai e Bolívia. Tendo a frente o Paraguai com 50,8% da malha pavimentada, seguido do México e Cuba. Demonstra-se pela Tabela 2.1 o percentual de rodovias pavimentadas para 20 (vinte) países (NTC-2009).

	Países	% de rodovias pavimentadas
1	Alemanha	100
2	França	100
3	Itália	100
4	Reino Unido	100
5	Suíça	100
6	Holanda	100
7	Espanha	99,0
8	Coréia do sul	86,8
9	Rússia	84,7
10	China	81,0

11	Bélgica	78,0
12	Japão	77,7
13	Estados Unidos	64,5
14	México	49,5
15	Índia	47,4
16	Turquia	41,6
17	Austrália	41,6
18	Canadá	39,9
19	Suécia	30,5
20	Brasil	12,2

Tabela 2.1– Percentual de rodovias pavimentadas para 20 países.

Fonte: NTC (2009).

A rodovia é o principal sistema de transporte utilizado no país para o deslocamento de mercadorias e pessoas, promovendo a integração econômica entre regiões e trazendo grandes benefícios para a sociedade, possui um caráter de integração local, regional, nacional e estratégico. Desta forma, verificando-se a necessidade da implantação e pavimentação de uma grande extensão viária, demonstrada pelo baixo percentual de rodovias pavimentadas, com relação as não pavimentadas, a preocupação recai sobre o nível de degradação que possam vir associado a estes empreendimentos diante dos processos do meio físico amplificados nas etapas de construção, causando problemas ambientais (assoreamento de nascentes, rios, lagos, poluição, movimentos de massa), impactando áreas lindeiras, e a perda das condições de trafegabilidade, com riscos ao tráfego usuário. De acordo com Anjos Filho (1998), a erosão provocada pela água no leito e nas margens de estradas, principalmente as não pavimentadas é responsável por aproximadamente metade das perdas de solo no Estado de São Paulo. No estado de Goiás, as perdas de solo provocadas por processos erosivos advindos das construções rodoviárias são também significativas, apesar de não existir monitoramento e dados que permitam quantificá-los.

CAPÍTULO 3

PROCESSOS DO MEIO FÍSICO E GEOFÍSICA APLICADA

Para o melhor entendimento da metodologia adotada nesta pesquisa, a seguir apresentam-se alguns conceitos necessários a sua fundamentação teórica, que se referem basicamente aos impactos e processos relacionados ao meio físico.

No que diz respeito aos processos empreendidos nas construções de uma obra viária, o solo é um importante componente do ambiente natural, e um componente primordial para muitas atividades humanas. De acordo com Tsunokawa e Hoban (1977), sua proteção merece atenção considerável, além de ser insumo aos processos construtivos, é também, o substrato em que às obras são assentes.

A ABNT - NBR 6502 define solo como: “Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”, ou simplesmente, produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos. Segundo Vargas (1977), para a finalidade específica da engenharia civil, o termo solo poderia ser definido, considerando-o como todo material da crosta terrestre que não oferecesse resistência intransponível à escavação mecânica e que perdesse totalmente toda resistência, quando em contato prolongado com a água, sendo materiais naturais não consolidados, constituídos de grão separáveis por processos mecânicos e hidráulicos, de fácil dispersão em água e que podem ser escavados com equipamentos comuns de terraplenagem.

Os solos aluviais e coluviais juntamente com os solos de origem eólica e os produzidos pelos depósitos moráinicos, são solos alóctones. O colúvio é um material que foi transportado de um local para outro, principalmente por gravidade. Só aparece no sopé de vertentes ou em

lugares afastados de declives. No material detrítico, não é fácil se fazer a separação do material de colúvio, do residual ou do aluvial, pois a predominância de um deles pode mascarar os outros. Os solos autóctones ou residuais são os que resultam de uma alteração local da rocha, com a eliminação de certos materiais, ficando apenas o resíduo no próprio local. Nesta categoria de solos tem-se também os que são formados por agentes orgânicos (Guerra, 2003).

Os solos saprolíticos (*sapro*, do grego: podre) são aqueles que resultam da decomposição ou desagregação *in situ* da rocha de origem pela ação das intempéries (chuvas, insolação, geadas) e as partículas que os constituem permanecem no mesmo lugar em que se encontravam no estado pétreo. São solos que ficam subjacente à camada de solo superficial laterítico, aparecendo na superfície somente devido às ações antrópicas ou erosões. São solos residuais jovens, em contraste com os solos lateríticos, que são maduros (VILLIBOR *et al.* 2007).

A rocha é formada por um conjunto de minerais ou somente um mineral consolidado. É todo material que compõe a costa terrestre excluindo a água e o gelo. Vários fatores denotam as suas diferenças tais como a origem, estrutura, clima, textura, composição química, cobertura vegetal. Esses fatores interferem nas diferenciações superficiais que as rochas possam apresentar de forma ora mais acentuada, ora menos acentuada (Guerra, 1993).

Os solos lateríticos (*later*, do latim: tijolo) são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, por processo denominado laterização (VILLIBOR *et al.*, 2007). Esta laterização ocorre devido ao enriquecimento do solo com óxidos hidratados de ferro ou alumínio e a permanência da caulinita como argilo-mineral predominante é quase exclusivo. Estes minerais conferem aos solos de comportamento laterítico a coloração: vermelho, amarelo, marrom e alaranjado (VILLIBOR *et al.* 2007). Segundo Massad (2005), a composição mineralógica e a estrutura dos solos lateríticos influem em muito em suas características e propriedades geotécnicas. A lixiviação e a cimentação das partículas formam agregados e estruturas porosas, o que resulta num solo com elevado índice de vazios, elevada resistência contra a ação erosiva das águas pluviais e alta permeabilidade.

Segundo Souza Pinto (2006), existe diversas formas de classificar os solos, como pela origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios. Os sistemas baseados no tipo e no comportamento das partículas que constituem os solos são os mais conhecidos na engenharia dos solos. Utiliza-se neste trabalho a classificação de solos preconizada pelo O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS, 2006), baseando-se em projeto nacional de levantamento de solos coordenado pelo Centro de Pesquisa de Solos (Embrapa Solos).

No estado de Goiás predominam os seguintes grupos de solos: Latossolo, Cambissolo, Argissolo, Nitossolo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Plintossolo, e Gleissolo,

sendo o Latossolo o grupo predominante. Possuem fertilidade natural variável de baixa à alta, dependendo do tipo de relevo predominante e da rocha geradora do solo. Na Figura 3.1 demonstra-se a delimitação esquemática dos principais solos brasileiros, segundo IBGE (2007). Não apenas no estado, os latossolos distribuem-se por amplas superfícies no Território Nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões, diferenciando-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro, que determinaram a sua separação em quatro classes distintas ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006). Os Latossolos Vermelhos predominam no sudoeste do estado, ocupando 30% do estado, e apesar da baixa fertilidade o relevo, as baixas declividades e grande espessura desse solo favorecem a agricultura mecanizada. Outros 15% são ocupados por Latossolos Vermelho e Amarelo, em áreas onde predominam pastagens plantadas.

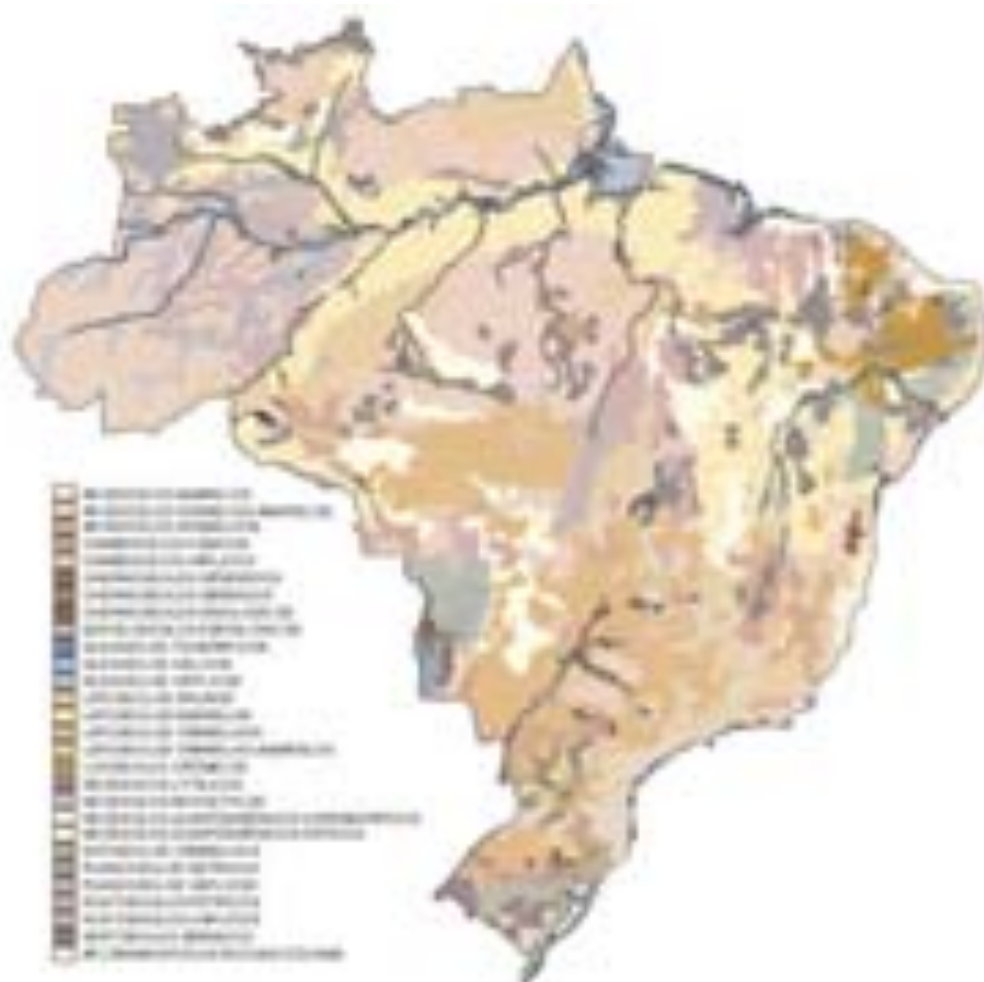


Figura 3.1 – Delimitação esquemática dos principais solos brasileiros, IBGE (2007).

3.1 PROCESSOS DO MEIO FÍSICO

Tendo em vista a importância dos estudos relativos ao solo como suporte para as atividades antrópicas, atualmente vem crescendo a preocupação com a chamada responsabilidade social das empresas, pois a sociedade exige que as entidades se preocupem cada vez mais com o ambiente em que as obras se inserem.

Faz-se necessário, desta forma, uma melhor compreensão dos processos do meio físico, que segundo Fornasari Filho (1992), decorrem de interações dos meios físico, biológico, sócio-econômico, com predominância de componentes abióticos (água, rocha e ar).

Para Diniz (1998), os processos do meio físico podem ser deflagrados, induzidos, acelerados ou retardados artificialmente por processos tecnológicos. Todo projeto de engenharia contempla um processo tecnológico. Por isso, deve levar em consideração as características do ambiente como os condicionantes do meio físico, para prever o seu desempenho. O processo tecnológico corresponde ao conjunto de técnicas aplicadas em operações que caracterizam a implantação, o funcionamento ou a desativação de uma atividade modificadora do meio ambiente segundo Fornasari Filho (1992). Essa abordagem por processos permite uma melhor previsibilidade do comportamento dos terrenos, frente a alguma modificação de suas condições.

Quanto ao monitoramento dos aspectos do meio físico, aplicados às obras viárias, percebe-se uma grande lacuna, carecendo de formulações próprias e adequadas por parte dos órgãos rodoviários. O maior enfoque sobre o tema recai aos aspectos relacionados ao meio ambiente, como controle de emissões atmosféricas, de ruídos, contaminações de solos e água, controle de vibrações, revegetações de áreas degradadas, Instituto Geológico y Minero (2004); Tsunokawa e Christopher Hoban (1997); Ministério de Medio Ambiente, Secretaria General Para Prevención De La Contaminación Y Del Cambio Climatico (2004); Toy (1982).

No Brasil, o histórico das preocupações do meio rodoviário, com os processos do meio físico também é recente. Iniciando com o maior órgão rodoviário brasileiro o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. Elaborou-se um histórico até os dias atuais, acerca das normativas e demais publicações sobre o tema descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Histórico das normativas sobre construções viárias.

Ano	Histórico
1974	O Serviço de Arquitetura e Paisagismo da Divisão de Estudos e Projetos da Diretoria de Planejamento do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER estabeleceu a Norma de Procedimento N ^o . NP-20, que diz respeito ao Projeto de Paisagismo das Rodovias;
1977	1977 - o DNER propôs os Termos de Avaliação de Impactos sobre o Meio Ambiente decorrentes de obras rodoviárias;
1992	1992 - FORNASARI F. N. et al. Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, com relação à prevenção de impactos ambientais na área de influência das rodovias;
1993	1993 - BELLIA, V.; BIDONE, E.D. Rodovias, Recursos Naturais e Meio Ambiente. Niterói-RJ: EDUFF, precedendo as normas ambientais do DNER, a publicação de Bellia e Bidone (1993), incorpora aos projetos rodoviários os critérios ambientais e sociais integrados com os critérios econômicos, destacando que rodovias mal concebidas intensificam a degradação ambiental e o desperdício econômico
1996	1996 - Corpo Normativo Ambiental para Empreendimentos Rodoviários, DNER (1996), incorpora o monitoramento ambiental, e Instruções de Serviço Ambiental – ISA. Essa publicação é até hoje uma das principais consultas, sendo um escopo básico para o gerenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários. Traz as principais considerações acerca das atividades necessárias à execução do Gerenciamento Ambiental, contido nas Instruções de Serviço Ambiental – ISA.
2005	2005 - Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Conservação e Controle Ambientais (DNIT). Esta publicação busca incorporar o que há de mais atual em termos de gerenciamento, monitoramento e controle ambientais, envolvendo todas as fases da construção rodoviária.

Dentre os diversos fatores que causam impactos, advindos da construção de uma rodovia, pode-se destacar:

- desmatamento, ou retirada da cobertura vegetal;
- processos erosivos;
- queda de blocos;
- deslizamentos de taludes inconsolidados;
- disposição inadequada de bota-foras;
- assoreamento e poluição dos corpos líquidos etc.

De longe são os processos erosivos os que denotam maiores preocupações por ocasião das obras viárias, a partir da retirada da cobertura vegetal e posterior movimentação dos solos e rochas. De acordo com Guerra *et al.* (1999), as erosões podem ser descritas como incisões resultantes de tendência dos sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e a eficiência do sistema em dissipar energia. No caso dos solos, a alteração nas

características do sistema (manejo do solo, cobertura vegetal etc,) pode levar a situações de desequilíbrio, sendo os processos erosivos sua resultante.

Define-se por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos, (SALOMÃO e IWASA, 1995). Ressaltando-se que:

A erosão é um processo mecânico que age em superfície e profundidade em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas, naturalmente relevantes, tornando-se crítica pela ação catalisadora do homem.

(...)

Erosão geológica ou normal ocorre na superfície terrestre sob condições naturais. Erosão acelerada é decorrente do aumento da taxa de erosão sobre a erosão geológica ou normal, resultado do desequilíbrio ambiental devido às atividades humanas. Erosão bruta é a quantidade total de material desprendido e removido pela ação dos agentes erosivos numa determinada área, num dado tempo.

Para Bertolini et al. (1993), as águas pluviais constituem a principal causa de erosão nas estradas, tornando-se de grande importância à captação e disciplinamento das mesmas, de forma a reduzir seu efeito nocivo, sendo a resistência do solo à ação erosiva das chuvas é definida como erodibilidade, e o índice que expressa a capacidade da chuva em causar erosão é conhecido como erosividade. A água (erosão hídrica), sendo um dos principais agentes da degradação dos solos, contribui com vários efeitos dinâmicos: destacamento do solo, desagregação (arraste superficial), transporte do solo desagregado, deslizamento (rompimento da estabilidade do talude) e queda de maciços. De acordo com Carvalho e Diniz (2005), tem-se a seguinte subdivisão da erosão hídrica:

- laminar: é aquela que ocorre de maneira suave e uniforme em toda superfície do terreno;
- sulco: corte pouco profundo no solo que surge com a concentração da água;
- ravina: é o aprofundamento do sulco, podendo atingir vários metros;
- voçoroca: é a última fase da erosão linear com participação ativa da água subterrânea;
- *pipping*: é a erosão interna que evolui, regressivamente, na forma de tubo de drenagem.

Segundo Oliveira (1999), voçoroca indica as rotas do escoamento superficial e por vezes subsuperficiais; filetes subverticais e escamamentos indicam escoamento superficial. Pode ocorrer preferencialmente em paredes pouco coesas, porém também ocorre em solos de maior coesão. Dentro os fatores condicionantes dos processos erosivos, destaca-se além da chuva - com seu parâmetro específico da erosividade, do solo - com sua propriedade de maior ou menor resistência à ação erosiva como é conhecida a erodibilidade (com destaque para a textura, estrutura e permeabilidade), a cobertura vegetal - como fator natural de proteção dos solos, o relevo - com duas componentes: a declividade e comprimento de rampa, da encosta ou vertente, que interferem na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais (Figura 3.2).

Uma das principais consequências do processo erosivo é o assoreamento, que se constitui na degradação parcial ou total de córregos, rios e lagos pela deposição da terra transportada pelas enxurradas e cursos d'água durante o processo da erosão. Pode ainda soterrar casas, cercas e plantações (Carvalho e Diniz, 2005).

Com relação às rodovias, observa-se que o processo de assoreamento ocorre também no corpo estradal com a colmatação das drenagens superficiais (calha e meio-fio), provocando obstrução das mesmas e redirecionando a água para a pista.



Figura 3.2 – Erosão na rodovia - BR 070/GO, km 3,00 (Águas Lindas-GO). Fonte: foto do autor, 2005.

Os processos geomorfológicos segundo Fornasari e Infanti Jr (2002), geralmente, são complexos, refletindo não somente a inter-relação entre as variáveis causais (clima, geologia, morfologia etc.), mas também a sua evolução com o tempo. Portanto, por tratar-se de

processos, deve-se sempre ter em mente a noção do espaço em que o processo ocorre e a sua velocidade. Com relação aos processos do meio físico, a questão crucial que se apresenta é a modificação/alteração da dinâmica superficial ou subsuperficial desses processos, causando instabilidade ou não. Dentre os movimentos de massa relacionados às obras viárias, as instabilizações consideradas dizem respeito aos principais movimentos que ocorrem com mais frequência em ambientes tropicais.

No Brasil, os movimentos de massa têm-se constituído em problemas de engenharia de grande magnitude, em que por ocasião de períodos de grande pluviosidade assiste-se diversos acidentes envolvendo por vezes a perda de vidas humanas. O movimento de massa é basicamente influenciado pela morfologia da vertente. A altura desta, bem como a sua inclinação consistem fatores importantes a serem considerados na análise do problema.

Os movimentos de massa são conhecidos como os mais importantes processos geomórficos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material (solo e rocha) vertente abaixo sob influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes, como água, gelo ou ar. Os movimentos de massa enquadram-se em duas categorias segundo Bigarella (2003), aqueles devidos a causas externas que aumentam a tensão de cisalhamento dos materiais da vertentes sem afetar as tensões internas desses materiais; aquelas que afetam as tensões internas sem mudanças nas tensões de cisalhamento. Os fatores condicionantes que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente:

- da estrutura geológica;
- da declividade da vertente (forma topográfica);
- do regime de chuvas (em especial em episódios pluviais intensos);
- da perda de vegetação e da atividade antrópica;
- da existência de espessos mantos de intemperismo;
- da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos.

Entre os fatores geológicos são considerados:

- os aspectos litológicos;

- os padrões de fraturas e diáclases, incluindo aqueles de xistosidade, dobramentos, ou estratificação;
- o manto de intemperismo;
- a coesão e o peso por unidade do material formador das vertentes;
- a circulação das águas;
- os esforços e os planos de cisalhamento.

Os padrões de diáclases e de fraturas, bem como de qualquer plano de descontinuidade desempenham papel importante na infiltração e na circulação das águas e, portanto, na intemperização das rochas. A rede de diaclasamento é de grande importância para os deslocamentos maciços. O sistema consiste de dois tipos de diáclases. Um deles é formado pela combinação de planos (verticais, bolíquos ou horizontal) herdados dos esforços pretéritos devidos ao tectonismo, entre outras causas. O outro mais recente desenvolve-se com o progresso da denudação regional. As diáclases curvilíneas com mergulho na direção do declive maior da vertente podem constituir planos de deslizamento de grandes fragmentos de lajes e de blocos de tamanho considerável. Quando a quantidade de água infiltrada é maior do que a possibilidade de vazão, pode haver a saturação e perda de coesão interna do material alterado. A supersaturação dos solos pela água, provoca a diminuição da resistência ao cisalhamento, permitindo o início da movimentação do material intemperizado, em situação de equilíbrio instável nas encostas íngremes (BIGARELLA, 2003). Apresenta-se a seguir uma descrição sucinta dos principais tipos de movimentos de massa, que ocorrem com mais frequência no país, relativos à dinâmica de ambientes tropicais descritos por Augusto Filho (1992), Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Característica dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira (Augusto Filho, 1992).

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO MATERIAL E GEOMETRIA
Escorregamentos (slides)	Poucos planos de deslocamentos (externos) Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Pequenos e grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza

Tabela 3.2. Característica dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira (Augusto Filho, 1992), (cont.).

Rastejo (Creep)	Vários planos de deslocamentos (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Quedas (falls)	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (flows)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa de movimentação) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Movimento de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Os escorregamentos, também denominados deslizamentos dos solos são movimentos rápidos, de curta duração, em que se pode diferenciar o material deslizado daquele não movimentado (GUERRA; CUNHA, 2000), geralmente definindo-se bem volumes de solo ou rocha. Segundo Fornasari e Infanti Jr (2002), com o deslocamentos do centro de gravidade para baixo e para fora do talude (natural, de corte ou aterro). Podem ocorrer devido a fatores como presença ou não de vegetação, inclinação das vertentes, consolidação do material, quantidade e frequência de chuvas e ação humana através da utilização das áreas.

No Brasil, os deslizamentos de taludes, segundo Guidicini e Nieble (1984), têm se constituído em problemas de engenharia de grande importância, principalmente nas maiores cidades brasileiras que se situam nas encostas da Serra do Mar, em condições propícias para tais fenômenos.

A frequência com que tais movimentos coletivos de massas ocorrem é, de longe, superior à que os órgãos de imprensa registraram. Sendo natural que assim seja, pois os escorregamentos só ganharão a mídia quando envolvem áreas urbanizadas, ocasionando riscos a comunidades. Desta forma, movimentos de massa de uma forma geral, ocorrentes em áreas despovoadas, dificilmente serão registrados e sua ocorrência poderá passar despercebida. Os estudos que visaram caracterizar e classificar, sob diversos aspectos, os processos de movimentos de massa, principalmente os escorregamentos, foram iniciados no final do século passado. Dentre estes salienta-se Sharpe (1938), Freire (1965) e Terzaghi (1967) que reconheceram as grandes classes de ocorrência, com subclasses sistematizadas em diferentes abordagens, ou seja: morfoclimática, geomecânica, geofísica-mecânica, avaliando causas e mecanismos e destacando aspectos de instabilidade e o caráter cíclico dos eventos.

Os escorregamentos podem ser classificados, de acordo com Guidicini e Nieble (1993), Augusto Filho (1994), em:

- Planar ou Translacional: ocorrem em áreas de elevada declividade onde o solo é pouco espesso, ou na porção em que o solo coluvionar intercepta o saprólito ou ainda junto a planos de fraqueza (falhas, xistosidades, etc); possuem comprimento maior que a largura. Este tipo de deslizamento é muito frequente na Serra do Mar, estando fortemente associado à saturação do solo devido à infiltração de águas pluviais. Os movimentos translacionais possuem uma ruptura em forma planar. São em geral compridos e rasos. A massa que escorrega apresenta, assim, via de regra, forma tabular. O movimento segundo Guidicini e Nieble (1984), é de curta duração, velocidade elevada, tem grande poder de destruição. Na prática, é possível observar que frequentemente a superfície de ruptura se estabelece ao longo dos horizontes arenosos mais permeáveis.
- Circulares ou Rotacional: ocorrem em áreas com superfícies curvas, formados por material deposicional de grande espessura ou por rochas muito fraturadas, localizadas em topos de escarpas ou de morros ou em vertentes suaves. Possui uma superfície de ruptura curva, côncava para cima. Predomina a existência de solos espessos e homogêneos. Os escorregamentos circulares ou rotacionais possuem superfície de deslizamentos curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associados a aterros, pacotes de solo ou depósito de

solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.

- **Cunha:** este tipo de escorregamento tem sua ocorrência associada a saprólitos e a maciços, apresentando dois planos de fraqueza. O escorregamento é um movimento envolvendo material sólido (solo e/ou rocha) que ocorre ao longo de uma superfície de cisalhamento. Os escorregamentos em cunha estão associados à existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, que condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (Figura 3.3).



Figura 3.3 (a) – Escorregamento em cunha corte rodovia BR-060/GO, km 13. (b) – Escorregamento translacional ou planar, em corte na rodovia BR-414/GO, Km 11, em 2010.

A corrida de massa, devido à maior participação da água, possui menor viscosidade e maior mobilidade que o escorregamento e apresenta vários planos de cisalhamento. Possui gradiente vertical de velocidade, decrescendo esta com a profundidade, o que produz diferenciais de deslocamentos internos na massa e sua deformação (IPT, 1989).

Os movimentos de queda livre independem de precipitação pluvial, já para os escorregamentos e corrida de massa essa variável é importante, uma vez que a umidade e/ou encharcamento do solo deflagram a desagregação e transporte desse material. Estes processos requerem um certo volume de material a ser mobilizado, proveniente de depósitos coluviais de tálus. As corridas ou fluxos são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluídos altamente viscosos. A solifluxão constitui um tipo de movimento de massa dentro da capa superficial, que ocorre quando se processa o encharcamento do manto de

intemperismo. A massa saturada de água começa a sufluir lentamente como corpo viscoso de extrema plasticidade, movimentando em desordem uma massa de clásticos finos em mistura com material bastante grosseiro. A massa solifluente desloca-se lentamente vertente abaixo em consequência do próprio peso. Na solifluxão é essencial, apenas, a presença de uma camada impermeabilizante, que não permite a infiltração das águas a maiores profundidades, promovendo assim a saturação e a perda de estabilidade da parte superior do regolito (Bigarella, 2003). Nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil, a solifluxão não é apenas um movimento próximo à superfície, mas atinge maiores profundidades, uma vez que o manto de intemperismo das regiões mais quentes é geralmente mais espesso (5 a 30 m ou mesmo mais), conforme Figura 3.4, e Figura 3.5.



Figura 3.4 – Detalhe do processo de solifluxão em talude da rodovia BR-414/GO, km 09, em 2000.



Figura 3.5 – Detalhe do processo de solifluxão em talude da rodovia BR-080/GO, km 42, em 2010.

As quedas de blocos são movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rocha caindo pela ação da gravidade sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre

(GUIDICINI, NIEBLE, 1984). Sendo sua ocorrência é favorecida pelas discontinuidades na rocha, como a presença de fraturas ou avanço do processo de intemperismo físico e químico.

Podendo ser classificados em vários tipos, conforme a seguir, segundo Infanti e Fornasari (2002, p.139) (Figura 3.6), e (Figura 3.7).

- queda de blocos: envolve materiais rochosos de volume e litologias diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimentos tipo queda livre;
- tombamento de blocos: movimento que se dá pela rotação dos blocos rochosos, condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço rochoso, com grande mergulho;
- rolamento de blocos: corresponde a movimentação de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas. Esses blocos encontram-se parcialmente imersos em matriz terrosa, destacando-se dos taludes e encostas por perda de apoio;
- deslocamento: consiste no desprendimento de lascas ou placas de rocha que se formam a partir de estruturas (xistossidade, acamamento, etc.), devido às variações térmicas, ou por alívio de tensão. O desprendimento pode se dar em queda livre ou por deslizamento ao longo de uma superfície inclinada.

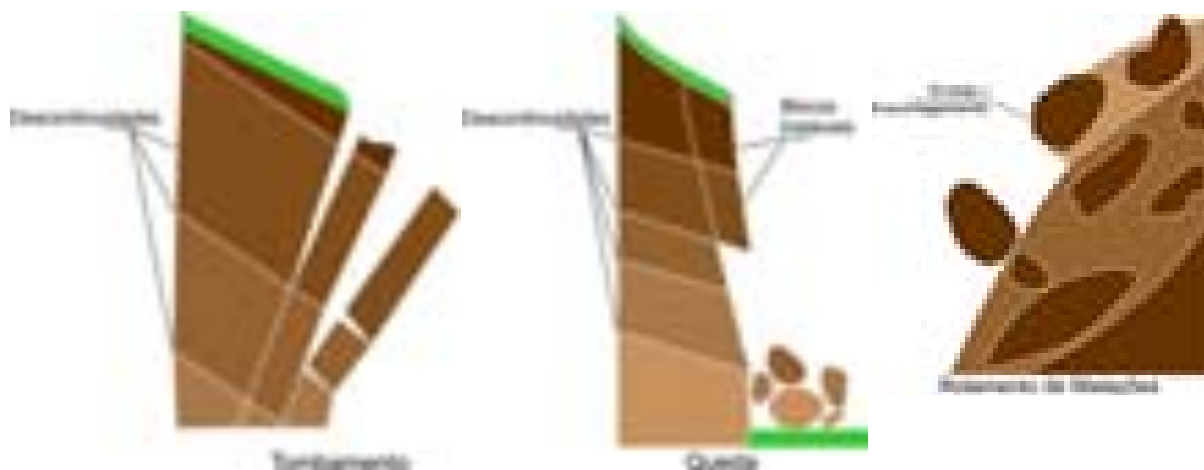


Figura 3.6 – Tombamento, queda de blocos e rolamento de blocos ou matacões, modificado de Fornasari e Infanti Jr (2002).



Figura 3.7 – Detalhe de deslocamento rodovia BR-414/GO, km 10, em 2000.

Segundo Penteado (1983), o rastejamento ou creep é um movimento lento, de alguns centímetros por ano. Afeta apenas a porção superficial. O manto todo se movimenta e desce, sem intervenção da água, apenas sob efeito da componente de gravidade. A velocidade do processo diminui em profundidade, chegando a zero, alguns centímetros ou decímetros abaixo da superfície. O reflexo do rastejamento pode ser observado na curvatura das árvores, postes inclinados, pequenos terraços ao longo das encostas, no caso em particular, objeto desta pesquisa o rastejo evidenciou-se pelo deslocamento do maciço do talude de corte, empurrando a face interna da calha triangular (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Rastejo do talude de corte evidenciado pelo deslocamento da face interna da calha triangular, rodovia GO-309, km 32, em 2005.

