



**AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRRESTRES ANTT**

**RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT**  
(Março/2013 a Fevereiro/2014)

**SISTEMA DE GERÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE  
ENCOSTAS E TALUDES  
DA RODOVIA BR-116/RJ – km 2 ao km 144,5**

**RELATÓRIO FINAL**

Rio de Janeiro, Agosto de 2014.

**RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT  
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRRESTRES ANTT (2013)**

**SISTEMA DE GERÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE ENCOSTAS E TALUDES  
DA RODOVIA BR-116/RJ – km 2 ao km 144,5**

## **APRESENTAÇÃO**

O presente Relatório Final RF referente ao Plano de Trabalho do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT da Concessionária Rio-Teresópolis S.A. para a Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT apresenta o sistema gerencial de informações que foi desenvolvido para gestão de intervenções em encostas e taludes, o sistema SGGR116. Trata-se de uma solução projetada nos moldes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), em que os dados geológico-geotécnicos são organizados e armazenados no SGGR116, que é continuamente alimentado e acessado por meio de uma plataforma web. A ferramenta WebGIS auxilia no controle e gerenciamento do conjunto de dados, na elaboração de mapeamentos e na compreensão dos processos geomecânicos que controlam os comportamentos das encostas e taludes através de cenários obtidos por análises espaço-temporais. Os resultados orientam as análises de susceptibilidade e as tomadas de decisão, que visam à minimização dos riscos de acidentes, redução de custos e estabelecimento de padrões adequados de segurança.

O cronograma de trabalho foi dividido em 4 etapas (4 trimestres), entre os meses de março de 2013 e fevereiro de 2014. Para cada trimestre foi entregue um Relatório Trimestral. Os trabalhos apresentados envolveram atividades de campo e escritório, coordenadas pelos engenheiros geotécnicos Maurício Ehrlich e Rafael Cerqueira Silva da Fundação COPPETEC, com apoio técnico da empresa ENGEOTECH Engenharia Ltda. O aplicativo Sistema de Gerência Geológico Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ SGGR116 foi idealizado por Ehrlich e Silva (2013) e a programação desenvolvida pela empresa JCONCEPT Open Solutions.

## ÍNDICE

<b>1 - Introdução</b>	<b>4-4</b>
<b>2 - Escopo do Trabalho</b>	<b>5-5</b>
<b>3 - Localização e Caracterização da Rodovia</b>	<b>5-10</b>
<b>4 - Produtos</b>	<b>10-73</b>
<b>5 - Conclusão</b>	<b>74-90</b>
<b>Referência Bibliográfica</b>	<b>91-92</b>
<b>ANEXO - Características dos Segmentos Geológico-Geotécnicos</b>	<b>93(1a157)</b>

**RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT  
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRRESTRES ANTT (2013)**

**SISTEMA DE GERÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE ENCOSTAS E TALUDES  
DA RODOVIA BR-116/RJ – km 2 ao km 144,5**

## **1 - Introdução**

Trechos da rodovia BR-116/RJ vêm sendo investigados e monitorados desde o início da concessão. A CRT ao longo desses anos vem acumulando uma gama considerável de informações espaço-temporais. Elementos de superfície até o horizonte rochoso sob o manto de alteração, variações do lençol freático, eventos meteorológicos entre outras informações encontram-se arquivadas pela CRT. Somam-se também os arquivos da época do DNER. Basicamente, a base de dados é composta por levantamentos plani-altimétricos, sondagens à percussão, rotativas e geofísicas, ensaios in situ, ensaios laboratoriais envolvendo desde a caracterização do material até obtenção dos parâmetros de resistência, registros de deslizamentos, registros pluviométricos de estações meteorológicas automáticas em operação, programas de instrumentação (inclinometria, piezometria, medidores de nível d'água, controles topográficos) e resultados das monitorações, mapas temáticos, filmagens e fotografias aéreas e terrestres, relatórios técnicos, memórias de cálculo, projetos, análises de susceptibilidade de deslizamentos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos e outros documentos. Essas informações foram estruturadas, organizadas e armazenadas em um banco de dados e em uma base geográfica associados entre si, que constituem a WebGIS denominada de Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ (SGGR116).

O sistema é continuamente alimentado e acessado remotamente por dispositivos ligados à internet, por meio de uma plataforma web que possibilita o acesso fácil e rápido à consulta dos dados espaço-temporais, podendo-se observar a resposta dos agentes predisponentes (geomorfologia, geologia, geotecnologia...) frente aos agentes efetivos (chuvas, variações do lençol freático e ações antrópicas) no decorrer do tempo. O uso da ferramenta facilita o entendimento fenomenológico dos mecanismos de ruptura que ocorrem nos taludes e encostas da rodovia. Tal compreensão auxilia as análises de susceptibilidade, elaboração de estudos e projetos e as tomadas de decisão, que visam à minimização dos riscos de acidentes, redução de custos e estabelecimento de padrões adequados de segurança. Dessa forma, concebeu-se um sistema de gerência dos maciços terrosos e rochosos ao longo de uma rodovia qualquer, mas que também pode ser aplicado em ferrovias. O sistema SGGR116 foi idealizado por Ehrlich e Silva (2013) e a programação desenvolvida pela JConcept Open Solutions.

## **2 – Escopo do Trabalho**

No Relatório Trimestral RT-01 foram elaborados a base geo-referenciada da rodovia BR-116/RJ (base espacial) e o banco de dados contendo os resultados das análises geotécnicas das encostas e taludes. A base espacial e o banco de dados foram elaborados de forma que possam ser sistematicamente alimentados e associados entre si. Os trabalhos objeto do escopo do Relatório Trimestral RT-02 foram complementares ao produto desenvolvido no RT-01 envolvendo: (i) coleta e organização de dados existentes relacionados ao objeto da pesquisa; (ii) associação da base geográfica com o banco de dados; e (iii) delimitação na carta topográfica das áreas de influência e das bacias hidrográficas. No Relatório Trimestral RT-03 foram realizados os trabalhos de realimentação do banco de dados e da base geográfica, incluindo a montagem de um banco de dados de arquivos com base nos estudos de segmentação da rodovia em termos de condicionantes geológico-geotécnicas. Assim como as demais informações dos relatórios anteriores (RT-01 e RT-02), esse banco de dados foi associado à base geográfica (ou espacial). Sobre a base espacial os segmentos geológico-geotécnicos foram delimitados por polígonos fechados que representam as áreas de abrangência dos segmentos. O banco de dados (arquivos) é acessado a partir da Base Geográfica. No Relatório Trimestral RT-04 foram apresentados os trabalhos referentes à: (i) definição de zonas homogêneas em termos de comportamento geológico-geotécnico; (ii) registro visual contínuo dos taludes e encostas; (iii) plano de voo e realização da inspeção aérea IA-02 (incluindo registro fotográfico e filmagem); e (iv) desenvolvimento da plataforma Web (sistema de gerência na internet). O presente Relatório Final RF apresenta as atividades e produtos desenvolvidos no projeto de RDT entre os meses de março de 2013 e fevereiro de 2014, referente ao Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ.

## **3 – Localização e Caracterização da Rodovia**

O trecho da BR-116/RJ (Rio de Janeiro – Teresópolis - Além Paraíba) administrado pela Concessionária Rio-Teresópolis (CRT) tem 142,5 quilômetros e abrange a região onde estão os municípios de Duque de Caxias (a partir do entroncamento com a BR-040/RJ), Magé, Guapimirim, Teresópolis, São José do Vale do Rio Preto e Sapucaia, indo até a divisa com Minas Gerais, próximo à cidade de Além Paraíba (Figura 1).



Figura 1 – Mapa de localização da rodovia BR-116/RJ trecho Rio-Teresópolis-Além Paraíba.

A rodovia BR-116/RJ trecho Rio-Teresópolis-Além Paraíba (km 2 ao km 144) percorre terrenos com geomorfologia variada, caracterizando três grandes compartimentos geológicos e geomorfológicos contrastantes (Figura 2):

- (i) Baixada da Baía de Guanabara (km 104 ao km 144);
- (ii) Escarpa da Serra dos Órgãos (km 89 ao km 104); e
- (iii) Escarpa Reversa do Planalto da Região Serrana (km 2 ao km 89).

Entretanto, observa-se in loco que dentro de cada um desses compartimentos há diferentes tipologias de mecanismos de ruptura e unidades morfológicas, geológicas e geotécnicas. As condições físicas locais (agentes predisponentes) associadas a eventos meteorológicos (agentes efetivos), que se manifestam por faixa, mobilizam distintos mecanismos de ruptura em uma mesma unidade geomorfológica, variando significativamente de local para local. As chuvas variam em localização, intensidade e duração. Em 2008, as chuvas atuaram no segmento entre os km 20 e 40, em 2011 entre os km 55 e 75 e no ano de 2012 entre os km 2 e 20. A ação antrópica e uso do solo,

como esperado, também influenciam a condição de estabilidade dos maciços e a tipologia de ruptura.