Os recalques segundo IBGE (2004), são movimentos verticais da estrutura gerados pelo seu próprio peso ou deformação do subsolo por outro agente, como: remoção do confinamento lateral, sobrecarga adicionada, efeito de bombeamento de água e rebaixamento generalizado do lençol freático (Figura 3.9). O colapso consiste no abatimento do terreno por adensamento

das porções superficiais do solo, em consequência da desestruturação com recalques bruscos de sua estrutura sob saturação, com ou sem aumento das cargas aplicadas. Os solos colapsíveis apresentam, geralmente, alto índice de vazios, baixo grau de saturação natural e estrutura sustentada por cimentação ou tensão capilar intergrãos, capaz de aumentar a resistência do solo. Em condições naturais, não estão sujeitos à saturação, por isso, para se saturarem é preciso incrementar o fornecimento de água ao solo (NAKAZAWA *et al.*, 1994).



Figura 3.9 – Detalhe de recalque em talude de aterro, rodovia GO-309, em 2005..

Segundo Fornasari Filho (1998), o processo de subsidência pode ocorrer por causas naturais, como dissolução de rochas (carstificação) calciossilicáticas; acomodação de camadas do substrato pelo seu próprio peso ou por pequena movimentação segundo plano de falhas.

Os afundamentos cársticos são os afundamentos do terreno originados pela presença de um substrato rochoso constituído por calcários, mármore, dolomitos, carbonatitos ou rochas calciossilicáticas, submetidos à dissolução por circulação de águas agressivas. Esta agressividade é conferida pelos ácidos nelas contidos, como o ácido carbônico e ácidos orgânicos, como o húmico, fúlvico e o tânico. A dissolução dessas rochas, a partir de contatos e fraturas, resulta em cavidades subterrâneas (NAKAZAWA *et al.*, 1994). O processo de subsidência consiste na deformação ou deslocamento de direção essencialmente vertical descendente, manifestando-se por afundamentos de terrenos.

Segundo Guidicini e Nieble (1984), ao se lidar com subsidências, está-se tratando de movimentos para os quais não há frente livre, diferentemente dos demais movimentos de massa que envolvem componentes verticais e horizontais, e todos possuindo uma frente livre. Desta forma, o deslocamento vertical se efetua com componente horizontal nula ou praticamente nula. Subsidências aceleradas pela ação humana ocorrem com bastante

frequência, como decorrência do bombeamento de águas subterrâneas e recalques por acréscimo de peso devido a obras e estruturas. O termo subsidência inclui o colapso, que corresponde a movimento brusco do terreno, e a subsidência propriamente dita que é mais lenta. Esses casos podem adquirir particular importância em terrenos cársticos. De acordo com Nakazawa *et al.* (1994) o afundamento pode-se desenvolver de maneira natural, ou ser acelerado pelo uso do solo quando se altera a dinâmica e características da circulação das águas subterrâneas, os afundamentos cársticos, são os afundamentos de terrenos que têm como condicionante principal a presença de um substrato rochoso constituído por calcários, mármore, dolomitos, carbonatitos e rochas calciossilicáticas, submetido à dissolução por circulação de águas agressivas.

Esta agressividade é conferida pelos ácidos nelas contidos, como o ácido carbônico, formado pela dissolução do dióxido de carbono (presente na atmosfera) em água. A água acidulada penetra pelas fraturas e fendas das rochas calcárias (formadas por calcita), provocando sua dissolução a partir de seus contatos, resulta na formação de cavidades subterrâneas, condição fundamental para desencadear afundamentos na superfície do terreno, conforme esquema na Figura 3.10.

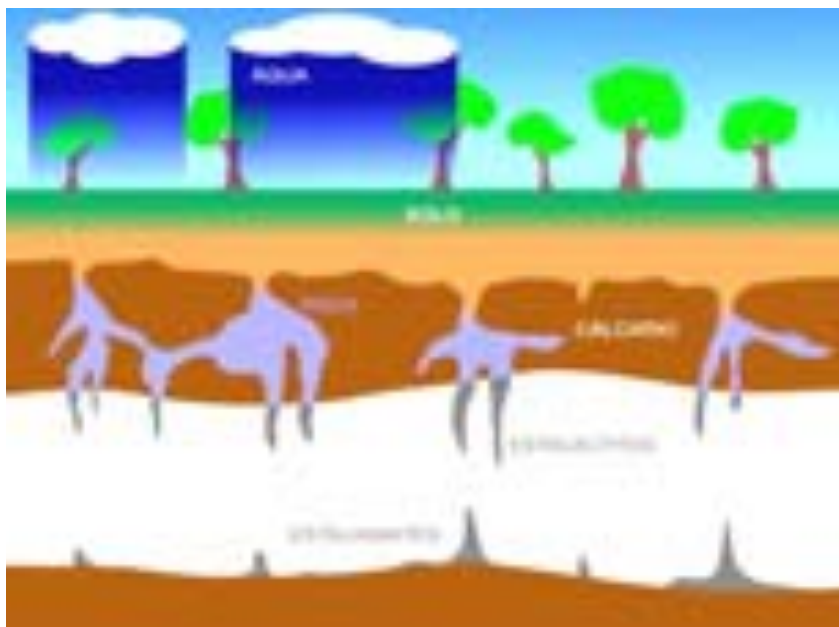


Figura 3.10- Esquema de formação de cavernas.

3.2 GEOFÍSICA APLICADA À ENGENHARIA E GEOTECNIA

Para o desenvolvimento de projetos voltados para engenharia e geotécnica, como: rodovias, tuneis, vias urbanas, sistemas de distribuição de água, energia elétrica e telefonia, obras de saneamento, usinas hidroelétricas, barragens e construções em geral, são necessárias informações, estudos e levantamentos com o objetivo de localizar dutos, fiação, cavidades em subsuperfície, bem como a determinação do topo rochoso e a estruturação do subsolo.

O mapeamento e a obtenção destas informações do subsolo podem ser feitas por verificação direta no campo ou através de investigações indiretas do subsolo.

Os métodos diretos de investigação são caracterizados por serem invasivos, ou seja, o subsolo precisa ser escavado, por métodos diretos como: poços de investigação, trincheiras abertas ou furos de sondagens.

Os métodos de investigação indireta prescindem da escavação do solo, são métodos não-invasivos, que utilizam os parâmetros físicos, e as propriedades biológicas e químicas do solo, captados em superfície. Possibilitando, desta forma, diversas aplicações em locais com restrição a perfurações e escavações.

A geofísica aplicada ou prospecção geofísica emprega métodos baseados nesses conhecimentos, sendo usada como uma importante ferramenta de caracterização do subsolo por todas as áreas do conhecimento que necessitam de informações deste ambiente. Tem como principais métodos, a Gravimetria, a Sísmica, a Magnetometria e os Métodos Elétricos e Eletromagnéticos. Existem diversos métodos geofísicos que permitem a detecção de estruturas no subsolo (PARASNIS, 1970). Segundo BORGES (2002), dentre os métodos que apresentam melhores resultados em investigação geotécnica e ambiental, destacam-se os geolétricos e os métodos eletromagnéticos (EM).

Os métodos elétricos possuem sua origem no século XVIII, com a descoberta sobre a resistividade das rochas por Gray e Wheeler (ORELLANA, 1972). Os métodos geolétricos baseiam-se nas propriedades elétricas intrínsecas dos materiais geológicos. A condutividade, a permeabilidade magnética e a permissividade dielétrica, que são características mensuráveis. Dentre os métodos geolétricos, aborda-se neste trabalho o método da eletrorresistividade. Por ser um procedimento de fácil aplicação, e de baixo custo relativo dos equipamentos. O ensaio é relativamente rápido, e proporciona resultados satisfatórios.

3.2.1 Método da Eletrorresistividade

Os métodos resistivos tiveram um forte impulso a partir da década de 1990, tanto na instrumentação, como nos métodos de interpretação, com a busca de algoritmos mais rápidos de obtenção de imagens e pelo estudo de novas configurações eletródicas (BORGES, 2007).

A grande maioria dos materiais formadores do subsolo (rochas e solos) é altamente resistiva à passagem de corrente elétrica. A resistividade elétrica dos solos e rochas é determinada principalmente pela presença de água e pela composição mineralógica do maciço. A resistividade elétrica das rochas cristalinas (pouco porosas) é, normalmente, alta. No entanto, se esta rocha estiver fraturada, a água que circula através das fraturas, contendo sais dissolvidos, diminuirá bastante a resistividade da rocha. Além da presença de água em fraturas e poros das rochas, a presença de minerais condutivos faz baixar o valor da resistividade (FERNANDES, 1984). A resistividade dos materiais geológicos exibe um grande intervalo de valores entre todas as propriedades físicas (Figura 3.11).

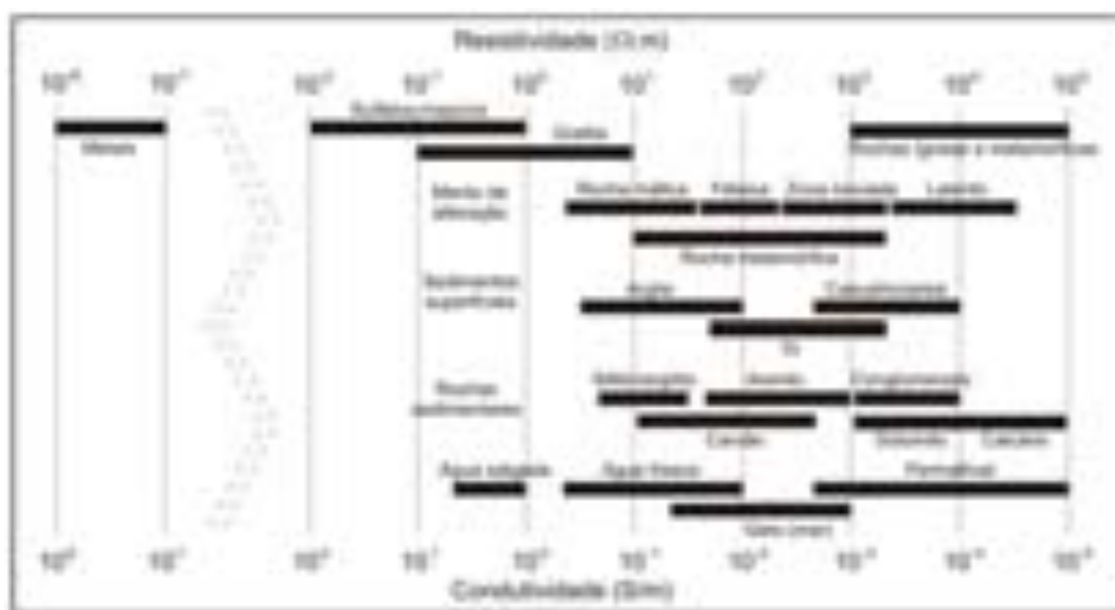


Figura 3.11 – Intervalos de resistividade/conductividade elétrica de algumas rochas e materiais (BORGES, 2007)

A resistividade elétrica é uma propriedade física dos materiais. Representa uma medida da dificuldade (resistividade) ou facilidade (condutividade) com a qual a corrente é estabelecida num meio. Neste método, uma corrente elétrica é introduzida no terreno, através do contato direto. A diferença de potencial gerado no solo é medida por meio de eletrodos. A relação

entre as duas magnitudes proporciona uma resistência elétrica aparente dos materiais (TELFORD, 1990).

Para um simples eletrodo de corrente implantado na superfície de um meio homogêneo de resistividade conhecida, a corrente flui radialmente (Figura 3.12). A voltagem entre dois pontos na superfície pode ser descrita como a diferença de potencial na direção do fluxo de corrente. As linhas de equipotenciais (igual voltagem) intersectam as linhas de igual corrente nos ângulos retos. A densidade de corrente é a corrente dividida pela área em que está distribuída em uma semi-esfera, e a densidade diminui com o aumento da distância da fonte de corrente. Deste modo, é possível calcular o potencial elétrico na distância de um simples ponto de injeção de corrente (BORGES, 2007).

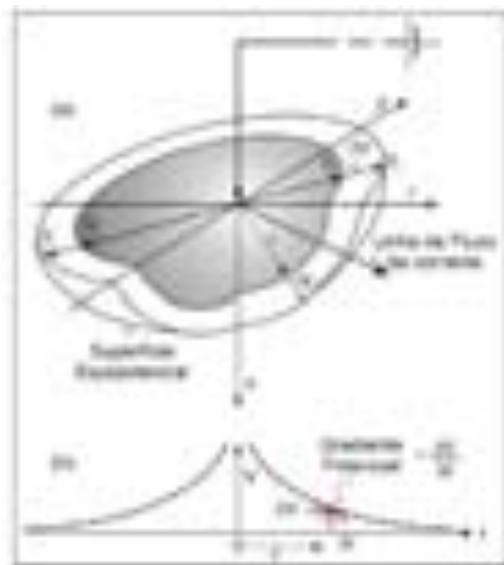


Figura 3.12- (a) Representação tridimensional de um potencial semi-esférico em volta de um eletrodo de corrente pontual em um meio homogêneo. (b) Decaimento do potencial nas proximidades do eletrodo de corrente pontual (BORGES, 2007).

Se um novo eletrodo de corrente é adicionado no esquema, uma nova distribuição de potencial ocorre (Figura 3.13). Nesta nova configuração, o potencial (conhecido) em algum ponto do solo é igual à soma das voltagens dos dois eletrodos.

Quando se realiza uma investigação elétrica por injeção de corrente no solo, têm-se as seguintes variáveis: a) as dimensões do material, por onde passa a corrente, varia com a localização dos pontos de injeção; e b) o meio não é homogêneo, engloba o solo, a rocha

subjacente, a influencia do nível freático e de outras rochas intercaladas (no caso de um pacote de rochas estratificadas).

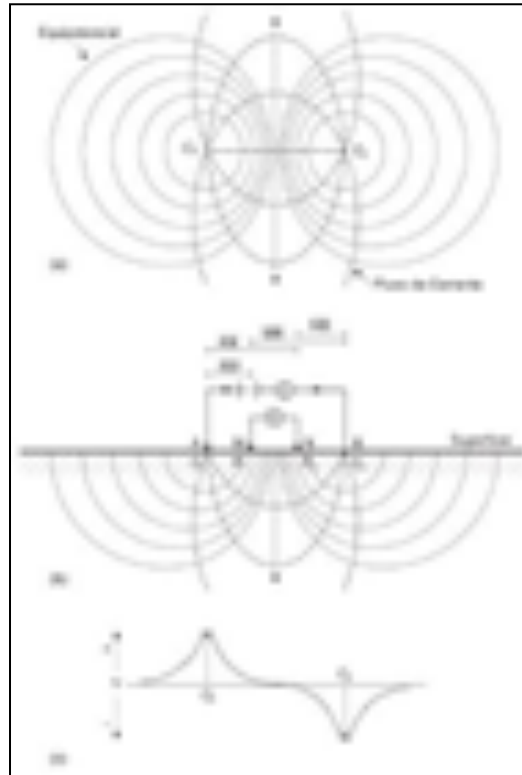


Figura 3.13 – Linhas de fluxos de correntes equipotenciais, para duas fontes pontuais (eletrodos) de corrente em um meio homogêneo. (a) Vista do plano. (b) Seção vertical. (c) Variação do potencial na superfície (BORGES 2007).

O levantamento geofísico utilizando a técnica conhecida como "imageamento elétrico" implica na obtenção de uma quantidade expressiva de medidas geolétricas do subsolo. Para isso, é necessária a utilização de instrumentos equipados com cabos multieletródos que permitem a aquisição automática e rápida de um grande volume de dados.

A principal propriedade física analisada por este método é a condutividade elétrica dos materiais distribuídos em sub-superfície. A medida dessa propriedade pode ser mensurada pelo fluxo de corrente elétrica no subsolo. Quando uma corrente é introduzida no solo através de 2 (dois) eletrodos, esta produz uma diferença de potencial que é medida por um segundo par de eletrodos. O valor medido desta diferença de potencial e da corrente associada é função

da resistividade aparente do solo e do arranjo geométrico dos eletrodos, sendo que a profundidade alcançada é diretamente proporcional ao espaçamento entre os eletrodos.

As medições feitas no trabalho em questão foram conduzidas usando arranjos dipolo-dipolo. Neste arranjo o espaçamento “a”, entre o par de eletrodos de corrente (AB), é o mesmo entre o par de eletrodos de potencial (MN) e a distância entre estes dois pares é um fator de “n” de “a”, conforme Figura 3.14. Depois de realizada a primeira medida, um par de eletrodos é deslocado adiante a uma distancia “n” fator de “a”, aumentando-se, desta maneira, a profundidade da investigação.

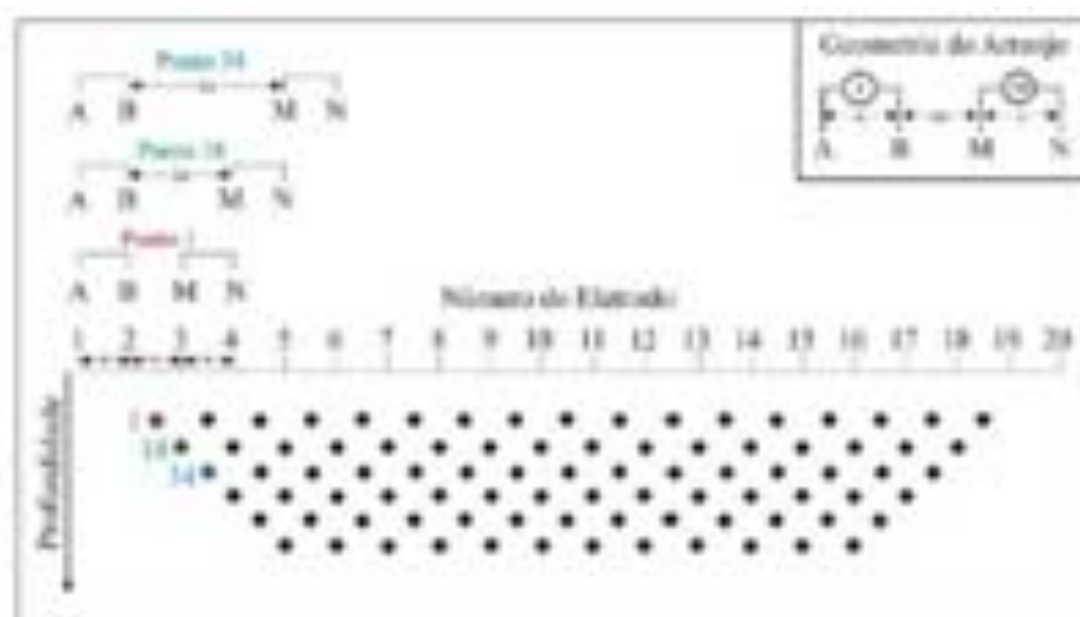


Figura 3.14 – arranjo de eletrodos dipolo-dipolo e a sequência de medidas utilizadas (BORGES, 2007).

No modelo de perfilagem (ou caminhamento) elétrica horizontal, as separações básicas do arranjo são mantidas fixas (x ou a), enquanto se desloca sobre o terreno, Figura 3.15.

As medições, feitas em superfície, foram conduzidas com os eletrodos colocados em linha. Neste arranjo, a corrente que energiza o subsolo é estabelecida em dois dos eletrodos (circuito de corrente) e a diferença de potencial desenvolvida no subsolo é medida em dois outros (circuito de potencial).

3.2.2 Método do Radar de Penetração de Solo - GPR

O radar de penetração no solo (GPR) é uma técnica geofísica classificada como de alta resolução que utiliza a reflexão de ondas para o estudo da subsuperfície. Por intermédio de uma antena transmissora são induzidos pulsos eletromagnéticos que se propagam em subsuperfície.

O radar de penetração de solo, georadar, *ground penetrating radar*, ou simplesmente GPR, é um termo geral aplicado à técnica de prospecção eletromagnética em geofísica de investigação. Caracterizada principalmente por ser não-invasiva, não-destrutiva, empregam ondas de rádio com frequências entre 10 MHz e 2500 MHz para mapear feições na subsuperfície, sejam elas naturais (feições geológicas rasas) ou artificiais (PORSANI, 1999).

Verifica-se seu emprego em vários campos da engenharia (p.ex.: investigação de tubulação soterrada, estudos de barragens e perfis estratigráficos, identificação do nível do lençol freático, caracterização de zonas fraturadas em maciços rochosos, etc.). No caso da engenharia rodoviária, a sua aplicação abrange atualmente domínios específicos como: identificação das espessuras das camadas do pavimento; verificação das condições dos materiais das camadas (p.ex.: desagregação); investigação da presença de vazios e cavidades, de origem natural (cárstica ou erosiva, etc.), ou construída pelo homem (túneis, minas, tubulações enterradas, etc.). O Geo-radar, vem sendo utilizado em vários campos da engenharia (p.ex.: investigação de tubulação soterrada, estudos de barragens e perfis estratigráficos, identificação do nível do lençol freático, caracterização de zonas fraturadas em maciços rochosos). No caso da engenharia de pavimentos, a sua aplicação abrange atualmente domínios específicos como:

- identificação das espessuras das camadas do pavimento;
- verificação das condições dos materiais das camadas (p.ex.: desagregação);
- investigação da presença de vazios sob placas de concreto cimento.

Os fundamentos do GPR encontram-se na teoria de propagação de ondas eletromagnéticas, as equações de Maxwell são as bases para toda teoria do GPR. Um bom detalhamento algébrico das equações de Maxwell, com ênfase no método GPR, pode ser encontrado em Porsani (1999). Na primeira equação de Maxwell, conhecida como Lei de Ampère, o campo magnético é produzido por correntes elétricas. Na segunda equação de Maxwell, conhecida

como Lei de Faraday, o campo elétrico é produzido pela variação do campo de indução magnética. A introdução das relações constitutivas do meio nas equações de Maxwell, faz-se necessária para a obtenção de informações sobre as propriedades elétricas dos materiais por onde atuam os campos elétricos e magnéticos. A primeira relação constitutiva do meio, conhecida como Lei de Ohm, relaciona a densidade de corrente de condução ao campo elétrico. Nos materiais geológicos simples essa relação é aproximadamente linear e a constante de proporcionalidade é a condutividade elétrica, expressa em Siemens por metro (S/m), a condutividade elétrica de um material é a medida de sua habilidade em conduzir corrente elétrica (KELLER, 1987).

Esse método consiste na transmissão de ondas eletromagnéticas (EM), repetidamente radiadas para dentro do subsolo, por uma antena transmissora, colocada na superfície. A propagação do sinal EM depende da frequência do sinal transmitido e das propriedades elétricas dos materiais. As mudanças das propriedades elétricas em subsuperfície fazem com que parte do sinal seja refletido. As ondas de radar refletidas e difratadas, em subsuperfície, são recebidas por uma antena receptora, colocada a uma distância apropriada, próxima à transmissora. A diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal depende da velocidade de propagação do mesmo à medida que esse passa através dos materiais em subsuperfície. Parte deste sinal é refletido e parte refratada ao encontrar materiais com propriedades elétricas diferentes (refletores) (Figura 3.17). O sinal refletido é detectado na superfície pela antena receptora, colocada à distância apropriada, próxima da transmissora. A diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal (10 - 2000 nanosegundos) depende da velocidade do sinal à medida que esse passa através dos materiais em subsuperfície.

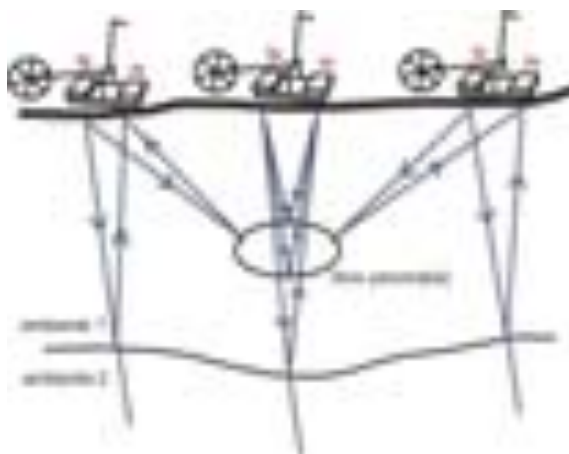


Figura 3.17 – Esquema de propagação de sinais em subsuperfície (BORGES, 2007).

As reflexões se originam das heterogeneidades no subsolo, tais como estruturas geológicas, vazios, cimentações, mudanças na umidade, fraturas, intrusões. Esses sinais são processados e plotados em um gráfico de distância X tempo-profundidade, conforme Figura 3.18.

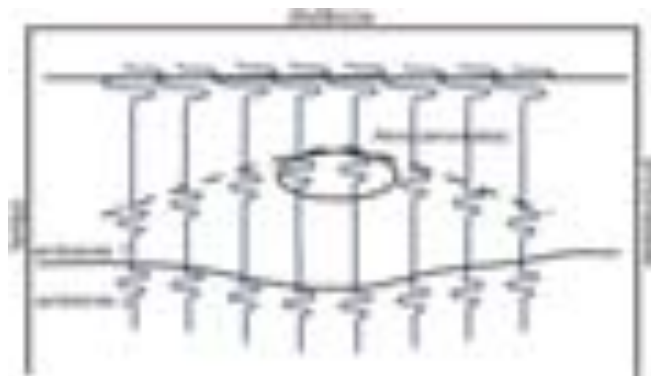


Figura 3.18 - Plotagem dos sinais (traços) em um gráfico distância X tempo-profundidade.

O deslocamento vertical da superfície é o parâmetro de resposta cuja medida é mais simples e confiável, em comparação com tensões ou deformações, razão pela qual a quase totalidade dos equipamentos para ensaios não destrutivos são deflectômetros. O emprego de métodos de prospecção geofísicos de investigação, como a utilização do Radar de Penetração de Solo – GPR, na identificação e localização das cavidades existentes, venha subsidiar, planos específicos de monitoramento, e principalmente atestar a condição de risco tanto para a segurança dos usuários da rodovia quanto ao ambiente cavernícola. Principalmente, por tratar-se de um método não-destrutivo e não invasivo, pretendendo-se mostrar sua eficiência, rapidez e boa relação custo benefício.

A importância ambiental desta área é suportada pela associação entre a vegetação de cerrado strictu sensu, em grande parte preservada, e relevo de exceção, com sistemas de cavernas que abrigam paisagens subterrâneas únicas (grande variedade morfológica de espeleotemas) e sítios paleontológicos do Quaternário, destacando-se pelos altos gradientes hidráulicos, recarga alogênica significativa e entalhamentos subterrâneos.

Os trabalhos em Geotecnia e meio ambiente foram desenvolvidos a partir da caracterização de sítios destinados a grandes obras e escavações, do estudo da estabilidade do terreno e da demarcação de cavidades e estruturas artificiais em subsuperfície. Na área ambiental, foram propostos monitoramentos devido ao risco representado por processos que podem ocorrer de subsidência e abatimento da área com riscos aos usuários das rodovias.

A identificação da condição estrutural de um pavimento é efetuada por meio de avaliações destrutivas e não-destrutivas. A avaliação destrutiva consiste na abertura de poços de sondagem para a identificação da natureza e das espessuras dos materiais das camadas do pavimento, bem como da coleta de amostras destinadas a ensaios de laboratório. A avaliação não-destrutiva, por outro lado, consiste no registro de defeitos da superfície e na realização de provas-de-carga, onde são medidos os parâmetros de resposta da estrutura ao tráfego

Como uma maneira alternativa de avaliação qualitativa e quantitativa da estrutura e da espessura de pavimentos rodoviários, o Geo-radar (GPR - *Ground-penetrating radar*) tem sido usado para obter dados contínuos e não destrutivos, relacionados às rodovias.

3.2.2.1 Aplicação do Geo-Radar em Pavimentos Rodoviários

O procedimento usual para a avaliação de pavimentos consiste, inicialmente, na realização de ensaios não-destrutivos, como os levantamentos deflectométricos e o registro de defeitos de superfície. De posse desses dados, são definidos os subtrechos homogêneos e os locais onde serão realizados os ensaios destrutivos, como sondagem e amostragem de material das camadas constituintes para ensaios de laboratório. O procedimento, usual em algumas normas, de se realizar avaliações destrutivas a intervalos pré-fixados (1 ou 2 km) leva a um esforço desnecessário e pouco eficaz em termos de consumo de tempo e de recursos, uma vez que fornece informações apenas do ponto de onde a amostra foi removida, sem que se tenha uma noção da abrangência lateral dos parâmetros obtidos pela análise.

3.2.2.2 Fundamentos da Avaliação de Pavimentos com Geo-Radar

A determinação das espessuras das camadas do pavimento pode ser feita a partir da amplitude e do tempo correspondentes ao pico das reflexões que ocorrem nas interfaces existentes entre as camadas (Figura 3.19). Enquanto que as velocidades de propagação de onda em cada meio podem ser estimadas diretamente, a partir da determinação da permissividade relativa do meio via coleta de amostras e análises de laboratório, ou indiretamente, utilizando o próprio Geo-radar.

No Brasil algumas experiências tem sido empreendidas nesta área, ressaltando-se os levantamentos realizados pelo grupo de pesquisadores da Escola de Engenharia da UFRGS, com a aplicação do Geo-radar para a investigação da estratigrafia de pavimentos rodoviários.

As experiências e testes foram realizados em ambiente controlado na Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos - UFRGS/DAER localizada no Campus do Vale da UFRGS. Os levantamentos de pista foram realizados na BR-101 e na Ponte Rio-Niterói. Na Figura 3.20, demonstra-se como é feita a transmissão e recepção para medidas de velocidade de propagação de ondas EM nos materiais constituintes de pavimentos, e na Figura 3.21 o radargrama.

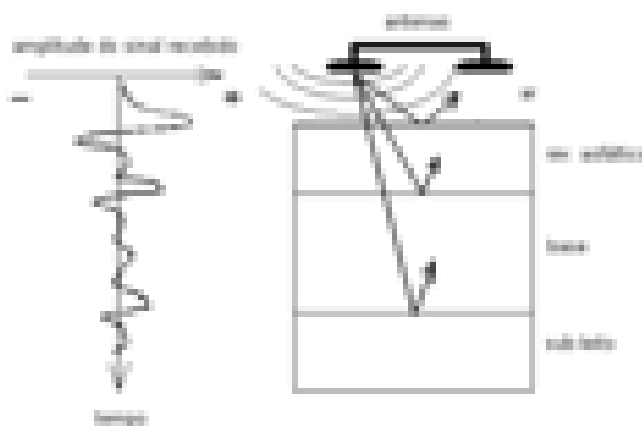


Figura 3.19– Representação esquemática da propagação de frentes de onda EM em meios estratificados (pavimentos) e o seu registro em dispositivos tipo Geo-radar

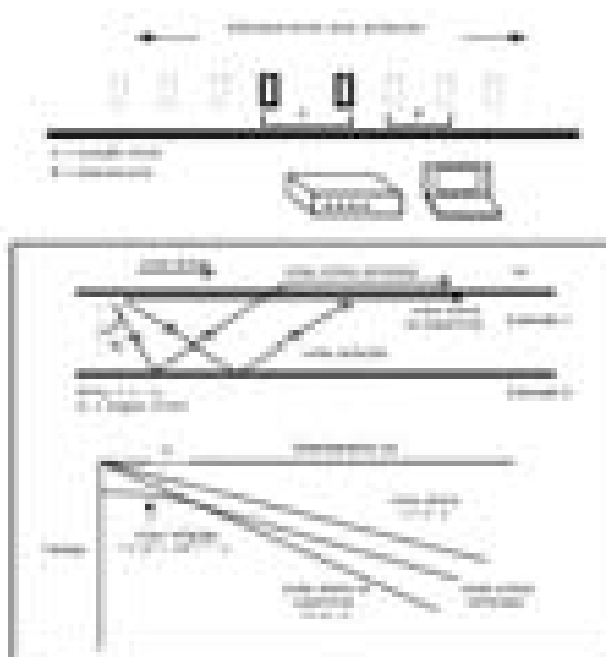


Figura 3.20 – Organização de transmissor e receptor para medidas de velocidade de propagação de ondas EM nos materiais constituintes de pavimentos a partir do método CMP (Common Mid Point)

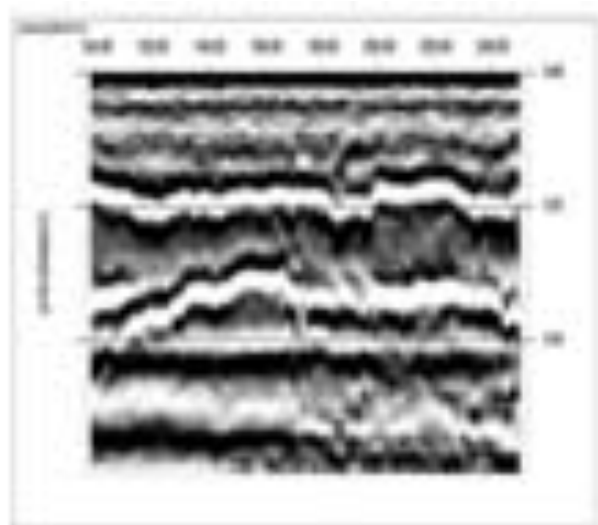


Figura 3.21 – Radargrama produzido com antena de 1.000 MHz em levantamento ao longo do eixo de rodovia. Observar estratigrafia e espessura das camadas constituintes do pavimento.

A avaliação das condições estruturais de pavimentos através de métodos não-destrutivos constitui um dos principais elementos para subsidiar a aplicação de métodos destrutivos, com vistas à elaboração de projetos de restauração de pavimentos rodoviários.

A aplicação do Georadar como um ensaio não-destrutivo tem permitido a investigação da estratigrafia, espessura e condições de sanidade dessas estruturas.

Resultados obtidos nos levantamentos efetuados apontam para a possibilidade de se complementar a metodologia para avaliação de pavimentos atualmente disponível no Brasil através do uso do Geo-radar. Além disso, a viabilidade técnica econômica de utilização do Geo-radar torna-se compatível com a realidade dos órgãos rodoviários brasileiros.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

Neste capítulo, apresenta-se a caracterização das duas áreas, a escolha das mesmas é justificada por apresentarem diversos condicionantes objetos deste trabalho. A primeira área, um segmento da rodovia GO-309, apresenta a interferência da dinâmica dos processos do meio físico em construções viárias, a segunda área localizada em segmento da rodovia GO-236, apresenta a interferência de ecossistemas cavernícolas em obras viárias.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA RODOVIA GO-309

Para melhor caracterização da área de estudo em que se encontra inserida a rodovia GO-309, neste capítulo aborda-se as condições do meio físico, partindo da geomorfologia, geologia e pedologia como forma de contextualização e para melhor entendimento da dinâmica que governa os principais processos reinantes na área.

A diretriz da rodovia desenvolve-se basicamente na bacia do rio Corumbá. O rio Corumbá é um importante tributário da margem direita do rio Paranaíba, pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraná. O traçado desenvolve-se pela margem direita, praticamente em sentido paralelo à calha do rio, atravessando os tributários desta margem, os quais são transpostos transversalmente, impondo ao trecho uma quantidade significativa de obras de arte correntes e especiais, como bueiros tubulares e bueiros celulares de concreto. A rodovia está situada entre a Serra do Maratá (a leste) e a Serra do Contraforte Central (a oeste). Com altitudes máximas próximas a 980,00 m, enquanto a rodovia situa-se entre as altitudes de 850,00 m e 600,00 m, para a elaboração dos mapas de declividade, Figura 4.1, e de hipsometria, Figura 4.2, utilizou-se um modelo digital de elevação - MDE - com resolução espacial de 30 metros - compatível com a escala 1:76000 - adquirido junto ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A partir deste modelo, utilizando o programa - software - Arc Map/ESRI, foram obtidas as classes de declividade organizando-as com base nas quebras naturais do relevo. É importante notar que quanto às rodovias, quando localizadas sobre interflúvios apresentam-se em

declividades suaves e quando se aproximam de cursos d'água - especialmente aqueles encaixados - tendem a apresentar declividades mais elevadas.

Em relação à rodovia GO-309 a declividade varia predominantemente de 0 a 14 %, em menor área observa-se declividades entre 14 a 20%, podendo chegar - excepcionalmente - até declividades maiores que 30% em alguns trechos. A tendência de ocorrência de declividades maiores e mais diversificadas ao longo dessa rodovia se deve a uma maior dissecação do relevo em ambientes submetidos a eventos geotectônicos de dobramentos, bem como a uma maior diversidade litológica, a qual envolve rochas metaformizadas durante o Ciclo Brasileiro (Figura 4.3).

A rodovia GO-309 está inserida na Região das Superfícies Aplainadas, tendo como unidade geomorfológica a Superfície de Goiânia. Essa região apresenta superfícies topográficas com cotas altimétricas variando entre 600 e 850 m, onde predominam as formas de relevo com amplos interflúvios em superfícies de Aplainamento, apresentando dissecação fraca. Estas são seguidas de setores com dissecação variando de média à forte em relevos de Morros e Colinas e com dissecação muito forte em Estruturas Dobradas, (Latrubesse et al, 2006). Para a elaboração do mapa geomorfológico, utilizou-se a pesquisa de Latrubesse et al, 2006, publicada em escala 1:500.000, com base em classificação genética que consiste numa releitura dos dados levantados durante o projeto RADAMBRASIL da década de 1980. Observando-se que as formações superficiais são de textura argilosa e arenosa, apresentado na Figura 4.4.

A geologia da área é constituída ao norte próximo a Pires do Rio por granulitos ortoderivados e granulitos do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, na seqüência em direção a cidade de Caldas Novas, pela Seqüência Metavulcanossedimentar Maratá, na zona central pelas rochas do grupo Araxá Unidade A e B, caracterizados por micaxistos, apresentando foliações de baixo ângulo na maioria das áreas de exposição. A área de estudo é, pois, representada em sua maior extensão por rochas do Grupo Araxá e fatias do embasamento tectonicamente imbricadas. Constitui uma unidade geotectônica representada por um cinturão móvel que evoluiu do Meso ao Neoproterozóico definida como um extenso sistema de dobramentos neoproterozóicos. Essa faixa é marcada por uma estruturação de imbricamento tectônico, com desenvolvimento de zonas de cisalhamento de baixo ângulo (CPRM, 2008). Para a elaboração

do mapa geológico, utilizou-se levantamentos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil no ano de 2008 na escala 1:500.000 e disponibilizados na estrutura vetorial no formato shp, apresentado na Figura 4.5.

Foram observadas três classes de solos no segmento rodoviário pesquisado: Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Para a elaboração do mapa de solos utilizou-se os dados levantados durante o projeto RADAMBRASIL na escala 1:1000000, que foram digitalizados pelo SIEG, apresentado na Figura 4.6. Desta forma, optou-se por proceder à descrição das classes de solos ocorrentes, nos trechos distintos da rodovia, sendo esta baseada em observações de campo e de levantamentos, aplicando-se a classificação preconizada pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006).

As características dos principais tipos de solos observados na área de influência e diretamente afetada pelo empreendimento são apresentadas a seguir. Os Latossolos podem ser descritos como solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos. São em geral destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, com baixa capacidade de troca de cátions da fração argila, comportando variações desde solos predominantemente cauliniticos, até solos oxídicos. Estando o mineral argílico, quase totalmente floculado, o perfil deste solo possui melhor aeração e drenagem. A alta porosidade destes solos permite uma baixa taxa de escoamento superficial das águas pluviais, ocorrendo boa infiltração com abastecimento do lençol freático. Tem pequena ou nenhuma variação textural no perfil. Os solos classificados como latossolos vermelhos tem na área característica argilosa. Apresentam seqüência de horizontes A, B e C, com pequena diferenciação entre si. O horizonte A é do tipo moderado, sobreposto a um horizonte B de cores mais claras. É característico nessa classe de solos apresentar perfil de grande profundidade, podendo alcançar em torno de 12 m, por isso com suscetibilidade alta á erosões lineares, tipo ravina ou voçoroca. Estes solos tem predomínio de óxidos de ferro e alumínio que imprimem coloração vermelha e ou amarelada. Possuem ainda alta permeabilidade estrutura macro porosa. Solo bem evoluído, laterizado, rico em argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio.

Encontram-se cobertos principalmente por vegetação de cerrado aberto (Savana), formação vegetal predominante na região. No início e no final do trecho da rodovia, observa-se uma larga faixa do Latossolo Vermelho-amarelo.

Os cambissolos distróficos são solos minerais, não hidromórficos, pouco profundos caracterizados por apresentarem um horizonte B incipiente ou câmbico. Possuem seqüência de horizontes A, (B) e C, com horizonte A do tipo moderado, raras vezes proeminente ou chernozêmico.

O horizonte B apresenta-se na maioria das vezes com baixo grau de desenvolvimento, fato este evidenciado pela ocorrência de minerais facilmente intemperizáveis e fragmentos da rocha matriz. Desenvolve-se em relevo desde suave ondulado a forte ondulado. O alto teor de silte e a pouca profundidade fazem com que estes solos tenham permeabilidade muito baixa.

O maior problema é a suscetibilidade à erosão. Devido à baixa permeabilidade, sulcos são facilmente formados nestes solos pela enxurrada. A ocorrência e variabilidade destas classes de solos apresentam uma ligação direta com as formas de relevo. De maneira geral, nas áreas com relevo com maiores declividades, predominam solos mais rasos e incipientes como os Cambissolos. A drenagem varia de acentuada a imperfeita e apresentando horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), em cores diversas.

Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com presença de horizonte B textural. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo do horizonte A. São de profundidade variável, desde forte e imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este.

É uma característica dessa classe de solos, a sua alta suscetibilidade a processos erosivos superficiais (sulcos), laminares, mas, por outro lado, são relativamente resistentes a ravinamentos e voçorocamentos.

São solos profundos bem desenvolvidos; bem estruturados, resistentes com estrutura em blocos; com alta CTC, eutrófico, devido à saturação por base ser acima de 50%, rico em anfibólitos, possuem alta cerosidade, pegajosidade e plasticidade; sendo duro quando seco, e quando úmido firme; de baixa permeabilidade e menor porosidade.

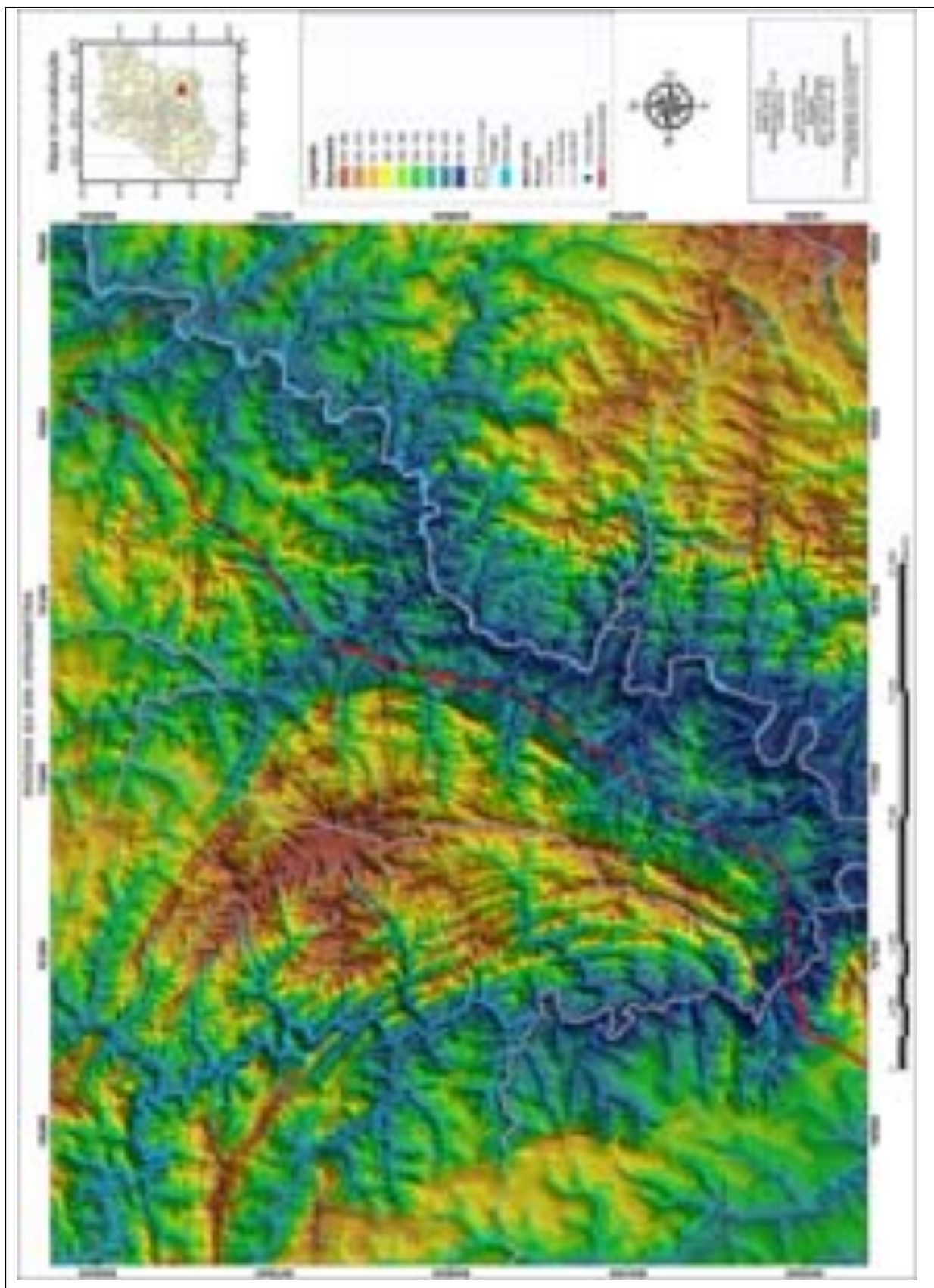


Figura 4.1 – Mapa Hipsométrico.

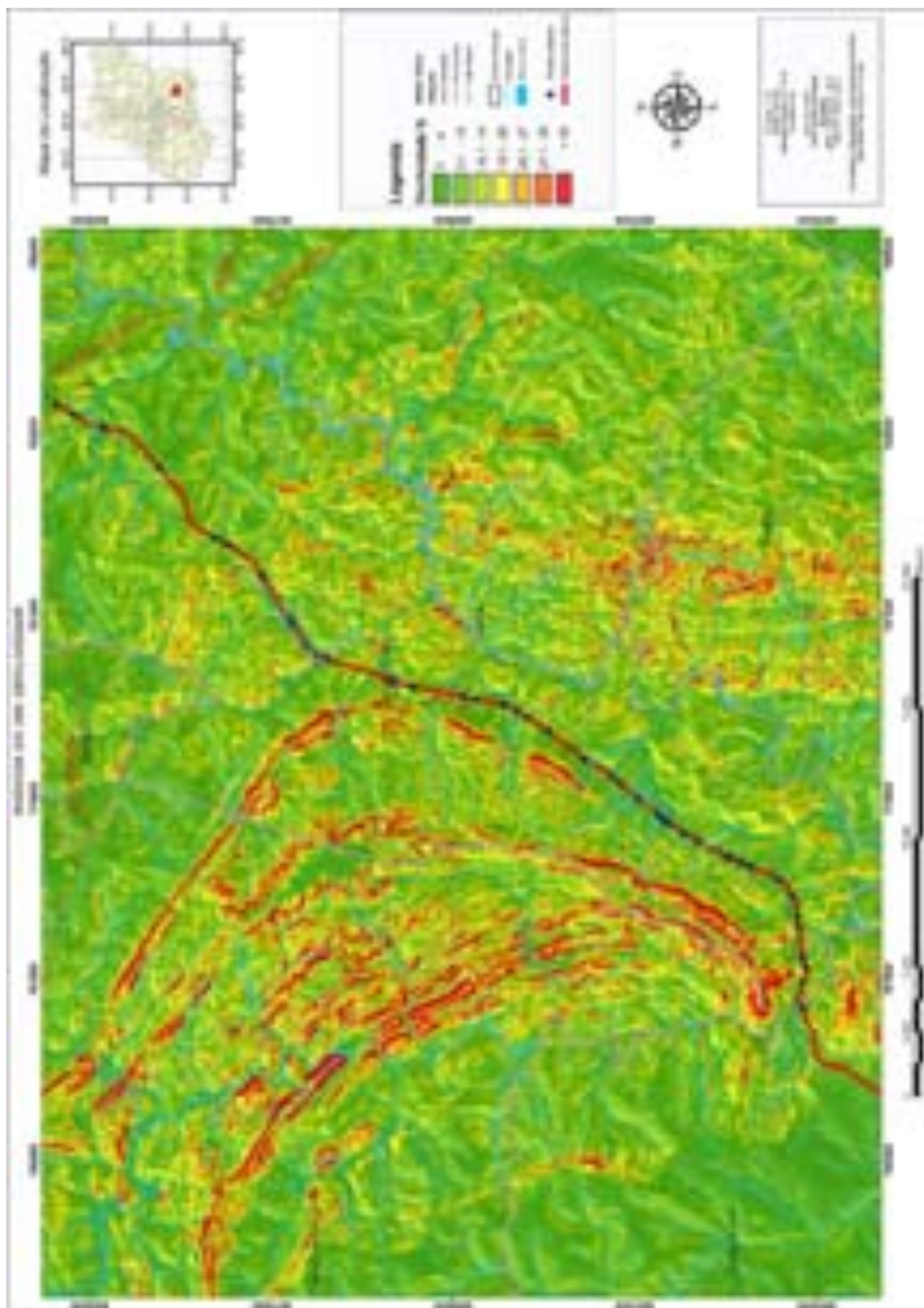


Figura 4.2 – Mapa de Declividade.

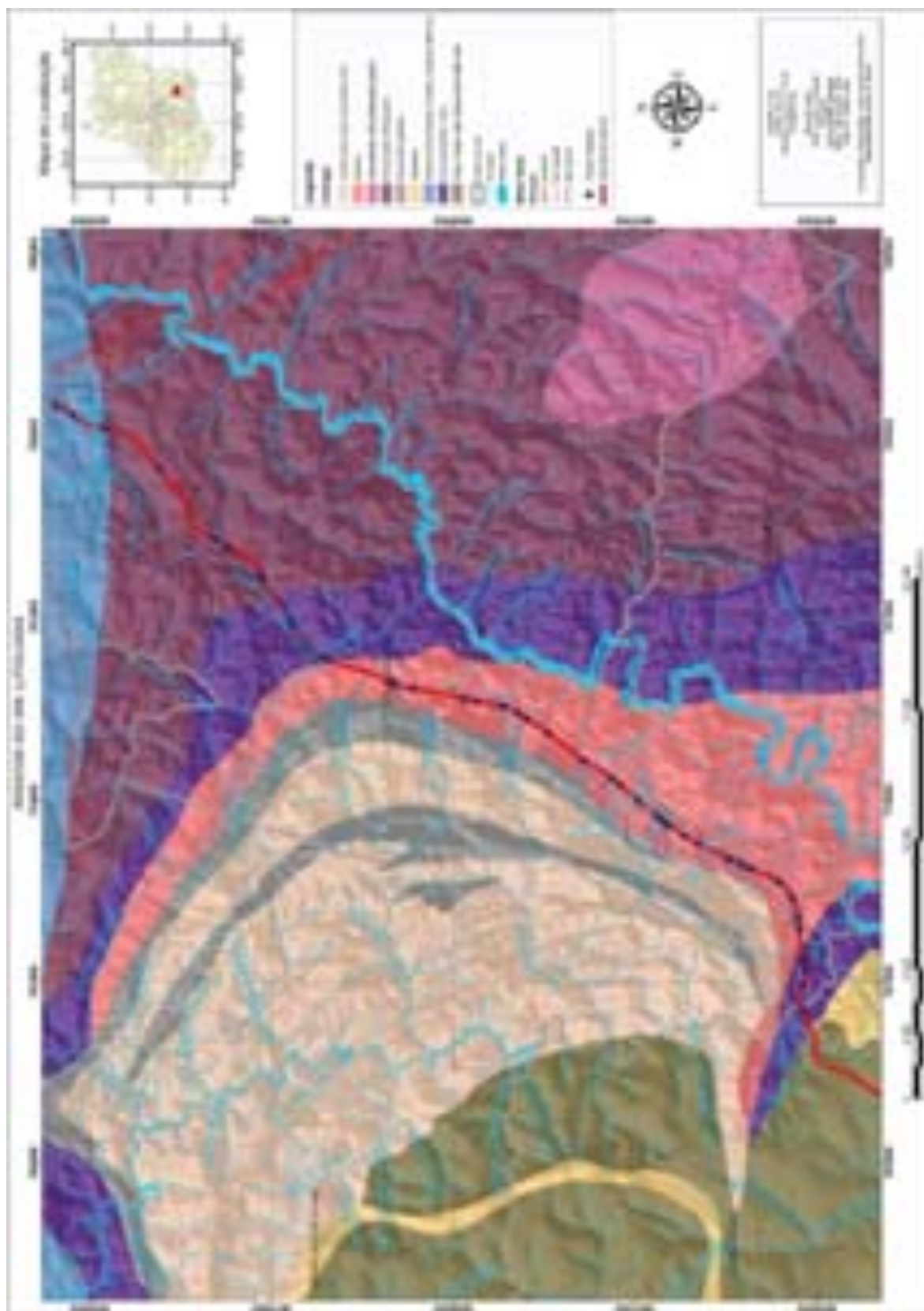


Figura 4.3 – Mapa Litológico.

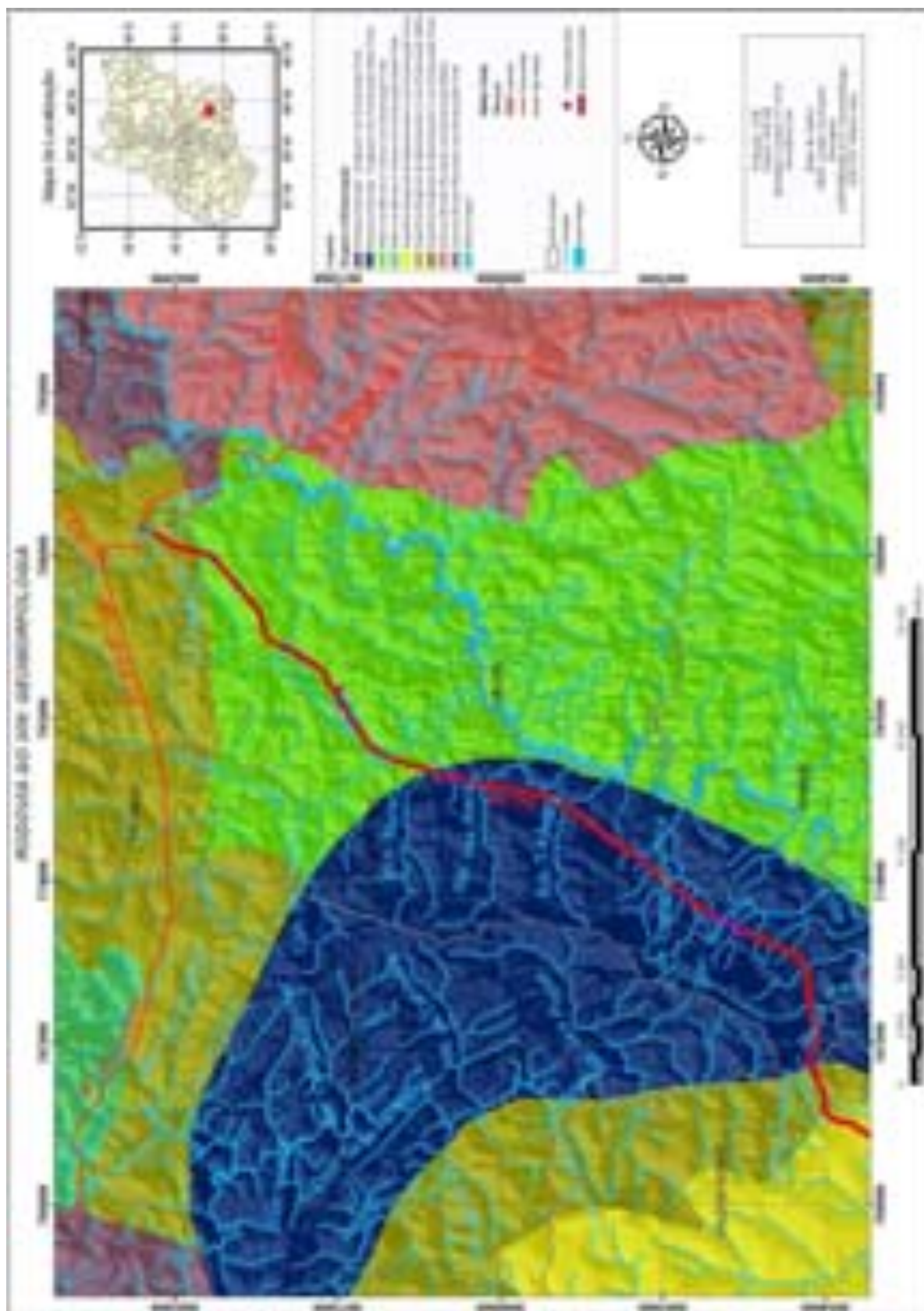


Figura 4.4 – Mapa Geomorfológico

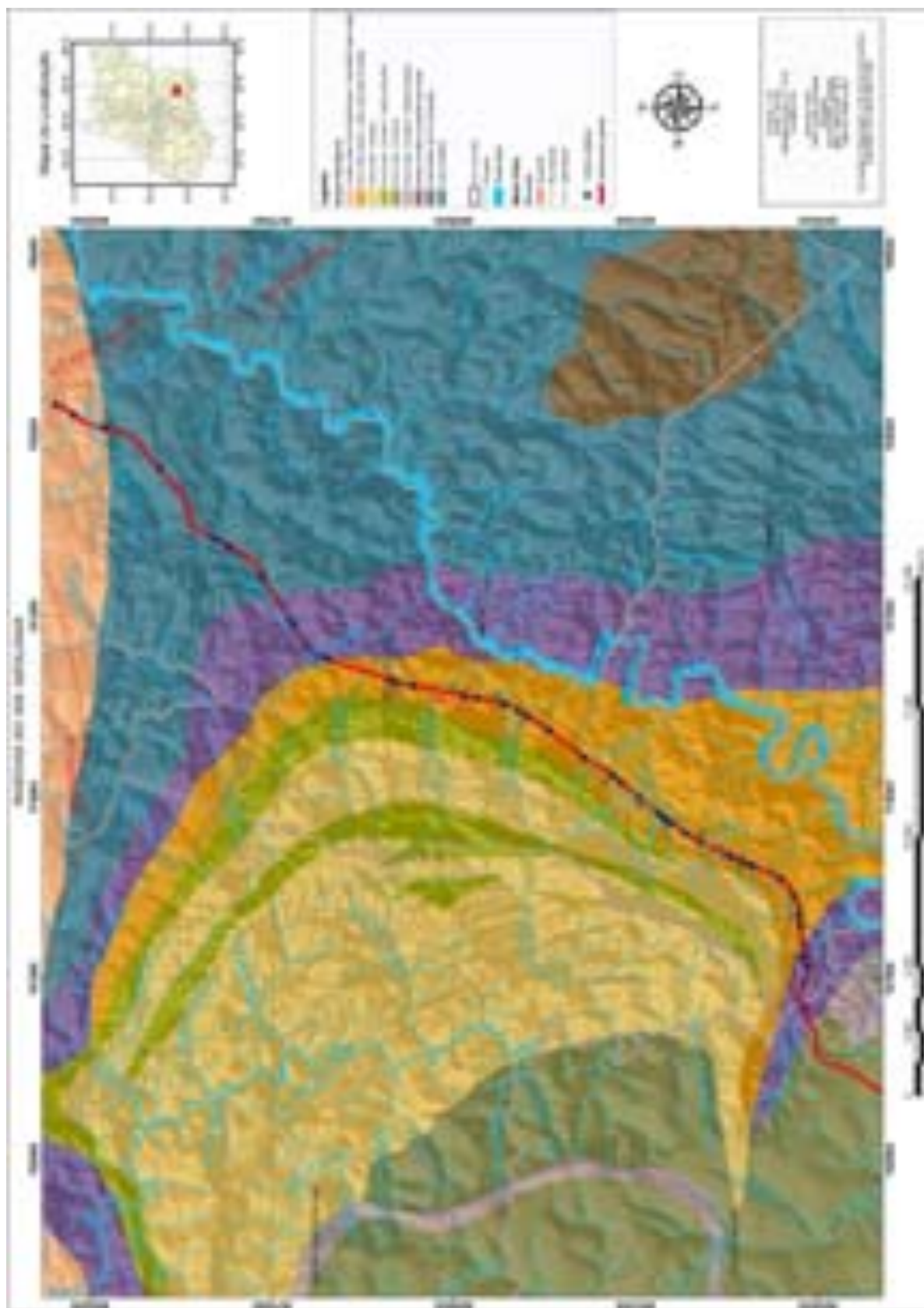


Figura 4.5 – Mapa Geológico

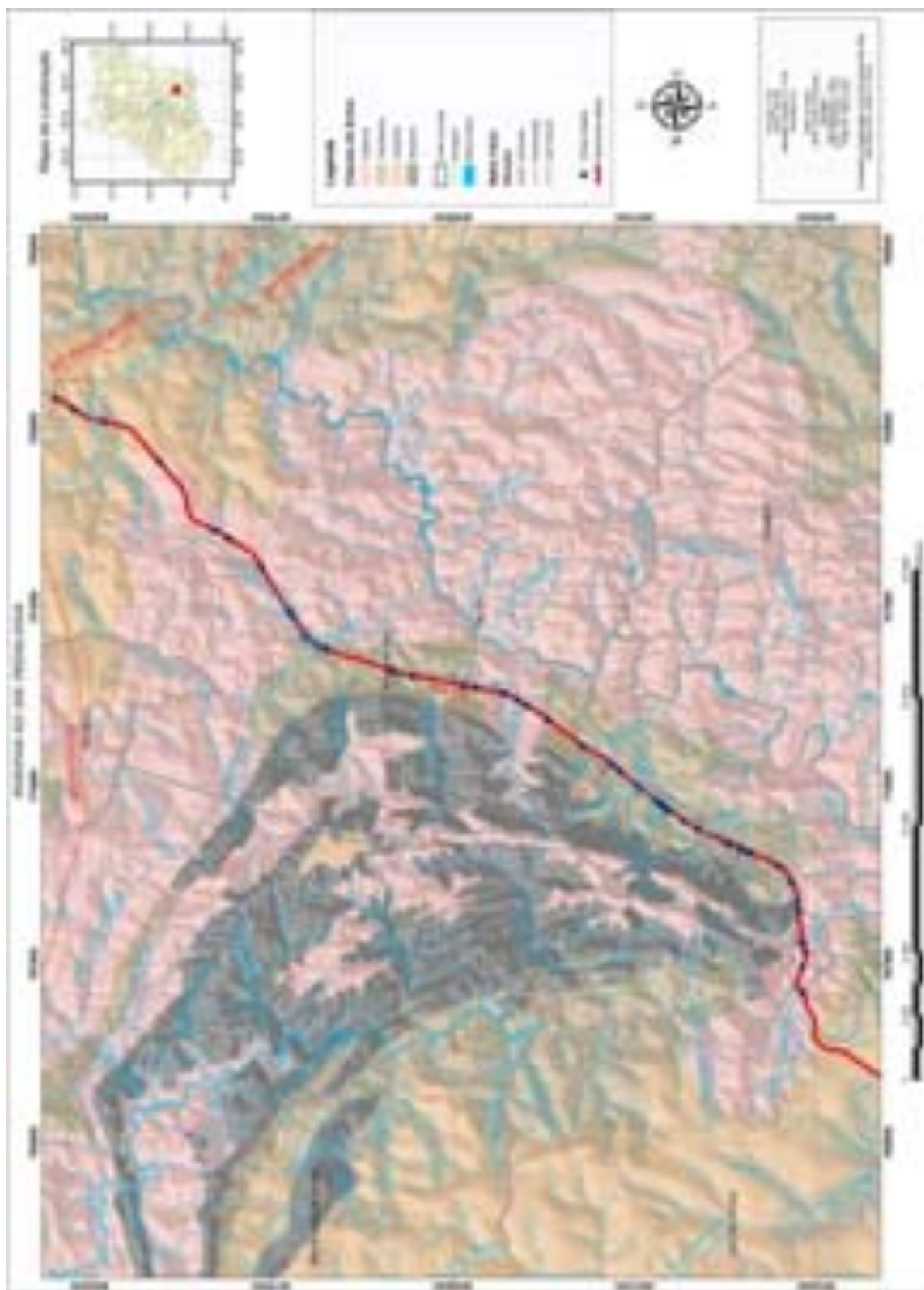


Figura 4.6 – Mapa de Solos

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA RODOVIA GO-236

Para melhor caracterização da área de estudo em que se encontra inserida a rodovia GO-236, neste capítulo aborda-se as condições do meio físico, partindo da geomorfologia, geologia e pedologia como forma de contextualização e para melhor entendimento da dinâmica que governa os principais processos reinantes na área.