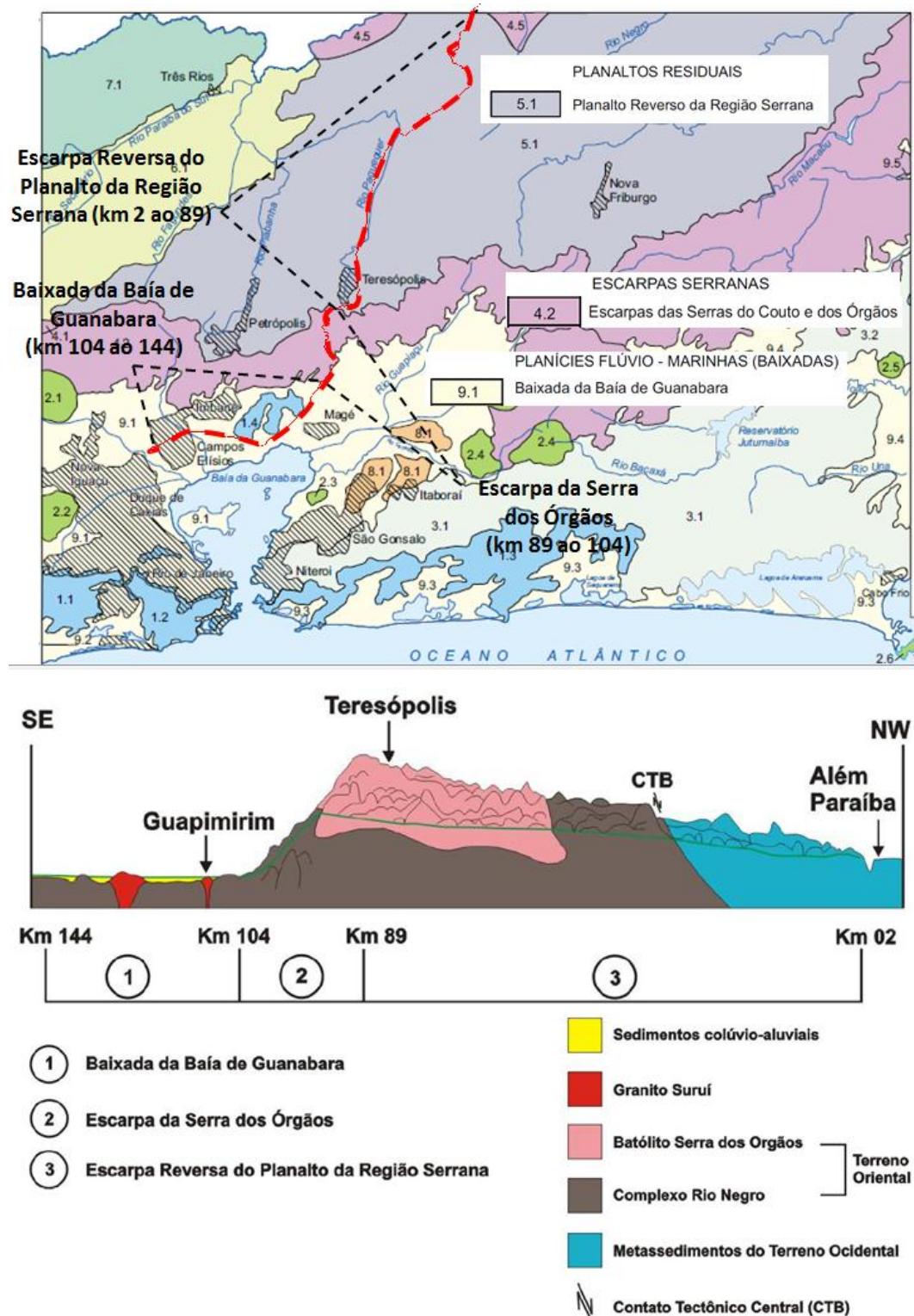


Figura 2 - Compartimentos geomorfológicos (planta – CPRM, 2000) e geológicos (perfil – Thalweg, 2011) ao longo do trecho concedido da BR-116/RJ.

De maneira geral, com base nas informações das cartas geomorfológicas (CPRM, 2000) e nas identificações dos mecanismos de ruptura observados nas encostas e taludes, descrevem-se abaixo as características e tipologias de deslizamentos predominantes nos compartimentos geomorfológicos interceptados pela rodovia BR-116/RJ.