No que se refere às classes de declividade a rodovia GO-236 encontra-se sob declives que variam de 0 a 13 % nos interflúvios que ocorrem na área, e de 13 a 24 % nas proximidades dos principais rios que ocorrem na região e que são cortados por esta rodovia, (Figura 4.7). É importante notar que as rodovias quando localizadas sobre interflúvios apresentam-se em declividades suaves e quando se aproximam de cursos d'água - especialmente aqueles encaixados - tendem a apresentar declividades mais elevadas.

Quanto aos aspectos geológicos, a região faz parte da área pré-cambriana do Rio São Francisco, sendo coberta por rochas sedimentares quase sem metamorfismo e só ligeiramente dobradas, das quais os calcários constituem boa parcela. Essa sequência conhecida como Grupo Bambuí, formação Lagoa do Jacaré. O Grupo Bambuí apresenta um arranjo estratigráfico que pode ser reconhecido regionalmente ao longo de toda a borda oeste do Cráton do São Francisco. Segundo Dardenne (1978), o Grupo Bambuí é constituído por seis formações, nesta região a coluna estratigráfica deste grupo é composta, da base para o topo pela formação Lagoa do Jacaré. A formação Lagoa do Jacaré é predominante na área da APA NRV, sendo parte do segundo megaciclo (argilocarbonatado) e caracteriza-se por ser composta por siltitos e margas onde são intercaladas lentes e ou camadas de calcários. Segundo o Mapa Geológico (Figura 4.8).

Quanto aos aspectos geomorfológicos a região apresenta, zona de erosão recuante, com dissecação variando de forte a muito forte. Está localizada na Região do Divisor São Francisco - Tocantins – Inserida no Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes, apresenta feições de relevos planos e tabulares, esculpidos em rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí. Tendo como unidade: Patamares do Chapadão. Os Patamares das Chapadas encontram-se embutidos nas escarpas monoclinais do Chapadão e apresentam

modelados bastante diferenciados: planos, de dissecação e cárstico. Segundo o Mapa Geomorfológico (Figura 4.9).

Em relação à hipsometria a mesma variou de 498 a 802 metros. As maiores altitudes ocorrem no topo dos principais interflúvios que separam os principais rios que ocorrem na região, entre os quais se destacam o rio Vermelho e o córrego dos Buritis. Já as menores altitudes ocorrem na margem dos referidos rios (Figura 4.10).

Quanto à litologia predominante, encontra-se sob rochas sedimentares: margas, de classe detritica/carbonatada, com cor desde muito clara a cinzenta escura, acastanhada e avermelhada. Possui textura clástica, com grãos finos ou muito finos, podendo alguns grãos serem distinguidos a olho nu. Estratificação pouco frequente. Apresenta frequentemente estruturas sedimentares, fósseis e concreções (Figura 4.11).

A densidade hidrográfica encontra-se vinculada aos domínios litológicos. Deve-se considerar ainda, a ação morfogenética dos rios, que sempre tiveram uma participação fundamental na modelagem do relevo. O Rio Corrente é o principal rio da região, cujos formadores nascem na Serra Geral de Goiás - divisor de águas com a bacia do Tocantins - em altitudes compreendidas entre 800 a 900m e apresentam um extenso trecho encachoeirado, praticamente sobre a mesma faixa, para em seguida, se desenvolver em regime de planície com fracas declividades médias, até desembocar no Rio Paranã. Nesta bacia o rio Corrente possui como afluentes dois rios: o Rio dos Buritis e o Rio Vermelho. Os demais são ribeirões, córregos e outros mananciais.

Quanto aos aspectos pedológicos, a região apresenta de forma significativa a ocorrência de Argissolos. Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. São de profundidade variável, desde forte e imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este (Figura 4.12).

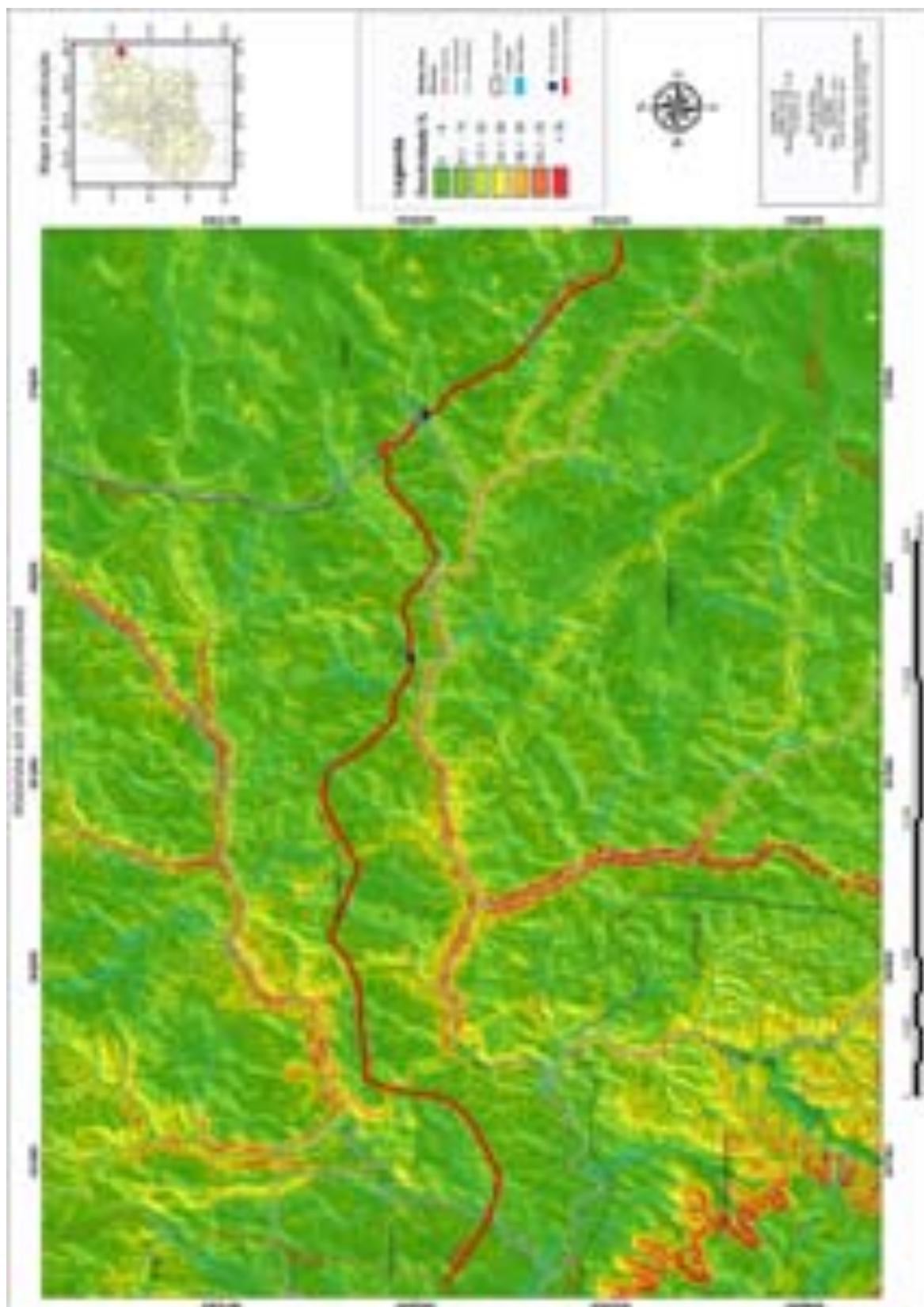


Figura 4.7 – Mapa de Declividade.

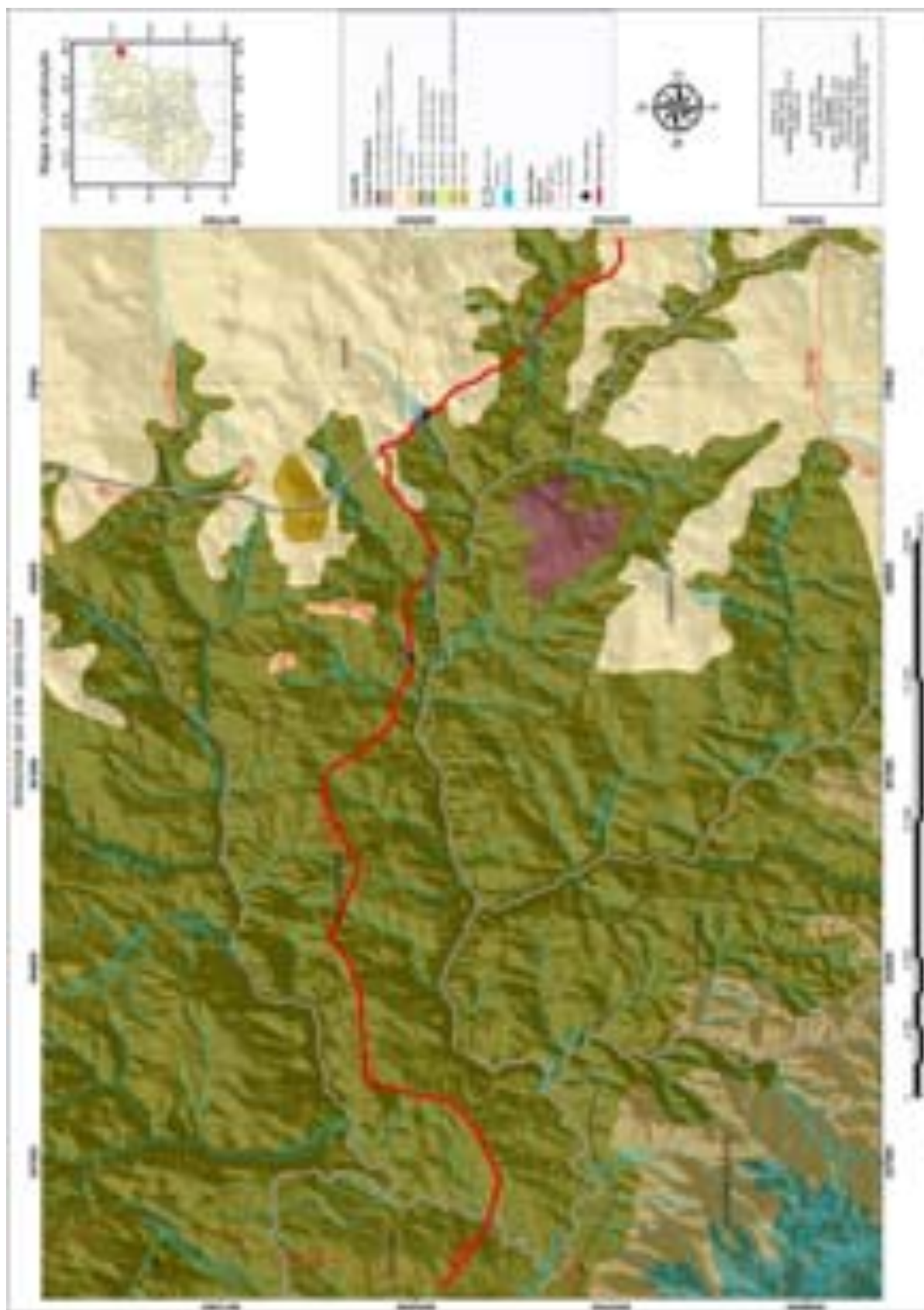


Figura 4.8 – Mapa Geológico

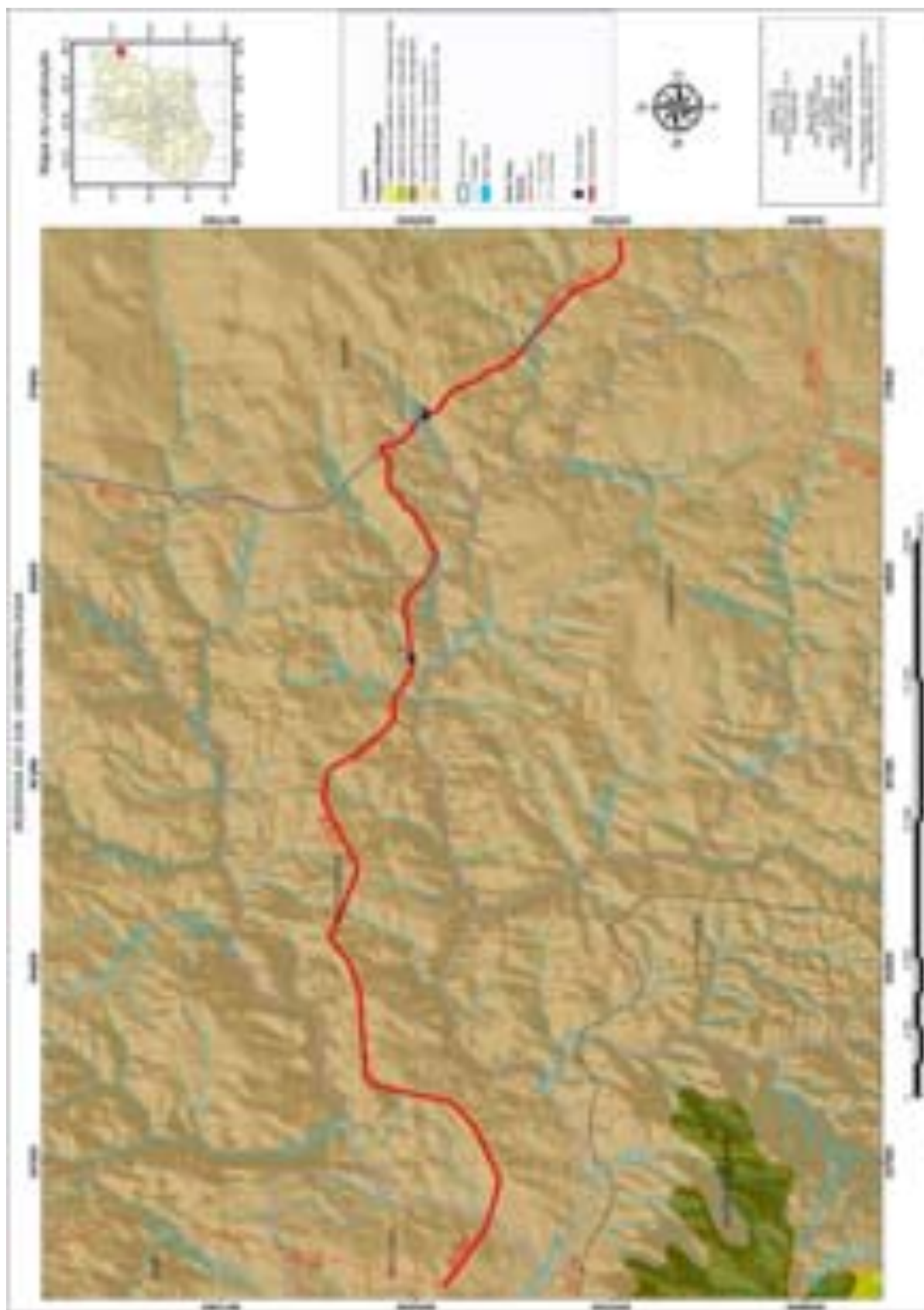


Figura 4.9 – Mapa Geomorfológico

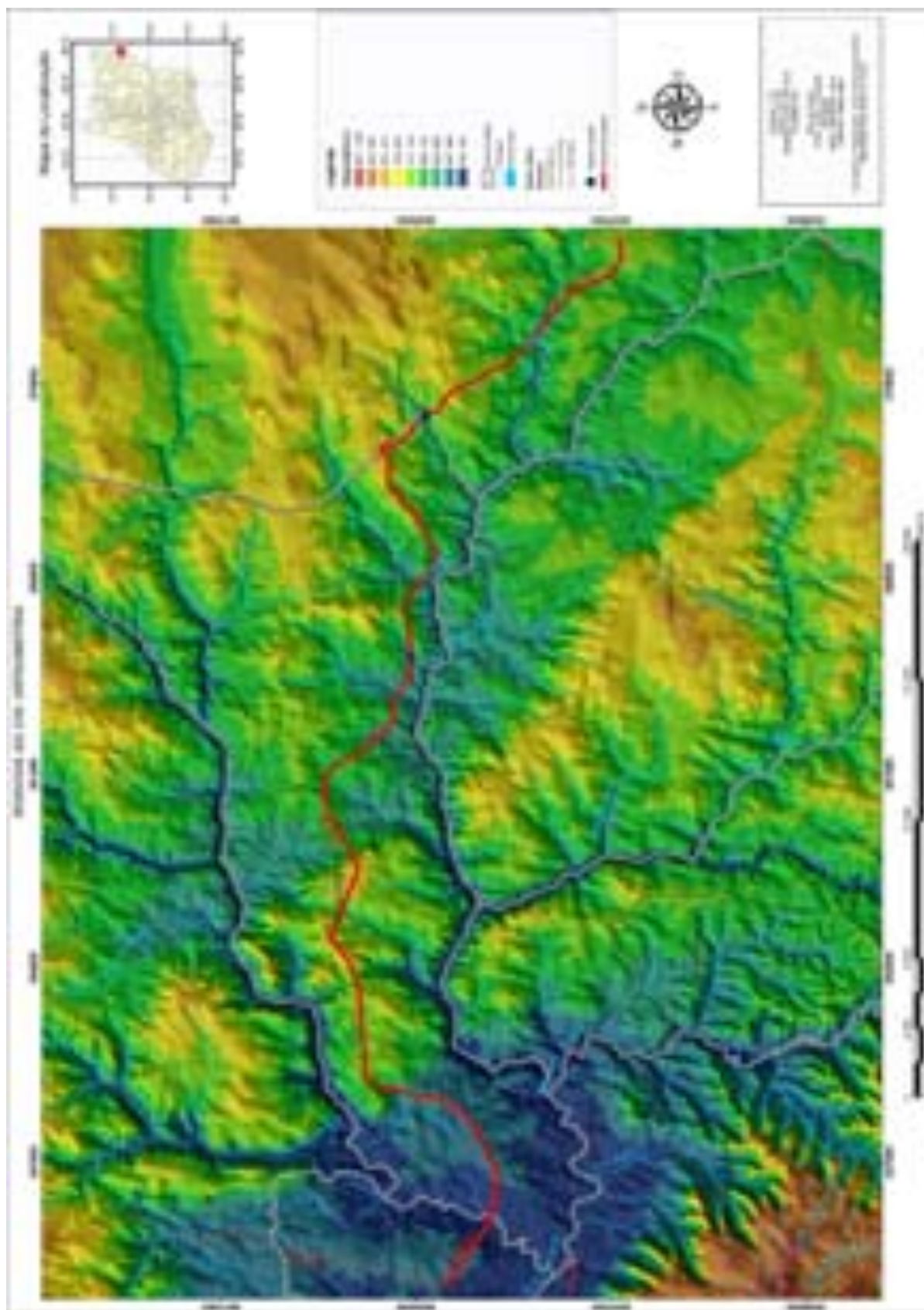


Figura 4.10 – Mapa Hipsométrico

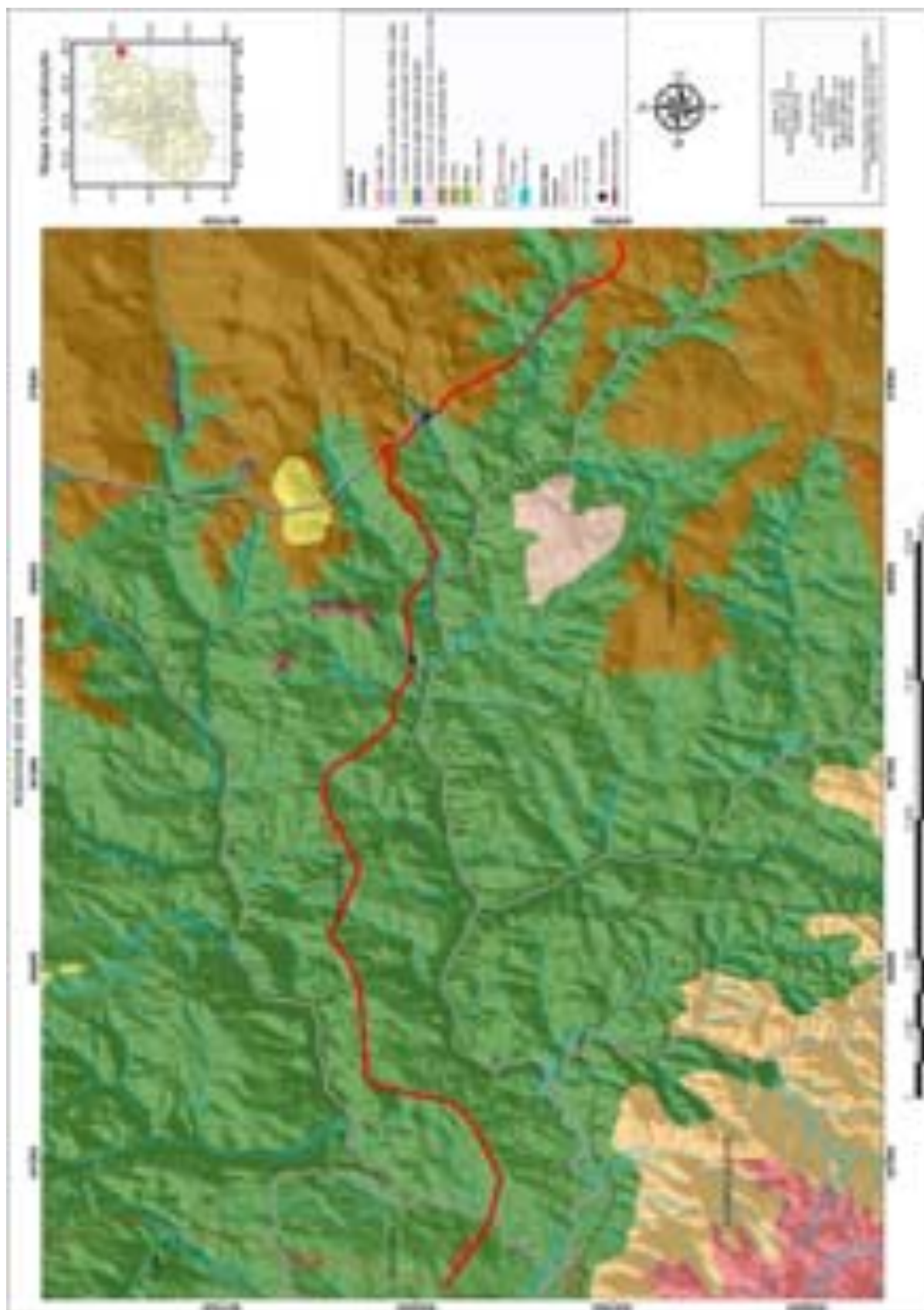


Figura 4.11 – Mapa Litológico

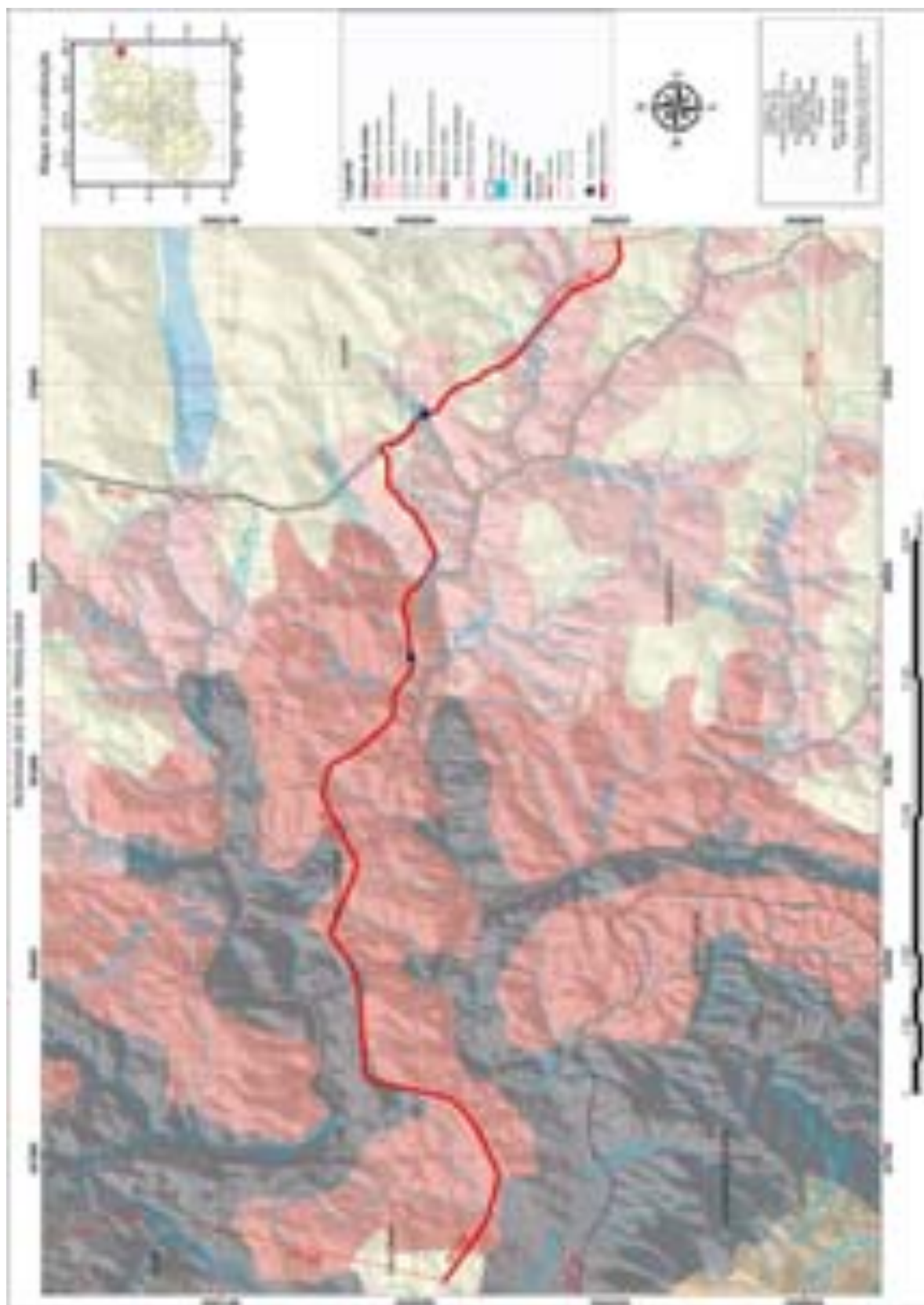


Figura 4.12 – Mapa Pedológico

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

Como já descrito resumidamente, a metodologia empregada para o desenvolvimento dessa pesquisa baseou-se na observação do desenvolvimento da fase construtiva de duas rodovias no estado de Goiás, a rodovia GO-309 e a rodovia GO-236, quanto às principais variáveis relacionadas aos aspectos da dinâmica do meio físico, de segmentos viários, visando o seu monitoramento.

Na rodovia GO-309, assim descrita no Sistema Rodoviário Estadual – SRE, Trecho: ENTR. BR-154/483/GO-236 (P/ Cachoeira Dourada) – DIV. GO/MG, Subtrecho: ENTR. BR-490(B)/GO-213(B) (Caldas Novas) – ENTR. BR-352(A)/GO-020/320(A) início do perímetro urbano (Pires do Rio), com extensão de 58,00 km, foi observada, investigada e monitorada a interferência da dinâmica dos processos do meio físico nas obras viárias existentes, principalmente na deflagração e/ou aceleração dês mesmos. Relata-se, passo a passo, a metodologia usada para execução das vistorias realizadas em campo, destacando-se a ficha de levantamento de campo do meio físico como suporte às vistorias. De forma sucinta, expõem-se a descrição do meio físico e são observados os impactos correspondentes, analisando-os criticamente.

No segundo estudo de caso foi abordada a suscetibilidade a movimentos de massa relacionados à existência de cavernas em formações calcárias, em áreas cortadas pela rodovia estadual, disseminando e abordando de forma pioneira a utilização de técnicas de prospecção geofísicas não-invasivas de investigação em construções viárias no estado. A rodovia estudada foi a GO-236/108, assim descrita no Sistema Rodoviário Estadual – SRE: Trecho: DIV. GO/BA – ENTR. BR-010/GO-118, Subtrecho: ENTR. GO-118(A) – ENTR. BR-020(A), com extensão de 35,60 km.

Mesmo sendo realizados em áreas distintas (localizadas no sudeste, e no nordeste do estado), não contínuas, justifica-se a integração por apresentarem complementaridade para o estudo,

principalmente quanto aos tipos de processos reinantes, permitindo-se desta forma, uma abordagem mais ampla.

O foco principal da pesquisa compreendeu o conhecimento das atividades envolvidas no processo construtivo destas obras. De acordo com Yamashita (2005), o método tem início na percepção de lacunas nos conhecimentos e, por meio da formulação de hipótese, busca-se solucionar os problemas, sendo denominado hipotético-dedutivo. A base da metodologia hipotético-dedutiva se assenta em reunir observações sistemáticas de dados, o mais objetivamente possível. Importa salientar, que neste trabalho, utilizou-se como fonte o método hipotético-dedutivo, não sendo, no entanto, uma aplicação direta do mesmo, modificado neste estudo, onde se procurou, focando-se nos condicionantes de interesse, a contextualização dos fatores intervenientes para a aquisição e compilação dos dados.

Deste modo, o desenvolvimento da pesquisa e a comprovação da hipótese foram baseados na análise dos dois estudos de caso, que investiga os fenômenos dentro de seu contexto real, por meio do método de abordagem adotado. O estudo de caso é um método qualitativo, que privilegia em sua análise, a compreensão dos fatos por meio de descrições pormenorizadas, em detrimento de sua mensuração, mesmo tendo um forte cunho dissertativo, conduz a um profundo alcance analítico buscando-se melhor conhecimento da essência dos fenômenos estudados. Pode-se apresentar a metodologia utilizada, a partir do seguinte esquema da Figura 5.1.

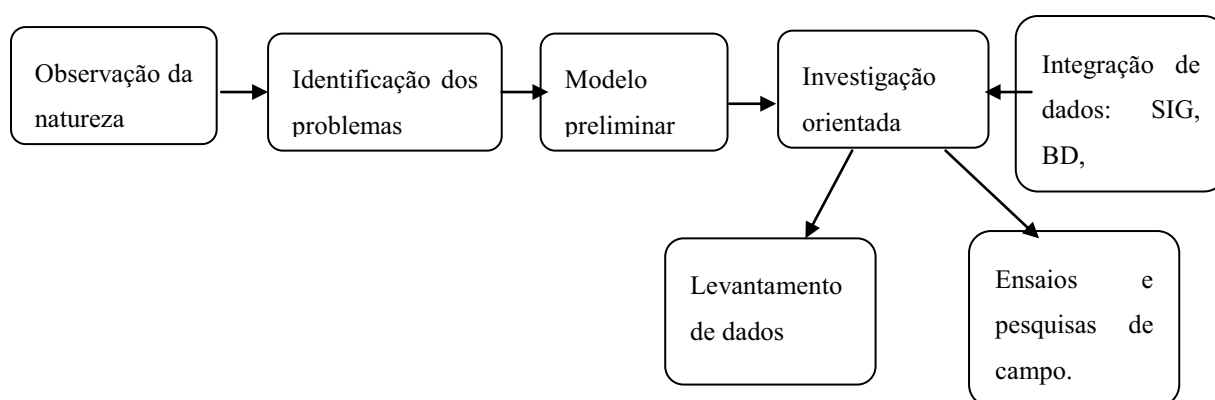


Figura 5.1- Esquema da apresentação do método hipotético-dedutivo

A metodologia empregada para o desenvolvimento dessa pesquisa teve como foco principal, a observação das etapas envolvidas na construção de um empreendimento rodoviário, compreendeu o conhecimento das atividades englobando desde técnicas e métodos construtivos, bem como as inter-relações que se processam no ambiente de sua inserção. Dentre o universo de análise que engloba as fases e etapas referentes às construções de uma rodovia, foi privilegiado nessa pesquisa a identificação e o conhecimento dos problemas ocorridos em virtude das construções viárias e as conseqüências ao ambiente afetado.

A investigação, aquisição e posterior compilação dos dados pesquisados foram orientadas pela compreensão dos fatores intervenientes mais importantes, ao longo do ambiente afetado. Os dados pesquisados, coletados em seu contexto real, resultantes do monitoramento periódico empreendido ao longo do horizonte temporal, foram analisados de forma sistemática quanto às condicionantes de interesse, por unidades de análise, tendo sido estabelecido um protocolo de abordagem coleta e registro de dados.

Desta forma, o desenvolvimento da pesquisa foi baseado na análise de um estudo de caso, concentrando-se na compreensão dos fenômenos observados. Sendo privilegiado o conhecimento dos processos do meio físico, tendo na revisão bibliográfica a base conceitual e o arcabouço teórico à pesquisa. As etapas seguidas neste trabalho foram discriminadas conforme o diagrama descrito no fluxograma, Figura 5.2, sendo discutidas de forma particular, de modo a apresentar globalmente o procedimento aplicado durante a execução desse projeto, formalizando assim a metodologia aplicada.

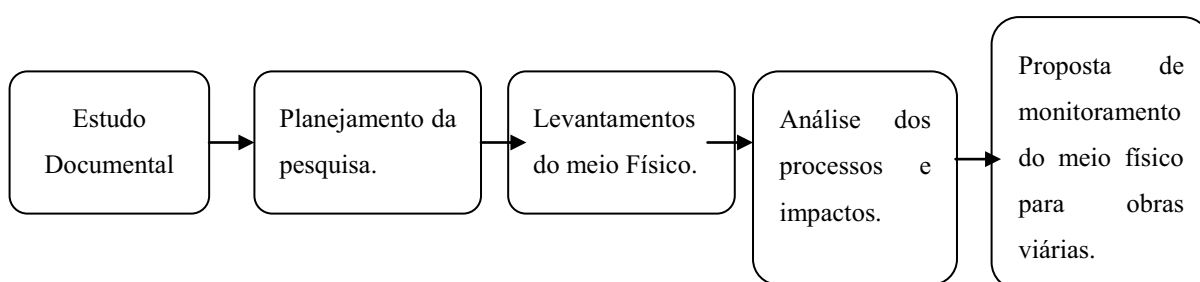


Figura 5.2 - Esquema da apresentação da metodologia aplicada ao monitoramento de rodovias.

5.1 ESTUDO DOCUMENTAL

Na organização da pesquisa foram resgatados e organizados os dados que pudessem permitir a compreensão minuciosa dos aspectos de interesse do estudo do caso escolhido. A pesquisa documental assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica, sendo que a pesquisa documental utiliza-se de materiais que não receberam ainda tratamento analítico – documentos de primeira mão.

Como primeiro passo reuniu-se os seguintes documentos que serviram como fonte de dados e suporte:

- o Projeto Executivo de Engenharia;
- o Estudo de Impacto Ambiental – EIA, Plano de Gestão Ambiental - PGA;
- os relatórios da empresa supervisora dos serviços;
- as medições de serviços;
- os diários de obra;
- recorrendo-se ainda, às lembranças detalhadas da ocasião de profissionais que participaram da execução das obras.

Segundo Gallardo (2004), no universo de análise referente à construção dos empreendimentos rodoviários, como o campo da pesquisa é vasto, a aquisição de dados objetiva servir para a melhor contextualização dos processos envolvidos. Serão descritas de forma individualizada, por serem distintas, a metodologia adotada para cada segmento rodoviário objeto desta pesquisa. Primeiramente será descrita a metodologia desenvolvida para os estudos relativos à rodovia GO-309 e em seguida a metodologia desenvolvida para o estudo referente à rodovia GO-236.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO RODOVIA: GO-309

A rodovia estudada de jurisdição do estado de Goiás constitui uma importante ligação entre os municípios de Pires do Rio e Caldas Novas. A cidade de Caldas Novas, inicialmente ocupada devido à exploração de ouro, com a descoberta de águas termais, transformou-se em um complexo hidrotermal. Compreende hoje um dos maiores pólos turísticos do estado de Goiás.

Já Pires do Rio no que se refere ao potencial turístico destaca-se pelos recursos naturais como cachoeiras e rios (CTE, 2002). A conclusão das obras da rodovia GO-309 encurta o percurso entre os municípios de Pires do Rio e Caldas Novas. Antes, o acesso entre as cidades era feito pela rodovia GO-330, via Ipameri e pela rodovia GO-213, com cerca de 113 km. Pela GO-309 o trajeto reduz-se a 58 km. Proporcionam-se assim melhores condições de escoamento da produção, sendo atrativo a investimentos do setor agropecuário e viabilizando áreas cujo potencial de exploração era impedido por dificuldades de acesso.

A rodovia pavimentada torna-se uma opção de acesso a Caldas Novas, principalmente aos turistas provenientes de Brasília. Antes, esse acesso era realizado via rodovia GO-139, passando pelos municípios de Luziânia, Vianópolis e Cristianópolis até Caldas Novas. A partir de Cristianópolis, o tráfego de quem vem de Brasília coincide com o de turistas goianos, aumentando o volume de tráfego e o risco de acidentes. Com a pavimentação da rodovia, o acesso dos turistas vindos de Brasília pode ser realizado via GO-330 e GO-309, através de Vianópolis, Orizona, Pires do Rio e Caldas Novas com apenas 8 km a mais em relação ao acesso via GO-139, conforme mapa rodoviário do estado de Goiás, 2003. Esse fluxo entre os municípios pode ser visualizado pela Figura 5.3.

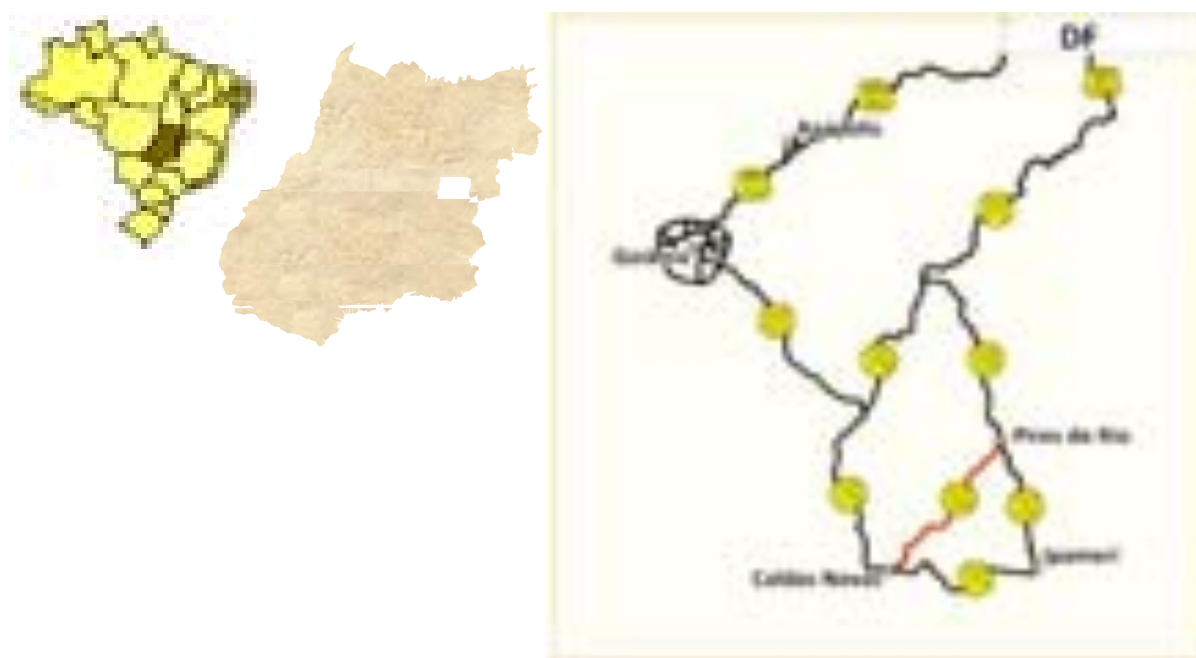


Figura 5.3– Localização do trecho da rodovia GO-309 estudada.

5.2.1 Características Técnicas

A obra da rodovia GO-309 foi realizada em duas etapas distintas. Inicialmente o trecho da rodovia GO-309, ligando Pires do Rio a Caldas Novas foi objeto de uma licitação internacional possuindo os seguintes dados contratuais:

- edital: 004/2002 referente a julho do ano de 2002;
- extensão: 58,04Km;
- prazo contratual: 600 dias corridos;
- início da obra: 18/11/2002;
- data da paralisação: nov/2004.

As obras foram paralisadas, sendo realizados 37,00 km de pavimentação e iniciado a terraplenagem de 21,00 km. Em seguida houve o processo de rescisão contratual. Após nova licitação as obras foram retomadas em 2 (dois) lotes:

- estaca 0 / estaca 1850, com 37,00 km de extensão para a execução dos serviços de recuperação;
- estaca 1850 / estaca 2900, com extensão de 21,00 km de extensão, foram realizados os serviços de terraplenagem e pavimentação asfáltica.

Com a retomada dos serviços as obras foram reiniciadas em 15/05/2007 e concluídas em 30/06/2009. O sub-trecho em estudo, possui uma extensão de 40,1 km, com início no perímetro urbano de Pires do Rio e fim na ponte sobre o Rio do Peixe.

Situa-se entre as coordenadas planas $L = 789174$ m e $N = 8083314$ m até $L = 765897$ m $N = 8054528$ m, meridiano central 51° WGr., percorrendo cotas entre 607 m e 735 m de altitude.

A seguir, apresentam-se as características técnicas do projeto (Tabela 5.1) e as características operacionais (Tabela 5.2).

TABELA 5. 1 – Características técnicas

CLASSE	II
Região	Plana/ondulada
Velocidade diretriz	80 km/h
Raio mínimo de curva horizontal	260m
Rampa longitudinal máxima	9%
Largura da faixa de rolamento	7,00m
Largura do acostamento	1,30
Declividades transversais em tangente da pista(valor médio)	3%
Dos acostamentos(valor médio)	3%
Superelevação máxima(total)	8%
Inclinação dos taludes:	
Corte	1.1
Aterro	1:1,5

FONTE: Projeto Final de Engenharia – ONA (2001).

TABELA 5. 2 – Características operacionais

DISCRIMINAÇÃO	ANO 2002	
	Volume Médio Diário	%
Carros	585	88,23
Coletivos	26	3,92
Caminhões	52	7,84
Número "N"	N10 = 2,91 x 10 ⁶	

FONTE: Projeto Final de Engenharia – ONA (2001)

A diretriz imposta ao traçado da rodovia possui boas condições de planta e perfil, situando-se a rampa máxima em 8,64% e o raio de curvatura mínimo em 350,88 m.

5.2.2 Vistoria de Campo

As vistorias de campo para a realização dos levantamentos e registros do meio físico foram realizadas ao longo dos anos de 2005, 2006 – após a paralisação dos serviços. No ano de 2007 – após o reinício dos serviços, e nos anos de 2009 e 2010 – após conclusão das obras.

As vistorias propiciaram a detecção e registro de problemas ocorrentes internamente à área de influência direta do empreendimento viário, compreendendo a caracterização detalhada dos processos de degradação no que tange às características do meio físico e os impactos ambientais surgidos em decorrência das obras de construção da rodovia.

Ao mesmo tempo em que se reconhecem as alterações do meio físico decorrentes das obras de implantação de obras viárias, torna-se necessário a adoção de métodos de avaliações e acompanhamentos sistemáticos das mesmas, visando agir de forma preventiva. Buscou-se assim, incorporar o monitoramento viário, envolvendo as diversas fases de construção dos empreendimentos, notadamente na fase construtiva de sua implantação, onde os problemas verificados ocorrem de forma mais comum.

Para registro das informações coletadas em campo, foi elaborada uma ficha de levantamento do meio físico. Buscando-se a tabulação e construção de uma base de dados, coletados dentro de um contexto real, com um forte cunho descritivo, mas que conduz a um profundo alcance analítico. A mesma possui um caráter genérico, auxiliando não só o estudo de caso em questão como também, podendo ser útil aos futuros levantamentos técnico a serem realizados, pois, contém os procedimentos e o método de abordagem investigativa a ser seguido.

5.2.3 Composição da Ficha de Levantamento de Campo

Para compor a ficha, baseou-se em modelos utilizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2001), Carvalho e Diniz (2005), Souza (1992). O primeiro, denominado “ficha para setorização de risco”, o segundo, “vistoria técnica”, o terceiro “ficha de cadastro de erosões” e o último “ficha de levantamento geotécnico de campo” (Apêndice C).

5.2.3.1 Área de Abrangência

A primeira dificuldade encontrada para a aplicação desta ficha de levantamento e acompanhamento foi definir os limites e abrangência, quanto aos fatores verificados no entorno da rodovia. Definiu-se como área de observação do trecho em estudo, a região compreendida entre os limites da faixa de domínio da rodovia, ou seja, 80m de largura. Isso porque se abrigam, nesse espaço físico, a obra viária e os principais elementos gerados pela atividade de construção, como os serviços de terraplenagem: cortes, aterros, áreas de apoio (empréstimos e bota-foras), elementos de drenagens superficiais e profundas, as obras de arte correntes e especiais, e os serviços complementares. Sendo essa a área de monitoramento preconizada e que se constitui na área de influência direta da obra rodoviária.

Para o levantamento de campo, foi definida como objeto de observação a faixa de domínio do trecho rodoviário, que é uma área contínua ao longo de todo segmento rodoviário, declarada de utilidade pública, destinada à implantação da rodovia e que abriga neste espaço físico os principais elementos gerados pela atividade de construção. Sendo essa a área de monitoramento preconizada, buscando-se nela os registros dos problemas ocorrentes internamente a faixa de domínio e sua inter-relação com as áreas adjacentes, que comprometessem de algum modo a segurança da obra viária, do usuário e de áreas lindeiras. O objeto de observação e análise teve como foco o local da obra, incluindo os elementos de drenagem, e os segmentos à montante e jusante para se ter uma visão mais abrangente do contexto e da inserção da rodovia na paisagem circundante.

Para a coleta dos dados, em cada ponto de observação, registrou-se sua localização por meio de coordenadas geográficas com o uso de aparelho portátil - GPS, realizando-se o registro fotográfico das observações, marcando-se também a estaca (em caso de existir), o quilometro do trecho, e o hodômetro digital do veículo.

Desta forma, foram registrados os pontos de análise, a cada alteração do meio físico, que correspondem aos locais com impactos ocorrentes e respectiva localização. Cada ponto marcado corresponde a uma ficha de levantamento de campo do meio físico. Alguns trechos possuíam a numeração das estacas. O primeiro ponto registrado, início do segmento em estudo, foi o trevo de Pires do Rio – definido como ponto 00. A partir dele, foram marcados um total de 49 pontos, determinando-se como ponto de observação, os locais com evidências de processos do meio físico. O último ponto marcado representa o fim no segmento - a Ponte sobre o Rio do Peixe.

5.2.3.2 Ficha de Levantamento de Campo

As “fichas de levantamento de campo” foram estruturadas segundo diversos campos de preenchimento, adotando-se a seguinte metodologia para seu preenchimento:

- Cabeçalho: auto-explicativo, contendo: dados de identificação e respectiva denominação e número de codificação da rodovia segundo o Sistema Rodoviário Estadual – SRE; sua localização: refere-se ao quilometro da estrada onde o problema foi detectado, devendo a ele ser adicionada a localização geográfica, proporcionada

pela leitura do GPS; o lado da ocorrência verificada: lado direito ou esquerdo (ou ambos), observando-se para tal o sentido crescente da quilometragem; a data; e número da ficha.

Itens da Ficha de Levantamento de Campo: A ficha de levantamento de campo do meio físico é composta dos seguintes itens principais: condicionantes; unidades de análise; processos do meio físico; transposição de drenagens naturais; água; observações gerais; recomendações e risco gerado pela ocorrência; registro fotográfico.

- Quanto aos condicionantes, o material predominante em cada ponto foi caracterizado quanto à origem em: colúvio; residual; saprolítico e rocha. Quanto a sua textura verificou-se tratar de: areia; silte e argila. Para verificação da textura do material, a metodologia adotada foi a caracterização tátil-visual. Para o procedimento, que se configura bem simples e rápido, utiliza-se uma amostra úmida, esfregando-a entre os dedos. Em caso da existência de areia, percebe-se um atrito, indicativo de falta de consistência. No caso do silte, a sensação será semelhante à provocada por um talco em pó, quebradiço quando umedecido. Nas argilas, há uma sensação pegajosa. Esse método utilizado foi abordado por Lepsch (2002). Verificou-se ainda, a existência ou não da cobertura vegetal.
- Unidades de análise: foram divididas em: taludes de corte e aterro; empréstimo lateral e bota-fora, atentando-se quanto ao lado da pista vistoriada.
- Quanto aos processos do meio físico, abordaram-se os seguintes movimentos: feições erosivas, isto é, feições que marcam os solos em decorrência dos mecanismos erosivos, apontando-se a sua localização (pé, crista, corpo) por unidade de análise; deslizamento, ressaltando-se a presença atípica do deslizamento em rocha; queda de blocos; rastejo; recalques; erosões, subdividindo-as em laminar, sulco, ravina e voçoroca; assoreamento; colapso; afundamento cárstico; expansão, na forma de empastilhamento.
- A transposição de drenagens naturais foi observada nos taludes de aterro, locais possíveis de ocorrer tal obra. Evidenciou-se a presença ou não do curso d'água.

- No item “água”, verificou-se a concentração de chuva em superfície e os locais de surgência de água (pé, crista, corpo - do talude). A surgência foi localizada em sua respectiva unidade de análise.
- Reservou-se um campo na ficha a observações gerais para destacar informações assessorias e complementares a cada ficha. Em algumas fichas, quando necessário, se o cadastrador observar outros fenômenos associados fez-se recomendações visando solucionar as deficiências abordadas, podendo-se acrescentar a apresentação com croquis e sugerir a adoção de projetos-tipos, considerando-se suficientes para compensar o passivo em análise, ou mesmo, propor ações complementares.
- O item “risco gerado pela ocorrência”, registrando-se: a presença, a não existência ou potencialidade dos riscos gerados pelas ocorrências, em relação: à rodovia, à faixa de domínio e às regiões lindeiras.
- Cada ficha de levantamento de campo do meio físico possui um campo que possibilita o registro fotográfico que corresponde a vistoria realizada. Devendo ser apresentado uma quantidade de fotos necessária a melhor visualização e qualificação dos pontos de análise, que poderá ser expandida se necessário.

Apresenta-se, a seguir Figura 5.4, o modelo completo proposto da “Ficha de levantamento de Campo do Meio Físico”.

5.2.3.3 Processos e Impactos Associados

O arcabouço legal brasileiro, em termos de legislação de meio ambiente, é um dos mais modernos do mundo. As normas legais ambientais em vigor compreendem inúmeros textos de leis, decretos, resoluções, tanto na esfera federal como estadual e, eventualmente municipal.

Foi estabelecido um conjunto de regras obrigatórias, estabelecidas pela(s): Constituição Federal e suas emendas; Leis Complementares; Leis Ordinárias; Medidas Provisórias; Decretos; Resoluções; e Normas, com vistas à regular as atividades e inter-relações humanas sobre a natureza, de acordo com os princípios dados pelo Direito Ambiental.

Estudante: 03/2019 Trabalho: Prova de Raciocínio Lógico Data: 01/01/2019									
Nome: _____									
Questão 1: (0,5 ponto)									
Um conjunto finito possui 10 elementos. Quantos subconjuntos desse conjunto possuem exatamente 3 elementos?									
a) 10 b) 120 c) 100 d) 1020 e) 1000									
Questão 2: (0,5 ponto)									
Um número natural n é tal que $n \equiv 1 \pmod{3}$ e $n \equiv 2 \pmod{5}$. Qual o menor valor possível para n ?									
a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5									
Questão 3: (0,5 ponto)									
Sejam A e B dois conjuntos tais que $A \cap B = \{x\}$ e $A \cup B = \{x, y, z, w\}$. Qual o número de elementos de A ?									
a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5									
Questão 4: (0,5 ponto)									
Um polinômio $P(x)$ de grau 3 tem raízes 1, 2 e 3. Qual o valor de $P(4)$?									
a) 24 b) 26 c) 28 d) 30 e) 32									
Questão 5: (0,5 ponto)									
Sejam A e B dois conjuntos tais que $A \cap B = \{x, y\}$ e $A \cup B = \{x, y, z, w, v\}$. Qual o número de elementos de A ?									
a) 2 b) 3 c) 4 d) 5 e) 6									
Questão 6: (0,5 ponto)									
Um número natural n é tal que $n \equiv 1 \pmod{4}$ e $n \equiv 3 \pmod{6}$. Qual o menor valor possível para n ?									
a) 1 b) 3 c) 5 d) 7 e) 9									
Questão 7: (0,5 ponto)									
Sejam A e B dois conjuntos tais que $A \cap B = \{x, y, z\}$ e $A \cup B = \{x, y, z, w, v, u\}$. Qual o número de elementos de A ?									
a) 3 b) 4 c) 5 d) 6 e) 7									
Questão 8: (0,5 ponto)									
Um polinômio $P(x)$ de grau 4 tem raízes 1, 2, 3 e 4. Qual o valor de $P(5)$?									
a) 120 b) 122 c) 124 d) 126 e) 128									
Questão 9: (0,5 ponto)									
Sejam A e B dois conjuntos tais que $A \cap B = \{x, y, z, w\}$ e $A \cup B = \{x, y, z, w, v, u, t\}$. Qual o número de elementos de A ?									
a) 4 b) 5 c) 6 d) 7 e) 8									
Questão 10: (0,5 ponto)									
Um número natural n é tal que $n \equiv 2 \pmod{5}$ e $n \equiv 4 \pmod{7}$. Qual o menor valor possível para n ?									
a) 2 b) 4 c) 6 d) 8 e) 10									

Figura 5.4 – Modelo ficha de levantamento de campo do meio físico.

De forma resumida o organograma da legislação ambiental brasileira pode ser descrito pela Figura 5.5.

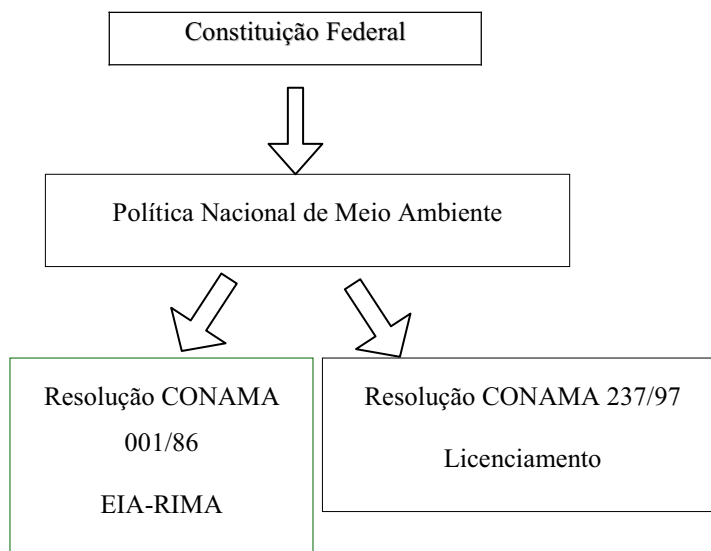


Figura 5.5 – Organograma da legislação ambiental brasileira.

As construções rodoviárias, por serem atividades utilizadoras dos recursos naturais, alterando significativamente o meio de sua inserção, provocam uma série de impactos, podendo ser por natureza benéfica (positivo) ou adversa (negativo), ou seja, ser benéficos ao homem e ao meio ou causar-lhe danos. A Resolução do CONAMA N°. 001 define impacto ambiental assim:

Art. 1 - Para efeito desta resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Para se definir “Impacto Ambiental” o Corpo Normativo Ambiental para Empreendimentos Rodoviários, DNER (1996), faz as seguintes considerações: Usa-se “alteração do meio ambiente” ou “modificação do meio ambiente” tanto para as mudanças naturais como as

feitas pelo homem. As mudanças (ou alterações) feitas pelo homem podem ser intencionais (construção de uma estrada ou de uma barragem, etc.) ou não intencionais (acidentes). Denomina-se “efeitos” às consequências de uma modificação induzida pelo homem.

Desta forma, a legislação vigente estabelece a obrigatoriedade do licenciamento Ambiental competente para a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, como os empreendimentos rodoviários, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, que sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Na avaliação empreendida por meio das vistorias de campo, com o apoio da ficha de levantamento, observaram-se diversas ocorrências que se caracterizavam como passivos ambientais decorrentes da implantação das obras viárias.

Conforme o Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais, DNER (1996), o passivo ambiental é definido como o conjunto de relações ambientais originados da implantação e operação da rodovia. É constituído por externalidades geradas pela existência da rodovia sobre terceiros ou de terceiros sobre a rodovia, verificadas dentro e fora da faixa de domínio, e que venham interferir direta ou indiretamente na operação da rodovia, bem como sua área de inserção ou áreas lindeiras. São as obrigações das empresas com terceiros sendo que, tais obrigações mesmo sem uma cobrança formal ou legal, devem ser reconhecidas, obedecendo-se ao princípio do “poluidor pagador” como forma de internalizar os custos ambientais decorridos. Dentre os principais impactos ambientais decorrentes das construções viárias podem ser observados:

- Desmatamentos;
- Movimentos de terras (escavações e aterros);
- Impermeabilização do solo;
- Mudanças no escoamento das águas;
- Modificações nos usos do solo;
- Reassentamentos da população;
- Conflitos com áreas urbanas;
- Impactos nas atividades sócio-econômicas.

Procedeu-se, então aos levantamentos de campo realizados durante os anos de 2005, 2007, 2009 e 2010, em que foram feitos os levantamentos dos processos do meio físico associados, e os impactos decorrentes, as vulnerabilidades apresentadas, bem como as possíveis desconformidades legais, que propiciam as correlações e as análises pertinentes.

Hoje com a obra concluída, encontram-se problemas que se constituem em impactos ambientais significativos. Da mesma forma, nota-se a necessidade de uma abordagem holística e sinérgica dos problemas decorrentes da implantação das redes viárias relacionados ao meio em que estão inseridas, podendo-se observar duas abordagens distintas, mas, complementares: uma relacionada aos aspectos construtivos, e outra relacionada ao cumprimento de legislação ambiental específica, resumidas no Quadro 5.1, abaixo.

Aspectos construtivos	Aspectos ambientais
• descaracterização e degradação da paisagem natural das áreas circunvizinhas; • assoreamento e poluição dos corpos d'água, • comprometendo a qualidade ambiental da biota; • processos erosivos e degradações em áreas de apoio: empréstimos e bota-foras; • instabilidade de taludes de cortes e aterros; • melhor dissipação no deságüe das obras de drenagens; • falta de seqüência lógica e descompasso das etapas de serviços, patrocinadas por interrupções das obras de forma extemporâneas.	• desrespeito ao licenciamento ambiental; • desconhecimento dos projetos ambientais por parte dos envolvidos nas construções das rodovias, sendo suas recomendações ignoradas ou parcialmente observadas; • inexistência do monitoramento e fiscalização ambiental; • atitude protocolar e burocrática do licenciamento; • desinteresse no setor técnico em atender as questões ambientais; • inexistência de técnicos da área ambiental nas empresas.

Quadro 5.1 Aspectos construtivos e ambientais.

Dentre outros objetivos da proposta de monitoramento, destaca-se, também o comprometimento com a sustentabilidade do empreendimento, devendo-se, segundo Reis *et al.*, (2005):

- verificar o cumprimento da legislação ambiental vigente;
- adotar processos de engenharia viária ambientalmente corretos, incorporando novas tecnologias (produção mais limpa), visando à melhoria contínua do desempenho ambiental;
- servir de apoio à fiscalização das obras viárias;

- atuar preventivamente, detectando potenciais de riscos ambientais, e por consequência das responsabilidades civil, penal e administrativa decorrentes;
- evitar danos ao meio ambiente antrópico, físico e biológico;
- verificar os impactos ambientais relacionados a determinadas práticas de construção e operação da rodovia, ou de trechos específicos da mesma;
- identificar as peculiaridades ou condicionantes que possam constituir-se em fragilidades face à presença do empreendimento;
- internalizar a componente ambiental às etapas do planejamento, projeto, construção e operação dos empreendimentos;
- atuar de forma sustentável no uso dos recursos naturais;
- oferecer subsídios para a recuperação dos passivos ambientais existentes;
- ser um instrumento de responsabilidade ambiental;
- possibilitar no futuro, a implantação de um sistema de gestão ambiental (SGA).

É necessário assim, fazer com que o desenvolvimento da infra-estrutura viária venha acompanhada do bem-estar social e da preservação do meio ambiente, tendo assim um reflexo positivo na qualidade de vida.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO DA RODOVIA GO-236/108

A rodovia GO-236/108, uma rodovia de jurisdição estadual, é uma das principais ligações da região nordeste do estado a qual permite a ligação à Mambai a partir da rodovia federal BR-020. A rodovia atravessa uma região no estado em que se tem registro de uma grande quantidade de ambientes cavernícolas, já sendo exploradas com ações de ecoturismo. Paredões rochosos, rios de águas cristalinas e esverdeadas, cachoeiras, trilhas, lagos, cânions e um conjunto de cavernas único estão inseridos em rochas calcárias do grupo Bambuí, nos contrafortes da serra Geral. Mambai localiza-se no nordeste goiano, estando apenas a 8 (oito) quilômetros da divisa com o estado da Bahia.

Área de Proteção Ambiental (APA) devido às nascentes do rio Vermelho, Mambai está a 308 km de Brasília e 503 km de Goiânia. O rio Vermelho, que desemboca mais ao norte no rio Paranã, principal afluente do rio Tocantins, a nordeste do estado como se verifica no mapa

apresentado de localização da área, Figura 5.6. A região abriga a Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APA NRV), Gerenciada pelo IBAMA-GO. Esta área foi criada em setembro de 2001 com os objetivos de proteger os atributos naturais, a diversidade biológica, os recursos hídricos e o patrimônio espeleológico. Segundo o IBAMA – GO, a APA NRV tem como meta assegurar o caráter sustentável da ação antrópica na região. A APA abriga um dos mais expressivos patrimônios cársticos e muitos rios subterrâneos, formados de diversas cavernas, fato que configura elevado potencial para a prática de ecoturismo nesta área.



Figura 5.6 – Mapa de localização da área na GO-236.

Entre as cavernas destaca-se a Lapa do Penhasco e a caverna Tarimba, esta última já bem conhecida por boa parte dos espeleólogos brasileiros, pois se trata segundo medição recente pela UPE (União Paulista de Espeleologia) e GREGO (Grupo Espeleológico Goiano) de uma das maiores cavernas do Brasil em extensão contendo cerca de 10 km já mapeados. Apesar de todo o acervo de espeleotemas que são protegidos por leis ambientais, por ocasião da construção da rodovia, tanto o projeto executivo de engenharia, quanto o Plano de Gestão Ambiental – PGA, não contemplaram qualquer medida específica com vistas a mitigar as ocorrências e a proteção dessas áreas, tendo em vista a interferência das obras viárias em ecossistemas cavernícolas. Impõe relevância ao tema, o fato das cavidades naturais

subterrâneas existentes no território nacional constituírem-se em bens da União de que trata o Art. 20, inciso X, da Constituição Federal, com a necessidade de sua preservação e conservação, por tratarem-se os ecossistemas de grande fragilidade, e como tal fator de risco a segurança da rodovia e de seus usuários.

5.3.1 Características Técnicas

A ligação da rodovia BR-020 à Mambai é realizada por duas rodovias estaduais: a GO-236, Trecho: entr. BR-020/Vila Nova, com extensão de 36,60 km, e a GO-108, trecho: Vila Nova/Mambai, com extensão de 9,5 km. O último segmento da rodovia GO-108, trecho: Povoado de Vila Nova/Mambai foi construído de 07/2003 a 12/2004. A obra da rodovia GO-236, foi realizada em duas etapas distintas, inicialmente o trecho da rodovia que liga a BR-020 à Vila Nova, depois desta até Mambai. Possuindo os seguintes dados contratuais:

- extensão: 36,60 km;
- início da obra: 1997;
- data da paralisação: 1999;
- data de conclusão: 2004.

A seguir, apresentam-se as principais características técnicas do projeto, destacadas na Tabela 5.3, e as características operacionais destacadas pela Tabela 5.4, fonte: Projeto Final de Engenharia – AGETOP.

TABELA 5.3 – Características técnicas

CLASSE	II
Região	Plana/ondulada
Velocidade diretriz	80km/h
Raio mínimo de curva horizontal	260m
Rampa longitudinal máxima	9%
Largura da faixa de rolamento	7,00m
Largura do acostamento	1,30
Declividades transversais em tangente da pista(valor médio)	3%
Dos acostamentos(valor médio)	3%
Superelevação máxima(total)	8%
Inclinação dos taludes:	
Corte	1:1
Aterro	1:1,5

TABELA 5.4 – Características operacionais

DISCRIMINAÇÃO	ANO 2002	
	Volume Médio Diário	%
Carros	602	85,03
Coletivos	31	4,38
Caminhões	75	10,64
Número "N"	N10 = 2,91 x 10 ⁶	

FONTE: Projeto Final de Engenharia – AGETOP

5.3.2 Ensaios Realizados

O objetivo inicial e específico, conforme descrito no Capítulo 1, para essa área, era analisar a suscetibilidade a movimentos de massa relacionados à existência de cavidades naturais, em áreas cortadas por rodovias estaduais. Assim, a proposta restringia-se a detecção de estruturas cársticas, sob a rodovia. Foi contactado o escritório do IBAMA em Mambai-GO e a Superintendência Regional em Goiânia, tendo em vista que o órgão ambiental tem catalogado diversas cavernas na região, como demonstra-se pelo Mapa Espeleológico, Figura 5.7.



Figura 5.7 – Mapa Espeleológico. Fonte: SEPLAN-GO

Como se verificou pelo Mapa Espeleológico, constatou-se a existência de grande quantidade de cavernas catalogadas ou não nesta região que margeia a rodovia GO-236. Optou-se então, pela realização de ensaios geofísicos, para analisar a suscetibilidade a movimentos de massa relacionados às cavernas. Previamente já havia sido acordado com a empresa Inter Geo – Tecnologia e Informação em Geociências de Brasília a realização dos ensaios. Ressalta-se que já havia sido realizado pelo autor um ensaio Geofísico envolvendo o Georadar (GPR), em 1999, por ocasião das obras de pavimentação da rodovia BR-414/GO, quando houve a detecção de um conduto enquanto eram realizados os serviços de terraplanagem da rodovia, próximo a cidade de Cocalzinho de Goiás. O ensaio realizado deu subsídio e segurança para tomada de decisão quanto à continuidade dos serviços de terraplenagem.

Quanto às pesquisas realizadas na GO-236 a informação do Sr. José Augusto de Oliveira Motta – Chefe da Divisão de Gestão e Proteção Ambiental da Superintendência Regional do IBAMA em Goiânia é de que a rodovia deveria passar sobre duas cavernas, a “Lapa Córrego das Dores”, com extensão de 1700 m e a “Caverna da Tarimba”, com extensão de 7500 m. As coordenadas geográficas, fornecidas por ele, das bocas 1 e 2 da caverna “Lapa do Penhasco (à montante e jusante da rodovia GO-236 – próximo a Buritinópolis),” e as coordenadas da “Caverna da Tarimba” (pontos: A,B,C e D), foram inseridas no mapa rodoviário do estado de Goiás, em detalhe conforme Figura 5.8.



Figura 5.8– Inserção dos pontos no mapa rodoviário do estado

Programou-se dessa forma, a realização de ensaios geofísicos, após os contatos descritos, a revisão da documentação da obra, entrevista com os engenheiros responsáveis pela execução da pavimentação da rodovia GO-236, contatos com o Espeleólogo Emílio Calvo, conhecedor da região. Além disto, foi feita uma viagem preparatória à investigação, para o conhecimento da região nos dias 02 e 03 de julho de 2010.

Assim a pretensão era a investigação em dois pontos: o primeiro o ponto que corresponde à caverna “Lapa Córrego das Dores” que corta a rodovia entre Burutinópolis e o povoado de Vila Nova no quilometro 31, Figura 5.9; o segundo ponto, no povoado de Vila Nova, no aterro da rodovia sobre a “Ponte de Terra”, km 38, local em que, segundo os executores da obra de pavimentação existia uma caverna sob o aterro da rodovia.



Figura 5.9 – (a): Coluna na Lapa do Córrego das Dores:

Fonte: Anderson Santos (sd).



(b) Entrada da Lapa do Córrego das Dores

Fonte: foto do autor (2010).

A ida a campo para a realização dos ensaios, somente foi viabilizada no mês de agosto, devido em princípio a dificuldade de viabilizar o financiamento da pesquisa, depois em virtude da grande demanda por estudos geofísicos em vários estados brasileiros, aguardou-se a disponibilidade na agenda da empresa contratada. Assim, os ensaios foram realizados somente nos dias 05 e 06 de agosto de 2010.

Tendo em vista a disponibilidade da empresa para a realização dos ensaios ter sido limitada a apenas 2 (dois) dias, e tendo sido verificado que as cavernas escolhidas para realização dos ensaios estavam a uma profundidade de 25 e 7 m do leito estradal, o ensaio geofísico mais adequado segundo a metodologia descrita, seria o de eletrorresistividade.

Como o tempo disponível não seria suficiente para a realização dos dois ensaios com esse método, a programação teve que ser alterada, optando-se por realizar um ensaio com o método da eletrorresistividade outro ensaio geofísico usando o método do Georadar – GPR. Tendo sido escolhido um local do segmento rodoviário: um aterro de menor altura (aproximadamente 4,0 m) sobre um bueiro para detectar as dimensões da estrutura em relação à rodovia e mais, analisar a estrutura das camadas do aterro.

Esta alteração permitiu um acréscimo investigativo, propiciando além da detecção de caracteres ou formas naturais (como cavidades), ou não (estruturas como bueiros etc.), investigar as condições de sanidade das camadas do pavimento, espessura e estratigrafia, em segmento rodoviário.

No Brasil algumas experiências têm sido empreendidas nesta área, ressaltando-se os levantamentos realizados pelo grupo de pesquisadores da Escola de Engenharia da UFRGS, com a aplicação do Geo-radar para a investigação da estratigrafia de pavimentos rodoviários (UFRGS, 2010).

O procedimento usual para a avaliação de pavimentos consiste, inicialmente, na realização de ensaios não-destrutivos, como os levantamentos deflectométricos e o registro de defeitos de superfície.

Assim optou-se por realizar neste outro segmento rodoviário o ensaio geofísico com o GPR, propiciando desta forma, nova alternativa de verificação e aferição das camadas do pavimento e do aterro, em contraponto aos ensaios defletométricos. Isto veio conferir maior aplicabilidade ao método de investigação, e de poder demonstrar a aplicação de outro ensaio geofísico no monitoramento e investigação de segmentos rodoviários.

5.3.2.1 Realização do Ensaio com GPR

O local escolhido para o emprego da metodologia GPR, ou, Ground Penetrating Radar, a fim de se determinar as dimensões e a condição da estrutura sob a rodovia, como também a condição estrutural das camadas do pavimento, localiza-se no quilometro 28 da rodovia GO-236, entre Buritinópolis e o Povoado de Vila Nova.

O aterro possui uma altura aproximada de 3,5 m, existe uma obra de arte corrente para a transposição de águas pluviais, constituído por um bueiro duplo tubular de concreto, a superfície superior do aterro apresenta um processo de abatimento gerando grande desconforto aos motoristas que transitam pelo local, com sinais de correção com acréscimo de capa asfáltica para melhorar as condições, como se verifica pela Figura 5.10.



Figura 5.10 – Detalhe do aterro escolhido para execução do ensaio.

O sistema empregado é leve, modular, totalmente alimentado por bateria e controlado por computador portátil, o que permite a imediata visualização no campo, das seções obtidas. A operação é completamente digital, garantindo alto desempenho, resolução e evitando ruídos produzidos por artefatos em superfície, Figura 5.11.



Figura 5.11 – Detalhes dos equipamentos utilizados.

O equipamento utilizado foi o modelo pulse EKKO 1000 fabricado pela Sensors&Software/Canadá com configuração para operar com antenas blindadas de frequências de 225 MHz, obtendo medidas a cada 0,5 cm ao longo do perfil.

Todas as aquisições de dados de GPR foram realizadas por meio de perfis de reflexão. Os perfis foram realizados no modo contínuo, em que as antenas são arrastadas sobre o solo. Detalhe da realização do ensaio, Figura 5.12.



Figura 5.12 – Detalhe da execução do ensaio.

Foram realizadas duas seções de GPR, obtidas em cada margem da rodovia, com um comprimento de 40 m cada sendo denominadas: - LN1 (coordenadas UTM/SAD69, início: 365.110/8.404.205 e final: 365.152/8.404.209); - LN2 (coordenadas UTM/SAD69, início: 365.111/8 404.197 e final: 365.149/8.404.201). Na Figura 5.13, apresenta-se detalhe do corpo do bueiro e boca à montante.

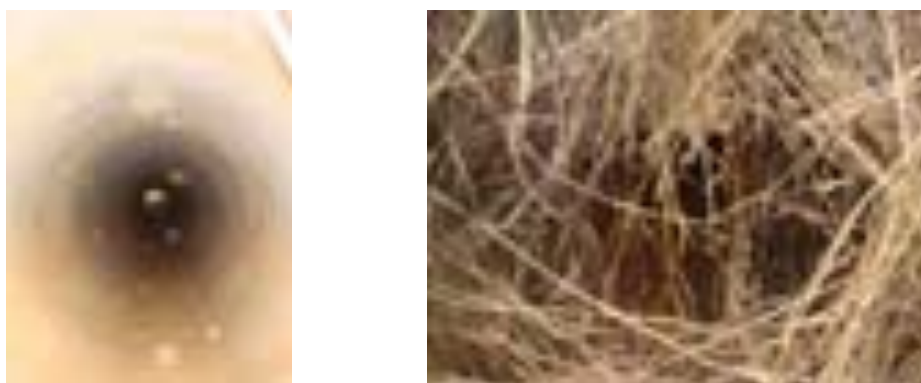


Figura 5.13 – Detalhes do bueiro.

5.3.2.2 Ensaio usando o Método da Eletrorresistividade

A seguir demonstra-se com o equipamento a configuração multi-eletródica projetada para este tipo de perfilagem como pode ser visto na Figura 5.14. O eletrorresistivímetro empregado foi o SYSCAL Pro da Iris Instruments, França, com 48 eletrodos (estacas de aço inox) interligados a uma unidade de comutação automática.

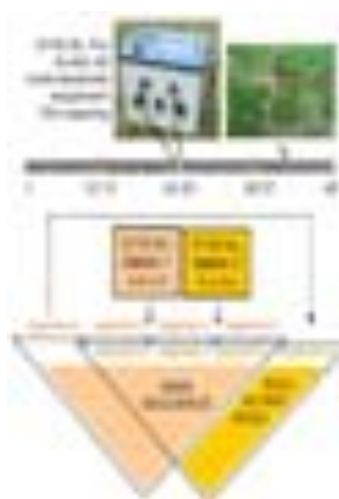


Figura 5.14 – (a) Arranjo dipolo-dipolo usado na perfilagem. (b) Unidade de comutação.

Foi usada malha de amostragem implantada composta por 4 (quatro) linhas orientadas paralelamente a estrada, dos 02 (dois) lados da via, com espaço entre os eletrodos de 2,5 m, em detalhe conforme Figura 5.15, Figura 5.16 e Figura 5.17.

No levantamento realizado na GO-286, na altura do quilometro 38, foi realizado um caminhamento elétrico na localização de cavidades e estruturas cársticas em profundidade.

Foram realizados 4 perfis paralelos de 87 metros de comprimento em trecho da rodovia onde ocorre uma boca de cavidade de aproximadamente 2 metros de um lado da estrada e uma surgência no outro. Nesse trecho foi construído um aterro para pavimentação da estrada e cota do asfalto varia de 718 a 722 metros. A boca da cavidade está próxima a cota 695 m e a surgência na cota 686. As cavidades e algumas estruturas cársticas (condutos, aberturas por dissolução) possuem respostas características, principalmente na presença de água.

Os espaços vazios das rochas carbonáticas, quando secos, elevam consideravelmente a resistividade elétrica aparente. Quando ocorre a percolação de água através de condutos e fissuras da rocha há um significativo aumento da condutividade elétrica. Ou seja, além da existência de cavidades, a presença da água determina a natureza da anomalia. Nesse trecho, a rodovia já existia em leito natural, por ocasião de sua pavimentação o aterro teve um acréscimo de plataforma e altura (de aproximadamente 4,0 m) para atingir a cota de pavimentação.

A cota do asfalto varia de 718 a 722 metros. A boca da cavidade está próxima a cota 695 m e a surgência na cota 686. Foram realizados 4 perfis paralelos de 87 metros de comprimento em trecho da rodovia onde ocorre uma boca de cavidade de aproximadamente 2 metros de um lado da estrada e uma surgência no outro.

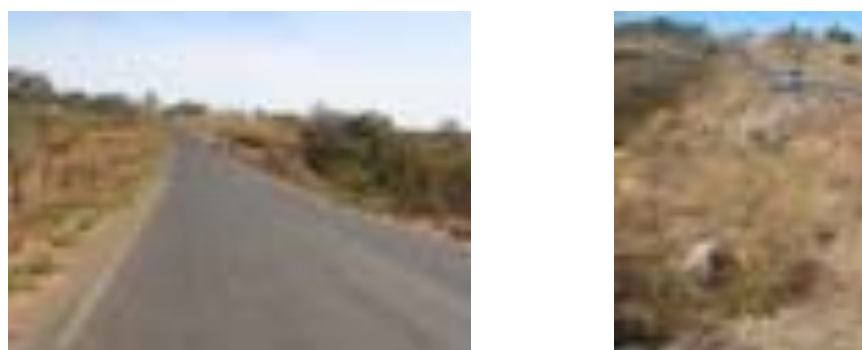


Figura 5.15 – Detalhe do aterro onde foi realizado o ensaio.



Figura 5.16 – (a) Detalhe espaçamento entre eletrodos. (b) Procedimento de molhagem para diminuir a resistência de contato. (c) Detalhe do corpo do maciço. (d) Surgência no pé do aterro da rodovia.



Figura 5.17 – (a) Verificação dos dados do ensaio. (b) Vista do procedimento de molhagem dos eletrodos. (c) Vista do equipamento. (d) Detalhe do ensaio.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS E MEDIDAS PRECONIZADAS

Na avaliação empreendida na área da rodovia GO-309, por meio das visitas a campo, com o apoio da ficha de levantamento, observaram-se diversas ocorrências que se caracterizaram como degradações decorrentes dos processos do meio físico, deflagrados por ocasião da implantação das obras de construção da rodovia. Ao longo de todo segmento estudado, foram analisados 49 (quarenta e nove) pontos ao longo de um trecho de 40,10 km, da cidade de Pires do Rio estende-se até a Ponte sobre o rio do Peixe. Nos Apêndice B,C, e D, relativos aos anos de 2005, 2007, 2009 e 2010, encontram-se as Fichas de Levantamento do Meio Físico contendo a descrição de todos os levantamentos realizados.

6.1 CORRELAÇÕES DOS PROCESSOS COM AS UNIDADES DE ANÁLISE – RODOVIA GO-309.

A primeira análise empreendida foi obtida com a identificação e correlação dos processos do meio físico catalogados nas fichas de levantamento de campo em suas respectivas unidades de análise (talude de corte e aterro, empréstimo lateral e bota-fora) conforme observado no Quadro 6.1. Foram considerados os processos do meio físico predominantes como deslizamento, queda de blocos, rastejo, erosão, assoreamento, empastilhamento e recalque da ficha de levantamento de campo do meio físico. Não foi levado em consideração para a execução desta síntese o item “feições erosivas”, porque o item “erosões” o representou.

	Processos do meio físico/ Unidades de análise	Pontos de campo	total
1	Talude de corte	05, 14, 15, 17, 19, 21, 26, 28, 31, 34, 36,39	12
	Deslizamento	05, 14, 15, 21, 26, 28, 31, 34, 36,39	10
	Queda de blocos	14, 15, 17, 19, 21, 26, 28, 34, 36,39	10
	Rastejo	34	01

Quadro 6.1 – Correlação dos pontos de campo com os processos do meio físico nas respectivas unidades de análise.

	Erosão	05, 14, 15, 17, 19, 21, 26, 28, 31, 34, 36,39	12
	Assoreamento	05, 14, 15, 17, 19, 21, 26, 28, 31, 34, 36,39	12
	Expansão	15, 28, 31, 34,36	05
2	Talude de aterro	04,06,07,08,09,11,12,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43	26
	Deslizamento	16,18,22,24,25,30,38,40,41,42,43	11
	Recalque	08	01
	Erosão	04,06,07,08,09,11,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43	26
	Assoreamento	04,06,07, 08,09,11,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43	26
3	Empréstimo lateral	01,02,03,06,10	05
	Erosão	02,03,06,10,	04
	Assoreamento	02,03,06,10,	04
4	Bota-fora	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23
	Erosão	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23
	Assoreamento	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23

Quadro 6.1 – Correlação dos pontos de campo com os processos do meio físico nas respectivas unidades de análise. (cont.)

Como se depreende da síntese propiciada pelo Quadro 6.1, nas diversas unidades de análise pesquisadas (com exceção de um ponto), foi identificada a ocorrência de processos do meio físico, como erosão laminar e linear - associados a assoreamentos dos cursos d'água adjacentes, recalque e movimentos de massa (rastejo, escorregamento e quedas de blocos).

Na unidade de análise talude de corte, foram observados deslizamentos e queda de blocos em 83% dos pontos. Ressalta-se no ponto 34 apenas um ponto com ocorrência de rastejo no talude de corte, de difícil observação. Segundo descrito no capítulo 3, esse processo pode ser observado em taludes, pela curvatura das árvores, postes inclinados, e de pequenos terraços ao longo das encostas. No entanto, neste caso houve movimentação da face interna do dispositivo de drenagem superficial - calha triangular de concreto, ao longo do talude de corte. Na unidade de análise denominada talude de aterro foram pesquisados 26 pontos, sendo observados: deslizamentos em 42% dos pontos; recalque em apenas 01 (um) ponto; erosão e assoreamento em 100% dos pontos. O ponto de ocorrência de recalque (ponto 8) ocasionou diversos transtornos, como interrupção do tráfego e necessidade de reconstrução de todo segmento. Na unidade de análise empréstimo lateral, foram pesquisados, 05 pontos, sendo observados erosão e assoreamento em 80% dos pontos. Apenas no ponto de empréstimo 01 não ocorreu erosão e assoreamento, por ter sido a caixa de empréstimo reconformada e revegetada.

Na unidade de análise bota-fora foram pesquisados 23 pontos, sendo observados em 100% erosão e assoreamento. Este fato indica uma má disposição dos mesmos e a necessidade de

sua contenção. Isso evitaria os indesejados e perigosos efeitos do carreamento de grande quantidade de solos para as propriedades lindeiras, notadamente com sua deposição nos baixios topográficos e calhas de drenagens naturais. O cenário que propicia tal análise evidencia o modo inadequado e insustentável pelo qual o meio físico tem sido ocupado e utilizado. Destacam-se os processos erosivos e os escorregamentos induzidos pela construção das obras viárias, causando assoreamento dos cursos e corpos d'água, como se demonstra no Quadro 6.2, que retrata o cruzamento dos dados das fichas de campo, evidenciando-se a origem do processo erosivo (ponto), e o destino final (os cursos d'água) que foram de algum modo comprometidos com o aporte de sedimentos (assoreamento).

Pontos	Corpos d'água assoreados / Unidades de análise		
	Talude de aterro	Talude de corte	Bota-fora
01			
02			
03			
04	Córrego Carvalho		
05		Córrego Carvalho	
06	Córrego Carvalho		
07	Córrego Carvalho		
08	Córrego Carvalho		
09	Córrego Carvalho		
10		Córrego Carvalho	
11	Córrego Carvalho		
12	Córrego Carvalho		
13		Ribeirão Maratá	
14			
15			
16	Ribeirão Areias		
17		Ribeirão Areias	
18	Ribeirão Areias		
19		Ribeirão Taquaral	
20	Ribeirão Taquaral		Ribeirão Taquaral
21		Ribeirão Taquaral	
22	Ribeirão Monjolo		Ribeirão Monjolo
23	Ribeirão Monjolo		Ribeirão Monjolo
24	Ribeirão Monjolo		
25	Córrego Limeira		Córrego Limeira
26		Córrego Capão-do-Chico	
27	Córrego Capão-do-Chico		Córrego Capão-do-Chico
28		Córrego Capão-do-Chico	

Quadro 6.2– Origem do assoreamento dos cursos d'água listados.

29	Córrego Capão-do-Chico		Córrego Capão-do-Chico
30	Córrego Capão-do-Chico		Córrego Capão-do-Chico
31		Córrego Capão-do-Chico	
32	Córrego Capão-do-Chico		Córrego Capão-do-Chico
33	Córrego Capão-do-Chico		
34		Córrego Capão-do-Chico	
35	Córrego Barreiro		Córrego Barreiro
36		Córrego Barreiro	
37	Córrego Barreiro		Córrego Barreiro
38	Córrego Barreiro		Córrego Barreiro
39			
40	Córrego Barreiro		Córrego Barreiro
41	Córrego Barreiro		Córrego Barreiro
42	Rio do Peixe		Rio do Peixe
43	Rio do Peixe		Rio do Peixe
44			Rio do Peixe
45			Rio do Peixe

Quadro 6.2– Origem do assoreamento dos cursos d'água listados. (cont.).

6.1.1 Síntese dos Processos por Unidade de Análise

Apresenta-se a seguir, Figura 6.1 um histograma relativo à distribuição dos processos do meio físico por unidades de análise (talude de corte, talude de aterro, empréstimos laterais e bota-fora) em porcentagem.

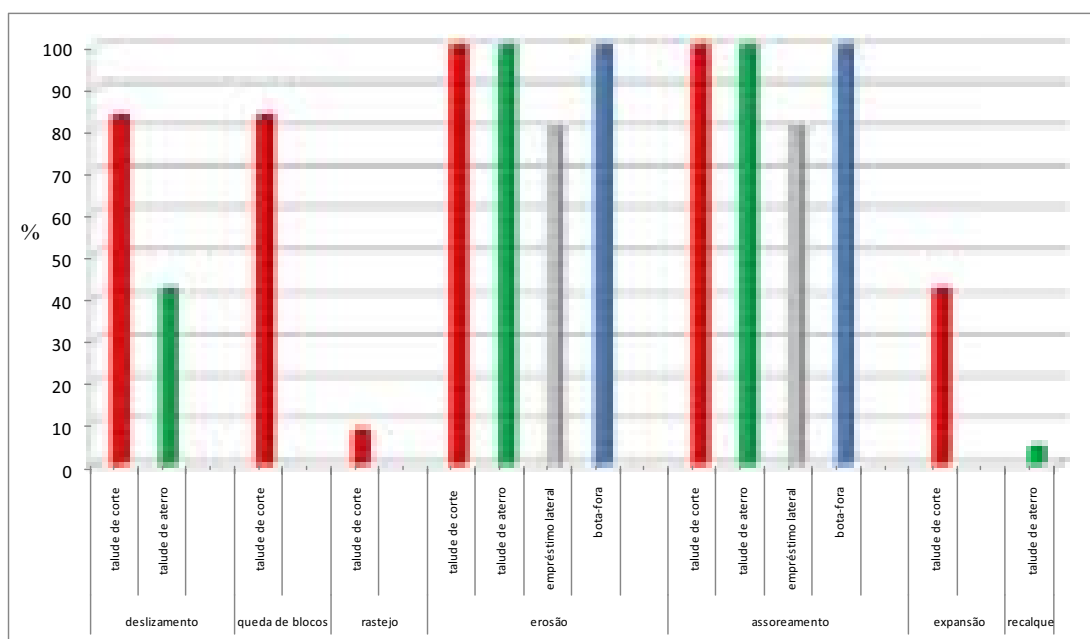


Figura 6.1 – Histograma síntese dos processos do meio físico por unidade de análise

Sobre os deslizamentos, catalogados por unidades de análise, constatou-se que o corpo de aterro apresenta 42,3% de processos enquanto que os taludes de corte apresentaram 83% de processos de deslizamentos (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Deslizamentos em taludes de corte e aterro.

O processo de queda de blocos ocorreu em 80% dos taludes de corte, enquanto o processo de rastejo foi observado em apenas um talude de corte, em que a face interna da calha triangular e empurrada para pelo talude de corte (Figura 6.3).



Figura 6.3 – Processo de queda de blocos, e processo de rastejo em talude de corte

Quanto à erosão, foram catalogados por objeto de análise no talude de corte, talude de aterro, e bota-fora 100% de ocorrências, denotando uma grande preocupação quanto à segurança do corpo estradal. Em maior proporção ocorreram erosões em sulco e ravinas - em 38 pontos

cada, depois em 16 pontos ocorreram erosões laminares e em 2 pontos ocorreram voçorocas, sendo uma de grande proporção no ponto 33, Figura 6.4 abaixo.

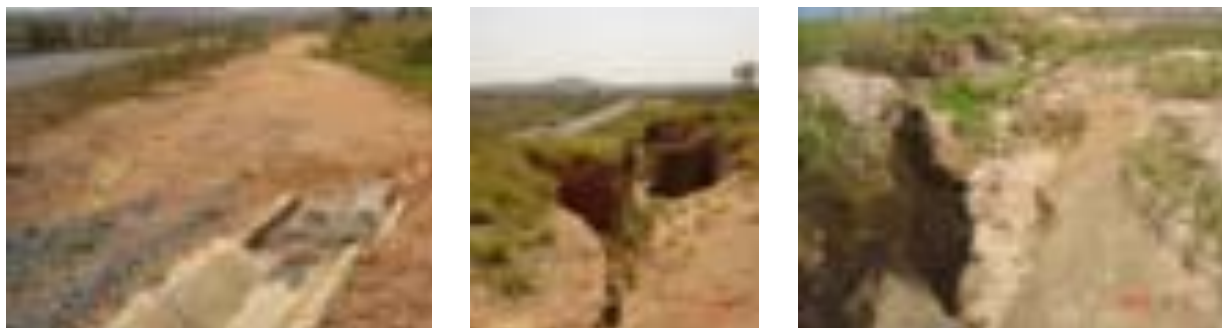


Figura 6.4 – Voçoroca ameaçando a pista de rolamento, provocada por dissipação de calha, ponto 33.

Quanto aos assoreamentos, cumpre observar, que ocorreu em 100% dos taludes de cortes e aterros observados, bem como nos bota-fora, a Figura 6.5, demonstra a evolução do processo de assoreamento provocado pelo bota-fora à montante de uma área de dessedentação animal em propriedade lindeira, após um evento chuvoso num lapso temporal de 2 meses no ano de 2005. Hoje, a área de dessedentação encontra-se inativa pelo assoreamento provocado.



Figura 6.5 – Assoreamento provocado por bota-fora em área de dessedentação.

Quanto ao processo denominado expansão, este ocorreu na forma de empastilhamento apenas em taludes de corte, representando 41,6% de ocorrências, conforme (Figura 6.6).



Figura 6.6 – Processo de empastilhamento em talude de corte.

O processo denominado de recalque foi observado apenas em 01 dos taludes de aterro, ensejando a reconstrução de todo o segmento, desde a drenagem profunda, obra corrente, aterro, pavimentação, drenagem superficial e sinalização, Figura 6.7.



Figura 6.7 – Recalque em talude de aterro.

Por meio da ficha de levantamento do meio físico, foram observados processos do meio físico decorrentes de instabilidade em 12 taludes de corte, sendo 100% do lado esquerdo dos taludes e apenas 16% dos cortes ocorreram processos do meio físico no lado direito do talude.

Tendo por base as informações descritas na caracterização da área em que se insere a rodovia GO-309, pode-se observar que todos os pontos observados encontram-se conforme reportados no mapa Geomorfológico, em Grupo de Estrutura Dobrada - Hogbacks com dissecação muito forte, o “enrugamento”, ou dobras do relevo tipo Anticlinal com os flancos abrindo-se para baixo, e o eixo da dobra em cima, onde as ondulações são convexas para o céu, e as camadas com mergulhos $> 30^\circ$, podendo ser observado no ponto 36 da ficha 15 (Figura 6.8).



Figura 6.8 – Detalhes do processo de dobramento.

Observa-se deslizamentos ao longo das xistosidades, os processos ocorrem, atuando em conjunto ao plano de falhamento/fraturamento, com litologias variando de clorita xisto e granitos do Grupo Araxá, conforme detalhes demonstrados na Figura 6.9, e Figura 6.10.



Figura 6.9 - Detalhes dos processos de deslizamentos ao longo das xistosidades, foto 2005.

.



Figura 6.10 – Detalhes dos processos de deslizamentos ao longo das xistosidades e dos planos de falhamento/fraturamento, foto 2005.

Observam-se no segmento pesquisado três classes de solos: Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Sendo o Cambissolo o de maior prevalência na área, (conforme Mapas de caracterização da área), onde ocorre a maioria dos processos do meio físico. A ocorrência e variabilidade dessas classes de solos apresentam uma ligação direta com as formas de relevo. De maneira geral, nas áreas de relevo com maiores declividades, predominam solos mais rasos e incipientes como os Cambissolos, que são solos minerais, pouco profundos, apresentando horizonte B na maioria das vezes com baixo grau de desenvolvimento, fato este evidenciado pela ocorrência de minerais facilmente intemperizáveis e fragmentos da rocha matriz. Desenvolve-se em relevo desde suave ondulado a fortemente ondulado. O alto teor de silte e a pouca profundidade fazem com que estes solos tenham permeabilidade muito baixa, derivando daí sua alta suscetibilidade aos processos erosivos.

6.1.2 Vulnerabilidades Geradas pela Ocorrência por Unidade de Análise

Outra análise que se propicia desta síntese das fichas de levantamento de campo é quanto às vulnerabilidades geradas pelas ocorrências de processos do meio físico, nas respectivas unidades de análise, que possam se constituir em condição de perigo potencial ou não, em condições de causar transtornos, destruição ou que venha impactar de alguma forma a rodovia, a faixa de domínio e as propriedades lindeiras. Causando de alguma forma, danos ou perdas à economia, as propriedades, e ao tráfego usuário.

Foram considerados a conjugação de certos parâmetros de análise como as condicionantes naturais: suscetibilidade dos terrenos à ocorrência de eventos; as intervenções antrópicas: execução de cortes, aterros, alterações da dinâmica superficial; e os diversos processos do meio físico apresentados.

Desta forma, apresenta-se no Quadro 6.3, a vulnerabilidade à ocorrência de danos ou perdas por unidade de análise verificada nos pontos de campo. Pode-se listar uma série de perigos proporcionados pelos processos do meio físico com potencial de causar consequências como transtornos ou danos:

- recalques e deslizamentos em taludes de aterro, falta de valetas drenantes no “pé” do talude para captação das águas pluviais que escorrem à montante provocando erosão, propiciando sua instabilização;
- deslocamentos, deslizamentos e queda de blocos em taludes de cortes;
- assoreamentos provocados principalmente por bota-foras inconsolidados, que venham causar limitações ou interrupções ao tráfego usuário e possibilidade da ocorrência de acidentes com danos materiais e pessoais, assoreamento de drenagens naturais e perdas de áreas agrícolas, etc.

	Vulnerabilidade à ocorrência de danos ou perdas/Unidade de análise	Pontos de campo	Total
1	Talude de corte	05,14,15,17,19,21,26,28,31,34,36,39	12
	Em relação à rodovia	05,14,15,17,19,21,26,28,31,34,36,39	12
	Em relação à faixa de domínio	05,14,15,17,19,21,26,28,31,34,36,39	11
	Em relação à região lindeira		00
2	Talude de aterro	04,06,07,08,09,11,12,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43,45,46,48	29
	Em relação à rodovia	04,06,07,08,09,11,12,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43,45,46,48	29
	Em relação à faixa de domínio	04,06,07,08,09,11,12,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43,45,46,48	29
	Em relação à região lindeira	04,06,07,08,09,11,12,16,18,20,22,23,24,25,27,29,30,32,33,35,37,38,40,41,42,43,45,46,48	29

Quadro 6.3 – Risco gerado pela ocorrência em sua respectiva unidade de análise.

3	Empréstimo lateral	01,02,03,06,10	05
	Em relação à rodovia	01,03	02
	Em relação à faixa de domínio	03,10	02
	Em relação à região lindeira	03,10	02
4	Bota-fora	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23
	Em relação à rodovia	13	01
	Em relação à faixa de domínio	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23
	Em relação à região lindeira	06,07,09,11,12,13,20,22,23,25,27,29,30,32,35,37,38,40,41,42,43,44,45	23

Quadro 6.3 – Risco gerado pela ocorrência em sua respectiva unidade de análise. (cont.)

Como se depreende do Quadro 6.2, acima, as vulnerabilidades geradas pelas ocorrências na unidade de análise talude de corte, em que foram pesquisados 12 pontos, sendo observado “risco gerado pela ocorrência”: em relação à rodovia em 100% dos pontos; e em relação à faixa de domínio em 91% dos pontos. Não sendo observados nesta unidade de análise, riscos em relação às regiões lindeiras.

Na unidade de análise talude de aterro, foram pesquisados 29 pontos, sendo observada vulnerabilidade gerada pela ocorrência: em 100% dos pontos em relação à rodovia, em relação à faixa de domínio e em relação às propriedades lindeiras, ainda que o mesmo se apresente de forma potencial.

Na unidade de análise empréstimo lateral, foram pesquisados 05 pontos, sendo observada vulnerabilidade gerada pela ocorrência: em relação à rodovia em 20% dos pontos; em relação à faixa de domínio e em relação à região lindeira em 20% dos pontos.

Na unidade de análise bota-fora, foram pesquisados 23 pontos, sendo observada vulnerabilidade gerada pela ocorrência em: relação à rodovia em apenas 4% dos pontos; e 100% em relação à faixa de domínio e em relação à região lindeira.

Induzindo a uma maior reflexão, principalmente quanto à vulnerabilidade gerada pela exposição inadequada de bota-foras com relação principalmente a faixa de domínio e a propriedades lindeiras, provocando invariavelmente o assoreamento de drenagens naturais, constituindo-se em grave crime ambiental, conforme dispõe a Lei Federal nº 9.605/98 (Lei dos Crimes Ambientais), Figura 6.11.



Figura 6.11– Disposição inadequada de bota-fora, causando assoreamento de drenagem natural, foto 2005.

6.1.3 Recuperação do Segmento: Deseconomias

Como já enfatizado no capítulo “Metodologia”, as obras de construção deste segmento da rodovia GO-309, foram iniciadas em 18/11/2002, paralisadas em 01/12/2004, sendo executados neste período 37,00 km de pavimentação e iniciado a terraplenagem de 21,00 km, sendo gastos na ordem de 16 (dezesesseis) milhões de reais. Após rescisão contratual, por desistência da empresa executora, foi realizado novo procedimento licitatório, sendo os serviços divididos em 2 (dois) lotes:

- estaca 0 / estaca 1850, com 37,00 km de extensão para a execução dos serviços de recuperação;
- estaca 1850 / estaca 2900, com extensão de 21,00 km de extensão, foram realizados os serviços de terraplenagem e pavimentação asfáltica. Sendo as obras dos dois lotes reiniciadas em 15/05/2007 e concluídas em 30/06/2009.

A escolha deste segmento rodoviário, como estudo de caso, possibilitou a quantificação dos custos de recuperação das degradações observadas frente aos processos do meio físico, que ensejaram reconstruções e recuperação de grande parte do segmento rodoviário.

Nos 37,00 km em que foram executados os serviços de recuperação, foi possível contabilizar a dimensão das deseconomias envolvidas com a ocorrência dos diversos processos do meio físico desencadeados.

Foram exigidas despesas com obras corretivas da ordem de 4 (quatro) milhões de reais. Inicialmente foram previstas em orçamento o valor total da recuperação deste segmento no valor de 2 (dois) milhões de reais tendo sido necessário um aditivo de aproximadamente 2 (dois) milhões de reais (aditivo de aproximadamente 100%) para a total recuperação do segmento. No Anexo C encontram-se catalogados os documentos e medições relativos ao segmento rodoviário, de todo período construtivo. O valor total da recuperação, corresponde a 26,2% do valor total gasto para execução dos 37 km pavimentados, mais uma parcela de terraplenagem e obras de arte correntes, em 21,00 km. As degradações observadas ocasionaram interrupções no segmento rodoviário, e perdas significativas à economia local e ao estado.

Ressalta-se que até hoje, ainda que de forma isolada, são necessárias correções e até reconstruções no segmento recuperado em 2007, como verificado pela Figura 6.12, onde se verifica o abatimento do aterro, e Figura 6.13, onde se verifica reconstrução do segmento após erosão no acostamento, com destruição do aterro e do sistema de drenagem, pondo em risco à segurança do tráfego usuário da rodovia. A situação atual do segmento encontra-se retratada conforme as fichas de levantamento de campo realizadas no ano de 2010, contidas no Apêndice D.



Figura 6.12 – Abatimento de aterro km 12 – lado esquerdo, foto 2010.



Figura 6.13 – Reconstrução de segmento – km 34- lado esquerdo (foto 1 – março, foto 2 – abril/2010).

6.2 RESULTADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO: RODOVIA GO- 236

Como descrito no capítulo referente à metodologia, foram realizados dois ensaios geofísicos, com a utilização de métodos geoeletricos, na rodovia GO-236, utilizando o método da Eletorresistividade e o Radar de Penetração de Solo, sendo seus resultados descritos a seguir.

6.2.1 Resultados do Ensaio Usando o Método da Eletorressistividade.

No levantamento realizado na GO-286, na altura do quilometro 38, foi realizado um caminhamento elétrico para localização de cavidade e estruturas cársticas em profundidade.

Foram realizados 4 perfis paralelos de 87 metros de comprimento em trecho da rodovia onde ocorre uma boca de cavidade de aproximadamente 2 metros de um lado da estrada e uma surgência no outro. Nesse trecho foi construído um aterro para pavimentação da estrada e cota do asfalto varia de 718 a 722 metros.

A boca da cavidade está próxima a cota 695 m e a surgência na cota 686. As cavidades e algumas estruturas cársticas (condutos, aberturas por dissolução) possuem respostas características, principalmente na presença de água. Os espaços vazios das rochas carbonáticas, quando secos, elevam consideravelmente a resistividade elétrica aparente. Quando ocorre a percolação de água através de condutos e fissuras da rocha há um

significativo aumento da condutividade elétrica. Ou seja, além da existência de cavidades, a presença da água determina a natureza da anomalia.

Nas 4 seções obtidas, as seções LN0 (Figura 6.14) e LN1 (Figura 6.15) estão do lado da pista onde ocorre a boca da cavidade (lado esquerdo no sentido crescente da rodovia), enquanto que as seções LN2 (Figura 6.16) e LN3 (Figura 6.17) estão do lado da surgência (lado direito da rodovia).

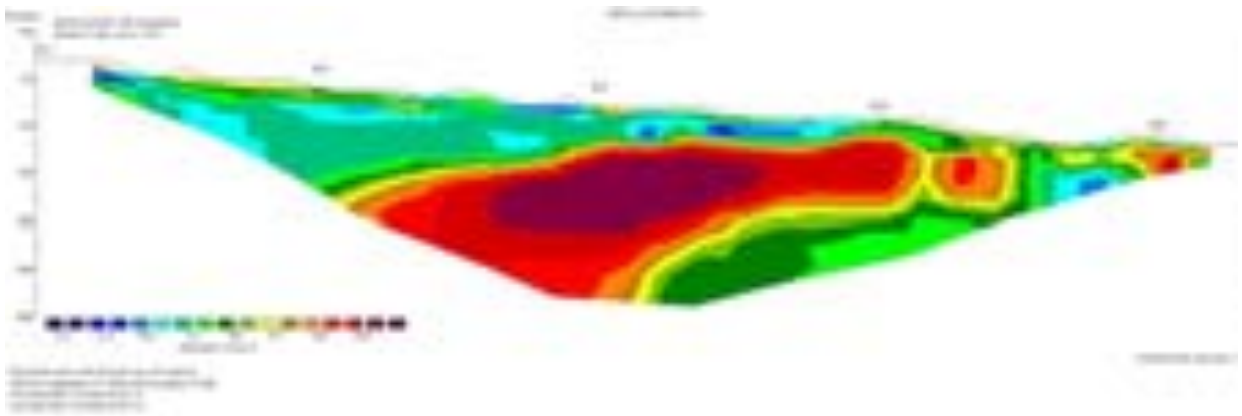


Figura 6.14 – Perfil LNO.

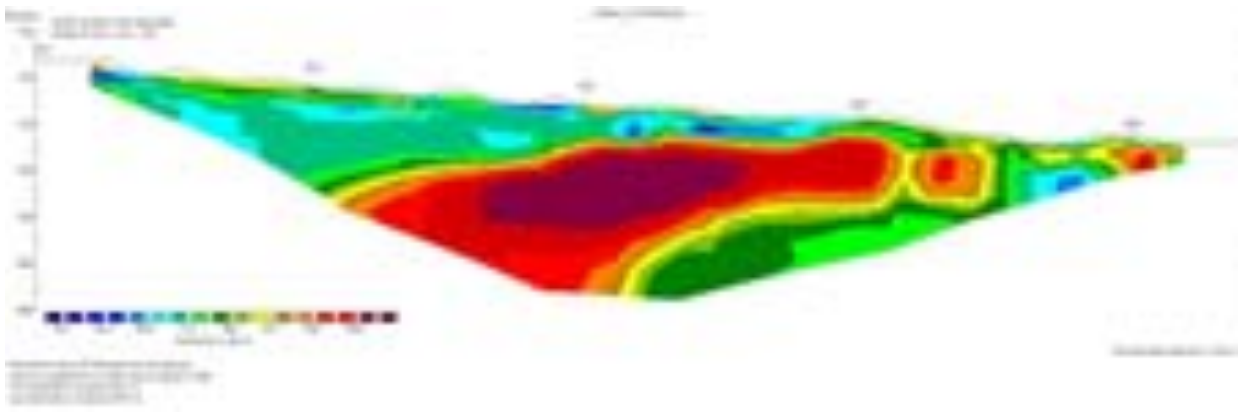


Figura 6.15 – Perfil LN1

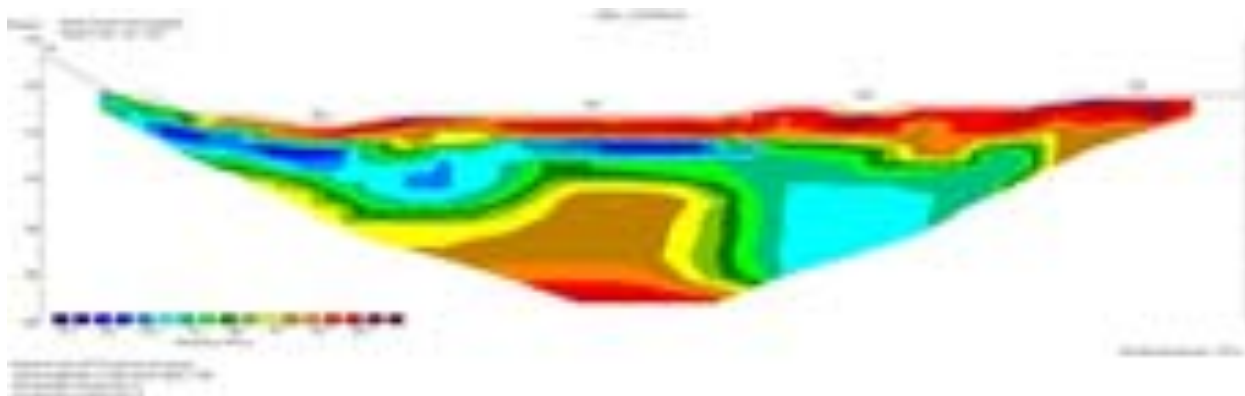


Figura 6.16 – Perfil LN2.

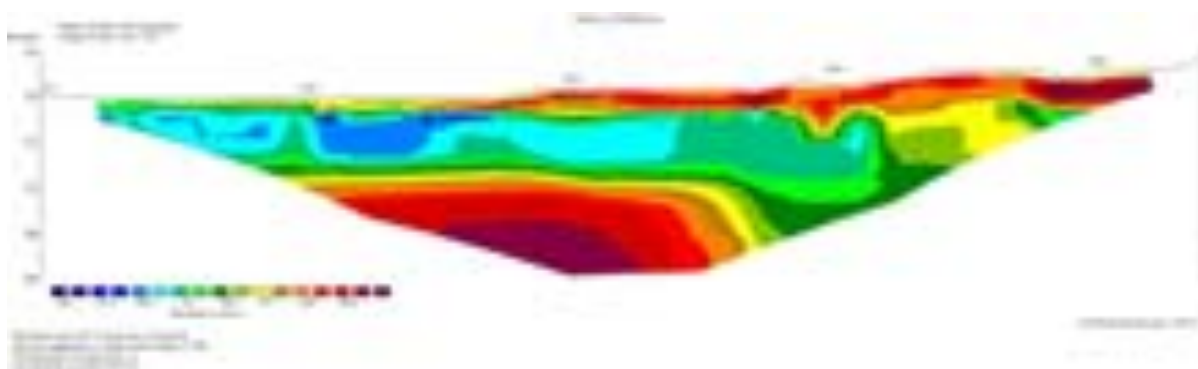


Figura 6.17 – Perfil LN3.

Em todas as seções observa-se uma certa estruturação, uma camada superficial de aproximadamente 3,0 m, bastante resistiva (amarelo/marrom/vermelho), logo abaixo uma unidade condutiva (azul/verde) sobrepondo uma outra unidade resistiva.

A unidade resistiva superficial pode ser interpretada como solo/aterro seco. A unidade condutiva logo abaixo indica um solo que preserva umidade.

A partir da análise das seções de eletroresistividade pode-se definir o limite superior da segunda unidade resistiva em torno da cota 710 m. Essa segunda unidade resistiva é interpretada, a partir de observações no campo, como o topo da rocha carbonática. A presença de regiões mais condutivas abaixo da cota 710 m é provocada pela percolação de água através de estrutura cársticas.

No local em que foi realizado o ensaio, denomina-se “Ponte de Terra”, devido à existência de uma cavidade com a surgência de um pequeno córrego. Sobre essa cavidade, por ocasião da pavimentação deste segmento, foi aproveitada a estrada em leito natural, tendo sido acrescido neste aterro 4,0 m para a concordância do perfil da rodovia.

Não foi possível identificar cavidades vazias nas seções de eletrorresistividade. Mas a presença de regiões condutivas cortando a unidade resistiva associada à rocha carbonática é um forte indicativo de presença de estruturas cársticas, como condutos e fissuras por dissolução que facilitam a percolação de água, acelerando o processo de dissolução, da rocha. O que se depreende, do resultado é que pelo acréscimo de peso relativo à construção do aterro e ao tráfego, notadamente pelo transporte de carretas com calcário, deve ter ocorrido o abatimento da cavidade que existia (“Ponte de Terra”), com o preenchimento e a acomodação da estrutura do aterro para esta nova configuração.

Da observação da Figura 6.18, pode-se inferir que como a surgência tem uma alta vazão, é possível que surjam novas cavidades por dissolução. A alta vazão indica a necessidade de investigações de possíveis cavidades nas proximidades.



Figura 6.18 – Detalhe da grande vazão propiciada pela surgência

6.2.2 Resultado do Ensaio Usando o Método do GPR

No levantamento realizado na GO-286, na altura do km 28, o objetivo foi verificar a aplicabilidade de GPR na localização de estruturas (no caso artificial), um bueiro duplo de concreto com 1 m de diâmetro, bem como a situação da estrutura das camadas do pavimento.

Quanto à estrutura do bueiro, encontra-se posicionado a aproximadamente 3 metros do leito da rodovia, conforme Figura 6.19, onde se demonstra a situação do aterro e estado de degradação do pavimento da rodovia neste ponto.



Figura 6.19 – Vista do aterro a ser investigado, foto 2010.

As seções de GPR, realizadas nos acostamento da rodovia (lado direito e esquerdo), tiveram 40 metros de comprimento e foram denominadas: - LN1 (coordenadas UTM/SAD69, início: 365.110/8.404.205 e final: 365.152/8.404.209); - LN2 (coordenadas UTM/SAD69, início: 365.111/8 404.197 e final: 365.149/8.404.201). A análise dos resultados evidenciou a presença de feições nas duas seções que podem ser interpretados como a estrutura composta pelas manilhas, sendo que o bueiro duplo encontra-se com certa escondidade em relação à rodovia, e localiza-se aproximadamente a 3,0 metros de profundidade. Na seção LN 1, essa feição aparece à 2,90 metros de profundidade e na seção LN encontra-se à 3,10 m de profundidade, conforme Figura 6.20.

Entre a posição 5 m e 25 m, observou-se no perfil do lado esquerdo (LN1) grande degradação do pavimento até uma profundidade de 3,0 m, e no perfil do lado direito (LN2) a feição de degradação do pavimento apresenta-se principalmente entre a posição de 4 m e 15 m, depois entre 23 m a 30 m, indo o estado de degradação das camadas do aterro até 3,0 m de profundidade no primeiro caso e até 4,0 m no segundo.

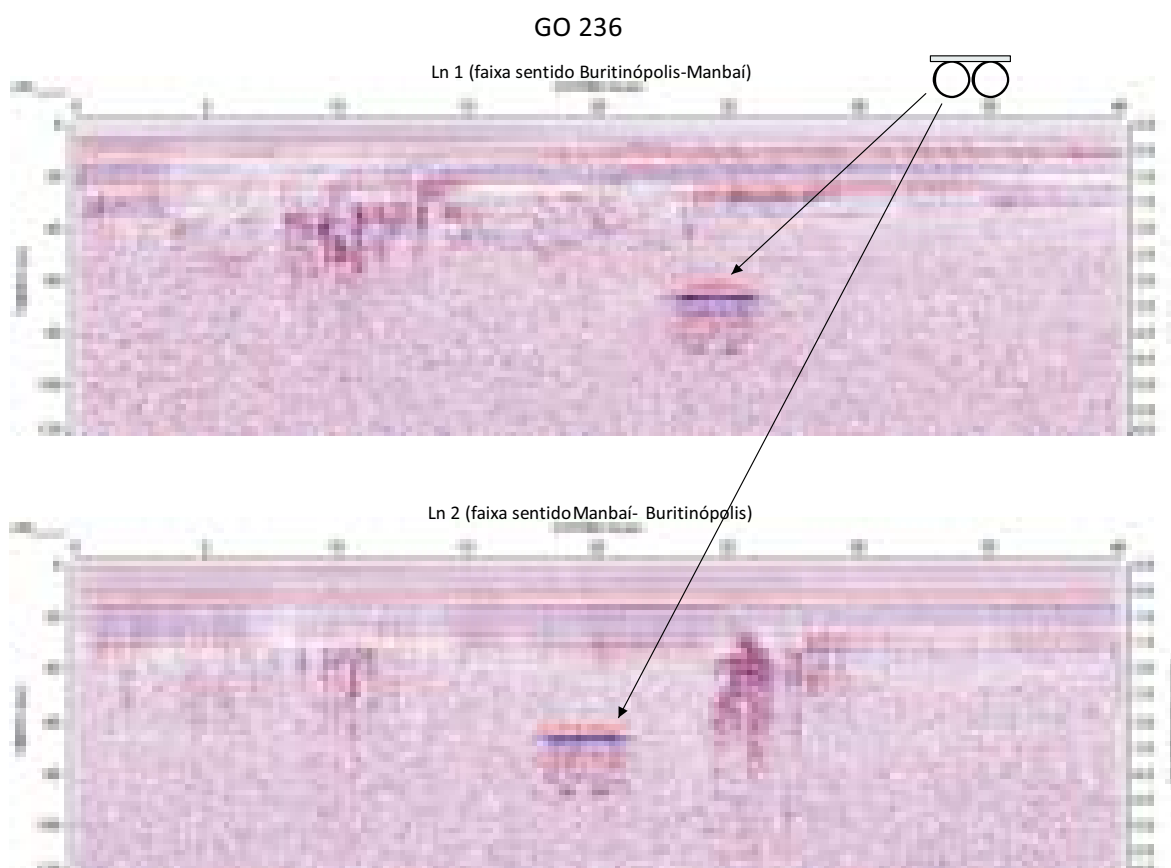


Figura 6.20 – Resultado da perfilagem do radar.

E esta feição já pode ser notada por um afundamento considerável na pista de rolamento, tendo sido realizado diversos recapeamentos na área, causando grande desconforto a quem transita neste segmento devido ao grande impacto originado pela depressão. Observa-se um significativo “bombeamento de finos”, com a subida dos finos do solo de fundação até a superfície superior da capa asfáltica, pelo trincamento da camada de base e sub-base. Geralmente o mecanismo de deteriorização das camadas superiores do pavimento, sub-base e base depende das deformações que ocorrem nas camadas de fundação do pavimento, sobretudo das deformações que ocorrem nas camadas inferiores constituídas de material natural (argila).

As camadas do pavimento sofrem ação de tensões decorrentes da passagem e carga dos veículos, originando deformações elásticas (deflexões) e permanentes (recalques). A estrutura do pavimento é constituída de revestimento em Tratamento Superficial Duplo (TSD), base e

sub-base com 17,00 cm de espessura de material granular, e demais camadas com espessura de 20,00 cm até a profundidade de 2,50 m constituídas de argila.

6.3 ANÁLISE DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EMPREGADOS

Em estudos voltados para engenharia e geotecnia é necessária a execução de levantamentos com objetivos de localização de dutos, fiação e cavidades em subsuperfície, assim como determinação do topo rochoso e a estruturação do subsolo etc. Essas informações são essenciais para o desenvolvimento de projetos de rodovias, vias urbanas, sistemas de distribuição de água, energia elétrica e telefonia, obras de saneamento, usinas hidroelétricas, barragens e construções em geral.

A utilização de métodos geoeletricos em obras de estradas é de sobremaneira importante, principalmente na fase de reconhecimento da área de interesse. Objetivando a definição de grandes feições, assim como contatos litológicos, as zonas de fraturas, espessura da camada de solo e profundidade do topo e base (algumas das vezes) do corpo rochoso.

Isso graças à integração e análise dos dados geofísicos, com informações obtidas pelos mapeamentos geológicos convencionais e de sondagens mecânicas, permitindo melhor embasamento na tomada de decisões, mitigando possíveis riscos futuros. Os dados geofísicos, quando coletados de maneira correta, são bastante precisos. O sucesso em uma interpretação dos dados dependerá das informações geológicas anteriores e colhidas na ocasião do trabalho, e principalmente, da experiência dos profissionais, responsáveis pela interpretação.

Assim, é possível verificar que os métodos podem apresentar as mesmas aplicações, e em muitos casos são inclusive aplicados de forma integrada, visando cobrir as diferentes características físicas do meio. Ainda que os métodos apresentem diferentes técnicas de arranjo de campo, porém as informações obtidas por um mesmo método devem ser convergentes, ainda que sejam distintas.

Demonstra-se as vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de subsuperfície:

- rapidez na avaliação de grandes áreas, com menor custo;

- execução de perfis contínuos;
- identificação com maior precisão das variações laterais dos terrenos;
- precisão e obtenção de dados contínuos;
- investigação não destrutiva;
- múltiplas aplicações.

Demonstra-se que os métodos geofísicos podem se constituir em uma ferramenta eficaz para estudo de processos relacionados às áreas passíveis de conter riscos relacionados à construção das estradas. São métodos não- invasivos, sem quaisquer riscos para o meio ambiente e para construção em si, podendo ainda, ser responsável por aferições de qualidade destas construções, e na descoberta de qualquer outro tipo de desconformidade estruturais próximas à superfície. Dessa forma, o esforço despendido nas avaliações destrutivas poderá ser significativamente menor, pois os dados dos ensaios não-destrutivos importarão maior acurácia e confiabilidade sobre a estrutura dos pavimentos. Sendo possível mostrar neste ensaio sua eficiência, rapidez e boa relação custo benefício, propiciando uma investigação qualitativa e quantitativa de pavimentos rodoviários, com a facilidade de execução de uma perfilagem contínua, atuando como complemento e/ou balizador de outras técnicas. Por fim, a utilização de métodos geofísicos mostra-se compatível com a realidade dos órgãos rodoviários brasileiros. Devido às múltiplas feições ou especificidades em que se localizam os objetos de análise, sejam elas naturais ou artificiais, não existe uma receita que indique quais técnicas geofísicas devem ser utilizadas para um determinado problema. Em geral, a aplicação dos métodos geofísicos se dá de maneira integrada quando utilizado para a gestão de áreas a serem pesquisadas. Isto ocorre, pois a integração de dois ou mais métodos permite investigar o solo em diferentes profundidades, bem como em suas diferentes características físicas, obtendo assim informações de naturezas distintas com o mesmo objetivo. Por ser uma aplicação recente em obras viárias, os ensaios geofísicos apresentam ainda, grande espaço para análise de casos de aplicações práticas, englobando diferentes contextos geológicos, existindo grande espaço para trabalhos futuros e grande potencial para seu desenvolvimento, sendo que para a seleção do método geofísico a ser empregado o ideal é ter conhecimento da

geologia local. Apresenta-se no Quadro 6.4 – As principais características e propriedades dos métodos geofísicos utilizados.

	Geo-radar (Ground Penetrating Radar – GPR)	Eletorresistividade (ER)
propriedade física	permissividade dielétrica	resistividade elétrica
princípio	onda eletromagnética refratada e refletida	injeção de corrente no solo
aplicação	caracterização geológica e hidrogeológica, localização de resíduos enterrados, localização de dutos e galerias subterrâneas, cubagem em aterros e lixões e detecção de contaminação orgânica ou inorgânica	caracterização hidrogeológica, determinação dos estratos geológicos, localização de resíduos enterrados e mapeamento de plumas de contaminantes inorgânicos
Profundidade de investigação	até 30 m depende de: antenas e geologia local.	100 m ou mais, depende de: abertura de eletrodos, corrente injetada e geologia local.
Suscetibilidade as interferências	rede elétrica; objetos metálicos próximos.	mau contato dos eletrodos com solo; outras correntes elétricas no solo.
Características mais destacadas	método de maior definição; detecção de qualquer tipo de material enterrado.	determinação de resistividade em profundidade; grande profundidade de investigação.

Quadro 6.4 – Características e propriedades dos métodos geofísicos utilizados.

6.4 MEDIDAS PRECONIZADAS

A implantação das obras viárias interferem no ambiente de sua inserção, gerando diversas modificações, tornando-se assim, um agente acelerador dos processos do meio físico. Quando a superfície é submetida às operações de terraplenagem as condições iniciais são modificadas de forma brusca, a dinâmica superficial é alterada, promovendo-se alterações no relevo, nas tensões iniciais e nos processos de escoamento e infiltração das águas.

A implantação da rede viária pode causar diversos impactos negativos ou adversos, com a descaracterização e degradação da paisagem natural das áreas circunvizinhas, podendo comprometer a qualidade ambiental da biota; deflagrando ou acelerando processos erosivos, tanto nas áreas de empréstimos, quanto nos bota-foras; provocando instabilidade dos taludes de cortes e aterros e conseqüente assoreamento e poluição dos corpos d'água adjacentes, áreas

de preservação permanente, ou gerar perdas de pastagens e áreas agricultáveis em propriedades lindeiras, de difícil e onerosa mitigação.

Como já descrito, as principais alterações decorrentes das obras viárias, que envolvem o meio físico, têm início pela supressão da vegetação, seguidas pela exploração de empréstimos, execução de cortes e o bota-fora incorporados ou não aos aterros, propõe-se, por necessário uma melhor gestão destas áreas de apoio (empréstimos e bota-foras), para que não se transformem em setores alterados e degradados (REIS, 2004).

A partir do exposto é possível concluir que os projetos rodoviários devem ser revistos levando em conta principalmente o que se segue:

Observou-se a uma homogeneização das soluções quanto a inclinação dos taludes, tanto no talude de corte (H:1;V:1), quanto no talude de aterro (H:1;V:1,5) independentemente da topografia, geologia e tipos de solos.

Sendo imperiosa a observação dos condicionantes geológicos, geotécnicos (fatores condicionantes e desencadeantes) na execução dos taludes de cortes, como fraturas; falhas; foliações; bandamento; descontinuidades solo-rocha; forma da encosta depósitos (talús-colúvio), bem como os parâmetros de resistência como ângulo de atrito interno, coesão, variação de poropressões que podem comprometer a estabilidade.

Os principais problemas verificados em taludes rodoviários, dizem respeito aos processos erosivos verificados nos taludes de corte ou aterro (laminares ou por sulcos, dependendo do escoamento, superficial ou concentrado). Observa-se também erosão diferenciada em talude de corte constituídos por materiais de diferentes suscetibilidades aos processos erosivos, ocasionando descalçamento das partes superiores do talude (constituído de materiais mais resistentes), devido aos processos erosivos que ocorrem com maior intensidade nas porções inferiores do talude. Cumpre notar também a ocorrência da desagregação superficial, ou instabilidade superficial, verificado pela ação cíclica de secagem e umedecimento dos solos (empastilhamento).

Outro problema, constatado neste trabalho, e amplamente verificado em taludes rodoviários, é do escorregamento, sendo função do tipo de solo ou rocha, da geometria do talude e das condições de fluxo de água, ocorrência de erosão retrogressiva (*piping*). Em taludes de cortes,

os escorregamentos são verificados devidos a inclinação, causados na maioria das vezes pela falta de compatibilidade entre a inclinação dos taludes com as resistências dos solos constituintes. Ocorrem também devido a descontinuidades de matérias, principalmente de contato solo/rocha; devido à saturação do maciço, pela elevação do lençol freático ou pela saturação do solo; devido à evolução dos processos erosivos instalados que alteram a forma do talude (formando taludes negativos).

Quanto aos taludes de aterros, os escorregamentos são devidos principalmente a problemas na fundação, geralmente observados em aterros sobre solos com baixa capacidade de suporte (solos mole); devido a problemas no corpo do aterro, como uso de materiais de baixa capacidade de suporte; sistema de drenagem inadequada ou sua falta; má compactação e geometria do talude; transposição de drenagens naturais, ocorrem com a obstrução das obras de arte à montante ou jusante; e principalmente devido à problemas com o sistema de drenagem, provocando a infiltração nos taludes, ocasionando saturação e erosão, deflagrando os escorregamentos.

Devendo-se ainda, merecer atenção quanto às bancadas e cristas dos cortes que devem ser revestidas e impermeabilizadas, para que se evite a infiltração das águas por esses locais, principalmente em rochas metamórficas que possuem baixa resistência ao longo dos planos de xistosidade podendo comprometer a estabilidade, devendo-se executar também drenagem no pé dos taludes.

Além das estruturas de cortes e aterros, devem ser revistos principalmente as estruturas de descarte como os bota-foras, que não podem ser localizadas próximas aos talvegues ou drenagens naturais, devem possuir sistema de drenagem, proceder sua compactação, reconformação e revegetação, não permitir o deságüe das estruturas de dissipação em bota-foras.

A maioria dos processos erosivos relacionados às rodovias está associada aos equipamentos de drenagem. As estruturas de drenagem não devem apenas transferir o fluxo hídrico, deve-se preocupar também com a trajetória deste fluxo até o nível de base percorrendo diferentes tipos de solo; diferentes capacidades de suporte – erodibilidade, tendo como conseqüências processos erosivos e assoreamento de drenagens naturais. Problemas no sistema de drenagem, como inadequação ou até mesmo a falta de manutenção sistemática dos mesmos, costumam

provocar infiltração nos taludes, ocasionando saturação e erosão, deflagrando os escorregamentos,

É necessário então, projetar dissipadores de energia; bacias de amortecimento e infiltração, como forma de reduzir e dissipar a energia do fluxo hídrico em terrenos naturais, ao longo da faixa de domínio, ladeando o corpo estradal, impedindo-se desta forma, o aparecimento de processos erosivos que podem causar o rompimento do corpo estradal.

Outro ponto que chama bastante atenção, no que tange ainda aos aspectos construtivos, é quanto o descompasso das etapas de serviço. No segmento, objeto de estudo, observou-se que as diversas etapas de serviços como terraplenagem, pavimentação, drenagem superficial e obras complementares, não foram realizadas de forma contínua.

As obras permaneceram paralisadas por longos períodos de tempo, deixando-se as etapas de serviços descompassadas e inconclusas, ensejando o aparecimento de diversos processos erosivos, causadores de degradação. Percebeu-se que isto gerou grandes perdas de serviços, retrabalho, notadamente na fase de terraplenagem, e até em segmentos já com capa asfáltica, onde vários serviços necessitaram ser refeitos.

As construções viárias enquadram-se na categoria de obras lineares de grande porte que possuem por consequência características e peculiaridades próprias necessitando serem mais bem compreendidas. Primeiro, por envolverem grandes movimentações de solos: escavação, transporte e compactação, operações que se inviabilizam em períodos chuvosos, limitando-se normalmente aos meses de abril a outubro em grande parte do país. Segundo por ser uma categoria de obras cujo cronograma de execução não pode, ou não deve ser realizado de maneira fracionada. Dizer que a obra encontra-se 50% concluída, deveria ser entendido como sendo executada metade dos serviços, podendo, no entanto, ter sido executado 50% de seu cronograma financeiro. Isto embute um grande e perigoso risco de se avançar nas etapas de serviços de forma descompassada, como executar toda terraplanagem da obra, sem realizar as demais etapas de serviços como pavimentação, revestimento asfáltico e drenagem superficial por exemplo. Neste caso, com o advento do período chuvoso, grande parte dos serviços seria perdida. As execuções dos serviços feitas de forma descompassada, não sendo realizadas as etapas em conjunto, de forma seqüencial, causam invariavelmente retrabalhos pós-construtivos, implicando em degradações, risco ao usuário, prejuízos a propriedades lindeiras

e maiores gastos para o poder público, como restou comprovado pela pesquisa. Existindo, ainda, as interrupções extemporâneas de obras, patrocinadas pela alternância dos gestores públicos e/ou por planejamento inadequado, sem considerar as restrições orçamentárias, ocasionando obras paralisadas, inconclusas, sujeitas a degradações, sem utilização, acarretando retrabalho e maiores gastos pelo poder público.

Do ponto de vista dos processos do meio físico em obras viárias, se impõe a importância de fazer prognósticos e predições. Diagnosticar os processos e seus mecanismos, através do aprofundamento de técnicas de monitoramento e modelagem é fundamental para a prevenção. A obtenção e compreensão das evidências possibilitam a análise previsional dos processos, permitindo em síntese: a economia dos recursos naturais, a mensuração dos custos diretos e indiretos, da perda das oportunidades, e a internalização das externalidades geradas nos processos.

O Quadro 6.5, apresenta os problemas identificados nas diversas etapas construtivas, a relação de causalidade, e as recomendações ou medidas mitigadoras preconizadas, sendo essa análise fruto da pesquisa.

Preconizando-se de igual modo sua incorporação às Instruções de Serviços Ambientais (ISA), como a intenção de dotar os empreendimentos rodoviários de maior sustentabilidade, incorporando o “Monitoramento dos Processos do Meio Físico em Obras Viárias”, durante e após as etapas construtivas, como item obrigatório a partir do edital da obra.

Medidas preconizadas - desmatamento		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos; • assoreamento de talvegues; • degradação.	• desmatamento excessivo; • falta de remoção de destocamento e limpeza.	• Proibição de desmatamento, destocamento e limpeza dos terrenos, próximos a nascentes ou cursos d'água; • Proibição de deposição do material de desmatamento e destocamento dentro de talvegues e cursos d'água; • Restringir-se ao estritamente necessário as áreas de supressão da vegetação; • Obrigatoriedade do armazenamento do solo orgânico removido durante a operação de limpeza dos terrenos para posterior utilização na revegetação das áreas com alteração mecânica; • Armazenamento, destino e utilização do material lenhoso.

Quadro 6.5a – Medidas preconizadas para as operações de desmatamento.

Medidas preconizadas - corte		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos; • assoreamento • instabilidade; • colapso na base do talude; • escorregamento; • rupturas; • queda de blocos.	• mudanças na geometria do sistema; • taludes expostos; • erosão retrogressiva (<i>piping</i>); • inclinação excessiva; • inobservância dos fatores geológicos/geotécnicos; • falta de drenagem superficial; • necessidade de investigação fenomenológica; • deficiência e/ou economia em estudos e projetos.	• Observação dos condicionantes geológicos: fraturas; falhas; foliações; bandamento; descontinuidades solo-rocha; forma da encosta depósitos (talús-colúvio) na determinação da inclinação para estabilização dos taludes; • Necessidade de investigações fenomenológicas, projetos e estudos consistentes; • Revestimento e impermeabilização das bancadas e cristas evitando-se a infiltração de águas pluviais, principalmente em rochas metamórficas; • Os taludes devem ser protegidos evitando-se a ação erosiva das águas pluviais pelo escoamento laminar ou concentrado, bem como o ressecamento do solo exposto; • Implantar sistema de drenagem profunda e superficial; • Executar drenagem no pé dos taludes; • Executar inclinações compatíveis com as descontinuidades; • Retaludamento; • Executar obras de proteção e contenção.

Quadro 6.5b – Medidas preconizadas para as operações de corte.

Medidas preconizadas - empréstimo		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos; • proliferação de vetores (insetos); • assoreamento; • instabilidade; • escorregamento.	• instabilidade; • escorregamento; • carreamento de solos; • problemas de geometria; • sistema de drenagem inadequado ou mau conservado.	• Não permitir a execução de empréstimos próximos a nascentes ou cursos d'água; • Afastar seu bordo do corpo estradal; • Evitar a formação de “piscinões”, com a construção de caixas de empréstimos com gradiente de declividade necessário ao escoamento superficial das águas pluviais, e com sistema de drenagem próprio; • Construção de barragens permeáveis sucessivas destinadas à captação, acumulação e infiltração de águas pluviais funcionando como dissipadores de energia, evitando a instalação de corredeiras; • Retaludamento, descompactação e subsolagem dos trechos compactados, propiciando uma melhor permeabilidade do terreno; • Revegetação de toda área anteriormente desmatada, protegendo-se quanto aos processos erosivos, propiciando a integração da rodovia à paisagem envolvente.

Quadro 6.5c – Medidas preconizadas para as operações de empréstimo

Medidas preconizadas - aterro		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos; • escorregamento; • assoreamento; • instabilidade; • escorregamento; • recalques.	• taludes expostos; • inclinação excessiva; • uso de matérias de baixa capacidade de suporte, ou má compactação; • problemas de geometria; • sistema de drenagem inadequado ou mau conservado; • baixa capacidade de suporte da fundação; • obstrução ou rompimento de bueiros e galerias.	• Remoção das camadas de solo vegetal e orgânico e preparo do terreno; • Os taludes devem ser protegidos evitando-se a ação erosiva das águas pluviais, bem como o ressecamento do solo exposto; • Construção de aterro com material de boa capacidade de suporte, bem compactado e com bom sistema de drenagem; • Construção de bermas de estabilização; • Compatibilização da geometria do talude; • Implantação de sistemas de proteção junto às entradas dos bueiros; • Execução de valetas drenantes no “pé” do talude (revestidas ou não) para captação das águas pluviais que escorrem à montante provocando erosão e instabilização; • Manutenção sistemática no sistema de drenagem.

Quadro 6.5d – Medidas preconizadas para as operações de aterro.

Medidas preconizadas – bota-fora		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas.
• processos erosivos; • assoreamento de talvegues; • instabilidade; • escorregamento.	• taludes expostos; • inclinação excessiva; • dissipação de estruturas de drenagens; • má disposição, falta de conformação e compactação; • intrusão visual • carreamento de solos; • baixa capacidade de suporte da fundação; • falta de sistema de drenagem.	• Utilização de material excedente, preferencialmente, no próprio corpo estradal, no alargamento de aterros como bermas de estabilização, ou, no reaterro das cavas deixadas por ocasião da escavação das caixas de empréstimos; • As áreas de bota-fora não podem ser localizadas próximas aos talvegues ou drenagens naturais, devendo serem dispostos à jusante da rodovia em relação as drenagens naturais; • Não podem estar sujeitas a instabilidades, como escorregamentos; • Não permitir o deságüe das estruturas de dissipação em bota-foras; • Os taludes devem ser protegidos evitando-se a ação erosiva das águas pluviais pelo escoamento laminar ou concentrado, bem como o ressecamento do solo exposto; • Dotar os bota-foras de um sistema de drenagem, proceder sua compactação, reconformação e revegetação e incorporação a paisagem local.

Quadro 6.5e – Medidas preconizadas – bota-fora.

Medidas preconizadas - drenagem		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos; • escorregamento. • assoreamento; • redução de vazão; • inundações;	• entulhamento de talvegues e bueiros; • dimensionamento inadequado e/ou mal localizado; • falta de estruturas de captação/dissipação; • perda de capacidade de vazão.	• Transferir o fluxo hídrico até o nível de base; • Projetar dissipadores de energia assente em solos naturais ou compactados, com deságüe adequado, estendendo-se até o terreno natural; • Instalar dissipadores no pé das descidas d'água nos aterros, na boca de jusante dos bueiros, na saída das sarjetas de cortes e nos pontos de passagem corte, aterro; • Projetar valetas de proteção de aterro, para interceptar as águas que escorrem pela montante, impedindo que atinjam o pé do aterro; • Executar limpeza permanente dos sistemas de drenagem e talvegues; • Construir ao longo da faixa de domínio, bacias de amortecimento e infiltração, como forma de reduzir e dissipar a energia do fluxo hídrico.

Quadro 6.5f – Medidas preconizadas nas operações de drenagem.

Medidas preconizadas - etapas construtivas		
Problemas identificados	Causalidade	Medidas mitigadoras preconizadas
• processos erosivos, assoreamento, degradações; • riscos aos usuários e a propriedades lindeiras; • interrupção de tráfego, desvios, demora nos deslocamentos; • atrasos no cronograma; • prejuízos diversos.	• descompasso das etapas de serviços; • falta de visão do conjunto da obra e/ou planejamento integrado; • restrições orçamentárias.	• Evitar descompasso das etapas de serviço, realizando as diversas etapas de serviço de forma contínua; • Evitar interrupções extemporâneas de obras, patrocinadas pela alternância dos gestores públicos e por planejamento inadequado, deixando inconclusas, sujeitas a degradações implicando em risco ao usuário, prejuízos a propriedades lindeiras e em maiores gastos para o poder público; • Responsabilização dos gestores públicos; • Instituir o monitoramento dos processos do meio físico, para entre outras atribuições: verificar os impactos ambientais relacionados a determinadas práticas construtivas, identificar as peculiaridades ou condicionantes que possam constituir-se em fragilidades face à presença do empreendimento rodoviário.

Quadro 6.5g – Medidas preconizadas – etapas construtivas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Como já ressaltado, o monitoramento dos processos do meio físico em obras viárias representa um conceito novo, carecendo de formulações adequadas, a cargo dos órgãos rodoviários responsáveis pelos empreendimentos. Soma-se a isto o fato de ser escassa no Brasil, a tradição de estudos regionais sobre os fatores geológico-geotécnicos na avaliação desses processos.

Neste trabalho foi elaborada uma proposta metodológica para o monitoramento dos processos do meio físico aplicado a construções rodoviárias, pretendendo contribuir para o estabelecimento de rotinas nas ações construtivas. Com isso, tentou-se gerar subsídios a órgãos rodoviários na elaboração de especificações técnicas e de termos de referência para controle e monitoramento da dinâmica dos processos do meio físico, que venham propiciar melhor eficiência aos processos construtivos, contribuindo com sua sustentabilidade.

A partir da metodologia empregada para o desenvolvimento dessa pesquisa, a investigação, aquisição e posterior compilação dos dados pesquisados foram orientadas pela compreensão dos fatores intervenientes mais importantes, ao longo do ambiente afetado, quanto aos condicionantes de interesse, por unidades de análise, tendo sido estabelecido um protocolo de abordagem coleta e registro de dados. A proposta de monitoramento, que se concretizou por meio da ficha de levantamento de campo, mesmo sendo uma formulação de forte cunho descritivo, mostrou-se competente produzindo um alcance analítico, investigando processos e coletando dados dentro de seu contexto real.

A metodologia propiciou um protocolo que se configura como um instrumento de simples execução, contendo os procedimentos e regras gerais a serem seguidas, para a investigação e construção de uma base de dados regional.

A análise realizada evidenciou assim o modo inadequado e insustentável pelo qual o meio físico tem sido ocupado e utilizado. Destacam-se os processos erosivos e os escorregamentos

induzidos pela construção das obras viárias, causando degradações as mais diversas, comprometendo o corpo estradal e a segurança do tráfego usuário. Outra análise que se propicia desta síntese das fichas de levantamento de campo é quanto às vulnerabilidades geradas pelas ocorrências de processos do meio físico, nas respectivas unidades de análise, que possam se constituir em condição de perigo potencial ou não, em condições de causar transtornos, destruição ou que venha impactar de alguma forma a rodovia, a faixa de domínio e as propriedades lindeiras. Isso pode causar de alguma forma, danos ou perdas à economia, às propriedades, e ao tráfego usuário.

A pesquisa possibilitou ainda, além da qualificação, a quantificação dos custos de recuperação das degradações observadas frente aos processos do meio físico, que ensejaram reconstruções e recuperação de grande parte do segmento rodoviário. Nos 37,00 km em que foram executados os serviços de recuperação, foi possível contabilizar a dimensão das deseconomias envolvidas com a ocorrência dos diversos processos do meio físico desencadeados, sendo exigidas despesas com obras corretivas da ordem de 4 (quatro) milhões de reais, correspondente a mais de 26,0% do valor total gasto para execução do segmento pavimentado.

A utilização de métodos geofísicos de investigação mostrou-se importante e pertinente quanto ao emprego em obras viárias. A utilização do Radar de Penetração de Solo (GPR) e do método de Eletrorresistividade (EM) possibilitou a averiguação da eficiência, rapidez, boa relação custo benefício, principalmente na fase de reconhecimento da área de interesse, permitindo melhor embasamento na tomada de decisões, bem como possibilitando a mitigação de possíveis riscos futuros, podendo subsidiar planos específicos de monitoramento de áreas sensíveis.

Neste contexto, foram elaborados quadros com recomendações para ações preconizadas aos processos de construção, em todas as etapas de serviços, por meio da proposição de recomendações e de medidas mitigadoras de ordem prática passíveis de aplicação pelos órgãos rodoviários, que possibilitam reverter várias deficiências verificadas nos processos construtivos, possibilitando maior agregação de valor à presente pesquisa.

Dessa forma, sugere-se, a partir do desenvolvimento deste trabalho, em futuras pesquisas, a elaboração de um cadastro utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG),

organizado na forma de um banco de dados acessível. Tendo como base as informações catalogadas por meio das fichas de levantamento de campo do meio físico, este cadastro poderia estar associado a um registro identificador, fazendo-se o reagrupamento dos diversos segmentos com atributos semelhantes, possibilitando aferir informações úteis resultantes desse monitoramento e maior conhecimento dos processos do meio físico afeto às obras de construção viárias.

Por fim, cumpre ressaltar, como um dos produtos da pesquisa, a elaboração da “Cartilha: Processos do Meio Físico em Construções Viárias”, em apêndice, trazendo uma abordagem diferenciada dos processos do meio físico, evidenciado por ocasião da implantação das obras viárias, perpassando todas as etapas construtivas, apresentando-se as ações que induzem e causam degradações, riscos ao tráfego usuário e prejuízos os mais diversos, bem como de práticas construtivas inadequadas, mas repetidamente realizadas. Demonstram-se que as etapas construtivas, notadamente a terraplenagem, impõem drástica alteração na dinâmica superficial, que precisa ser melhor entendida e equalizada. Além disso, ressalta-se a necessidade se ter uma visão holística e sistêmica da obra viária. A Cartilha é apresentada em linguagem de fácil compreensão, sendo a argumentação embasada em evidências práticas, fruto de levantamentos e monitoramento de obras de implantação e pavimentação de rodovias no estado de Goiás, em etapas recentes. Espera-se que esse trabalho possa contribuir de alguma forma para internalizar a preocupação com os processos do meio físico que influem de maneira decisiva na qualidade das obras, onerando os custos de sua manutenção e reconstrução.

REFERÊNCIAS

- AGETOP - AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS. **Normas e Procedimentos Ambientais para Empreendimentos Rodoviários**. Goiânia, 2001.140 p.
- AGETOP_____. **Mapa Rodoviário do Estado de Goiás**. Goiânia, 2003.
- AGETOP_____. **Sistema Rodoviário do Estado de Goiás**. Goiânia, 2009. 90 p..
- ALVES, B. R.– Engenheiro DER-GO. Entrevista concedida a Victor Emmanuel dos Reis. Goiânia, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**. Rochas e Solos – Rio de Janeiro. 1995.
- ANJOS FILHO, O. **Estradas de terra**. **Jornal O Estado de São Paulo**. São Paulo. Suplemento agrícola, 29 de abril de 1998.
- BELLIA, V.; BIDONE, E.D. **Rodovias, Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Niterói-RJ: EDUFF; 1992. 288 p.
- BIGARELLA, J.J., **Estruturas e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis, 2003. Ed. UFSC,2003. V.3, p.877-1436.
- BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil** de 02.09.1981.
- BERTOLINI, D., DRUGOWICH, M. I., LOMBARDI NETO, F. BELINAZZI JÚNIOR, R. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: CATI, 1993. P. 37. (boletim técnico 207).
- BORGES,W.R.,2007. **Caracterizações Geofísicas de alvos Rasos com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP**.Tese de Doutorado (Departamento de Geofísica) IAG/USP, p.271.

BORGES, W. R., 2002. **Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, Utilizando-se GPR e Eletroresistividade**. Dissertação de Mestrado (Departamento de Geofísica), IAG/USP, p. 153.

CARVALHO J. C. de; DINIZ N. C. **Cartilha Erosão**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2005. P. 34, : il.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - **GEOLOGIA do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Org. por Maria Luiza Osório Moreira, Luiz Carlos Moreton, Vanderlei Antônio de Araújo, Joffre Valmório de Lacerda Filho e Heitor Faria da Costa. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008. 143 p. il.; + mapa.

CTE – CENTRO TECNOLÓGICO DE ENGENHARIA LTDA – **Estudo de Impacto Ambiental – EIA, rodovia GO.309, trecho Pires do Rio / Caldas Novas**. 2002.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 4º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 2002.

DARDENNE, M. A. 1978. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, *Anais*, v. 2, p. 597-610.

DER-GO - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE GOIÁS - **DER-GO 50 ANOS**. Goiânia, 1996.

DINIZ, N. C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. São Paulo, 1998, 2v. Tese (doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo).

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Histórico das Rodovias Federais em Goiás**. Goiânia, 1984.

DNER_____ **Corpo Normativo Ambiental para Empreendimentos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1996.

DNER_____ **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais**. Rio de Janeiro, 1996.

DNER_____ **Anuário estatístico dos transportes: GEIPOT**, 2000.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais**. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT____ **Roteiros Básicos para Elaboração de Sistemas Rodoviários Estaduais**, 2006.

DNIT____ **Plano Nacional de Viação** - PNV – 2009.

FERNANDES, C. E. de, 1984. **Fundamentos de Prospeção Geofísica**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro – RJ, p.190.

FORNASARI, F. N. *et al.* **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

FORNASARI, F. N.; INFANTI, N. Jr. **Processos de Dinâmica Superficial**. Vários autores. Geologia de Engenharia. São Paulo. 2002. ABGE, cap. 9, p.131-152.

FREIRE, E.S.M. **Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática**. Rio de Janeiro, 1965. **Revista Construção**, p. 10-18,

GALLARDO, A. L.C. F. **Análise das Práticas de Gestão Ambiental da Construção da Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes**. São Paulo, 2004. p 295. Tese (doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, et al., **Aplicação do Geo-Radar em investigação de pavimentos rodoviários: estudo de casos em estruturação estratigráfica e em degradação**. UFRGS. <http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/02.pdf>. Acesso em 2010.

GUERRA, A. T., 1924-1968. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. 1924-1968. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.:il.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1984.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Manuais técnicos em geociências, nº4. 300 p.

IBGE. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.** Diretoria de Geociências. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/vocabulario.pdf>> Acesso em: 19 out. 2005.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO, **Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería**, Madrid 2004.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO –. **Plano preventivo de defesa civil do Vale do Paraíba do Sul**, 2001.

KELLER, G.V.,1987. Rock and mineral properties. Investigations in geophysics, n.º 3. Eletromagnetic Methods in Applied Geophysics Society of Exploration Geophysicists, Ed. Misac N.Nabighian, V.1, p. 13-51.

LATRUBESSE, E.; THIAGO.C.; **Geomorfologia do estado de Goiás e Distrito Federal**, Goiânia-GO, 2006, 127p., Secretaria de Industria e Comércio.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed., 2. tiragem. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. P. 186, .il.

PNLT. **Plano Nacional de Logística e Transportes**. Ministério dos Transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes. Rio de Janeiro, 2009.

MASSAD, F. **Escavação a Céu Aberto em Solos Tropicais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2005, p.96.

Ministério de Medio Ambiente, Secretaria General Para Prevención De La Contaminación Y Del Cambio Climatico, **Guía para la elaboración de estudios del medio físico**, Espanha, 2004.

NAKAZAWA, V. A.; FREITAS C. G. L. de; DINIZ N. C. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo**: escala 1:500 000. 1ª ed. – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994. (Publicação IPT 2089).

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Uma nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro, 1981. Anais.

NTC.- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTES DE CARGAS E LOGÍSTICA. Dados Macroeconômicos do Transporte. **O Mito do Rodoviário Brasileiro**, 2009.

OLÍMPIO, J., Engenheiro do DNIT, 12º UNIT (Unidade de Infra – Estrutura Terrestre). **Entrevista concedida a Victor Emmanuel dos Reis**. Goiânia, 2005.

ONA S.A. ENGENHARIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA. **Projeto Final de Engenharia, rodovia GO.309, trecho Pires do Rio / Caldas Novas**, Goiânia, 2001.

MOTTA, J. A. O., – Chefe da Divisão de Gestão e Proteção Ambiental da Superintendência Regional do IBAMA em Goiânia, entrevista concedida a Victor Emmanuel dos Reis, 2010.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-99.

ORELLANA,E.,1972. **Prospeccion Geoelectria en corrent continua**. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Técnica Philips. p.523.

PARASNIS, D. S., 1970. **Princípios de Geofísica Aplicada**. Trad. E. Orellana (Original-1962), Madrid, Ed. Paraninfo, p.208.

PORSANI, J. L.; 1999. Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológicos-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campos Rio Claro-SP, p. 145.

REIS, V. E; **Proposta de Gestão Viária e Ambiental**. In: Prêmio CREA Goiás de Meio Ambiente 2004: compêndio dos trabalhos premiados / Conselho Regional de Engenharia , Arquitetura e Agronomia do Estado de Goiás. Goiânia, 2004. p.151 – 181.

REIS, et. al., **Análise crítica do estudo de impacto ambiental e do meio físico em rodovias**.2005.p.209. Monografia (Especialização em Engenharia Rodoviária). Universidade de Brasília - UnB, Goiânia, 2005.

REIS, V. E; JÚNIOR, M. M; SANTOS, R. S; SANTOS, G. A. **Diagnóstico e projeto de recuperação do processo erosivo da rodovia BR-070 / GO – Km - 03**. In: VI Simpósio Nacional e Congresso Latino – Americano sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2005,

Curitiba. Anais VI Simpósio Nacional e Congresso Latino – Americano sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, 2005. p. 191 – 199.

Revista Máquinas & Equipamentos Pesados. Acesso em agosto de 2010, disponível em <http://equipamentospesados.blogspot.com/>

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. **Erosão e a Ocupação Rural e Urbana**. In:BITAR,O.Y (Coord.). Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: ABGE/IPT.1995, cap. 3, p.31-57.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento do Estado de Goiás. Revista Economia & Desenvolvimento. Edição Especial, 2005.

SOUZA, N.C.D.C. **Mapeamento geotécnico regional com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. São Carlos, SP. USP/EESC. 2 volumes, 1992.

SOUZA PINTO, C. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª Ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006, 355 p.

SIBCS (2006). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2.ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

SESTINI. M. F., Variáveis Geomorfológicas no Estudo de Deslizamentos em Caraguatatuba – SP Utilizando Imagens TM – LANDSAT e SIG. São José dos Campos. p.140. Cap. 2. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

SHARPE, C.F.S. **Landslides and related phenomena – study of mass moviments of soil and rock**. New York, Columbia University Press, 1938, 120 p.27.

TELFORD,W.M.; GELDART, L. P.; SHERIFF,R.E.,1990. **Applied Geophysics**. Second Edition, Cambrigde University Press, United Kingdom, p. 770.

TOY, T. J., **Accelerated Erosion: Process, Problems, and Prognosis**, Department of Geography, University of Denver, Denver, Colorado, (1982). Disponível em: www.geology.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/10/10/524, acesso em 07/04/09.

TSUNOKAWA, K.; CHRISTOPHER HOBAN, C. **Roads and the Environment**, The World Bank, Washington, D.C., 1977.

http://www.ntcelogistica.org.br/arquivos/tecnicos/Mortara_AL.pdf, acesso em 06/06/2010.

TERZAGHI, K. Mecanismos dos escorregamentos de terra. **Revista Politécnica**, USP, 41 p., 1967. (Tradução de Mechanics of landslides, 1950, p.167.)

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo, SP: Mc Graw Hill, 1977.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; CINCERRE, J.R.; SERRA, P.R.M.; NETO, A. Z. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. São Paulo, SP: Arte & Ciência, 2007, 169 p.

YAMASHITA, Yaeko. **Metodologia Científica**. Brasília: Universidade de Brasília, CEFTRU – CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES, 2005.