O segmento entre o km 104 e 144, trecho da Baixada, é caracterizado pela predominância de planícies colúvio-alúvio-marinhas, havendo colinas, morros e morros baixos isolados (formas de relevo residuais). À medida que se aproxima das escarpas serranas, as superfícies planas da baixada são substituídas por um relevo de colinas, morros, rampas de colúvio ou cortadas pelas planícies fluviais, que drenam as escarpas da Serra dos Órgãos. Há certa vulnerabilidade a processos erosivos. Eventualmente observam-se movimentos de massa, normalmente mobilizando rupturas rotacionais que ocorrem em maciços com perfil de intemperismo composto por pacotes espessos e pouco heterogêneos de solos residuais. Nos aterros sobre solo mole, as rupturas podem ser condicionadas pelo terreno de fundação e variações do lençol freático, comumente próximo da superfície. Corpos de aterro podem apresentar sinais de trincas e recalques. Ainda que menos comum, observam-se maciços rochosos com certas semelhanças com aqueles da Escarpa da Serra dos Órgãos, podendo haver deslocamentos e quedas de blocos de rocha.

O trecho entre o km 37 e 104 situa-se em região de relevos de degradação em áreas montanhosas de relevo acidentado e extremamente acidentado, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topes de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes elevados a muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, com composição e dinâmicas próprias, solos rasos e afloramentos de rocha. Na região da Serra ocorrem movimentos de massa nas escarpas florestadas com superfícies de rupturas translacionais mobilizadas na interface de materiais com diferentes propriedades mecânicas e hidráulicas, geralmente no contato solo-rocha, por vezes conduzindo avalanche de detritos. Algumas calhas fluviais foram formadas por antigos fluxos de detritos, como é o caso do rio Soberbo, cuja transposição da rodovia é feita através de ponte. Escorregamentos rotacionais ocorrem em geral em taludes mais íngremes com camada de solo mais espessa. Nos maciços rochosos observam-se deslocamento e queda de blocos e lascas de dimensões variáveis (rupturas em cunha e planares) resultantes do intemperismo atuante nas fraturas e foliações das rochas gnáissicas, por vezes tão expressivo que ocorre ruptura sem evento chuvoso significativo. Na Serra independente de chuva notam-se muitas nascentes em cotas acima da rodovia, que infiltram nas fraturas das rochas. Nesse contexto, as pressões de água apresentam um papel importante na estabilidade dos maciços rochosos. No pé da Serra observam-se depósitos de tálus-colúvio, cuja movimentação é reativada com a elevação do lençol freático, manifestando-se em forma de rastejo. À medida que se aproxima do Planalto Reverso da Região Serrana, aterros a meia encosta formam uma massa de solo com permeabilidade inferior à do terreno natural que dificulta o fluxo de água e gera poro pressões que podem deflagrar a ruptura no contato entre o solo residual e o aterro. Esse mecanismo de ruptura governado pela descontinuidade hidráulico-mecânica ocorre tanto em aterros a meia encosta quanto em encostas naturais, mobilizando superfícies de deslizamento compostas translacional rotacional. A ocupação antrópica desordenada junto aos taludes laterais da rodovia entre o km 78 e km 84 tem gerado situações de risco que podem induzir a instabilização dos taludes e encostas. O uso do solo também é outro potencial agente efetivo. Plantios nos topos de morros

favorecem a infiltração de água no terreno, comprometendo a estabilidade dos taludes. Nos aterros com taludes estendendo-se no sentido do fundo dos vales, próximos às margens dos talvegues, comumente ocorrem situações de risco geológico-geotécnico relacionado a trincas, abatimentos, solapamentos, erosões e escorregamentos. Com a elevação do nível d'água causado por represamento dos rios durante períodos prolongados de chuvas intensas têm-se rupturas por rebaixamento rápido nos taludes de jusante situados nas margens dos rios.

O segmento entre a divisa dos Estados MG/RJ (km 2) e o km 37 encontra-se em região de relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados, com sedimentação de colúvios, alúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus. Predomínio de amplitudes topográficas entre 200 e 400m e gradientes médios, com presença de formas residuais proeminentes e gradientes elevados. Entre os km 33 e 37 ocorre uma zona de transição de relevo montanhoso e de morros, em que os mecanismos de ruptura são característicos aos dois relevos. Nos maciços residuais, comumente mais maduros, notam-se escorregamentos rotacionais pouco profundos. Nos derrames coluvionares, normalmente espessos e razoavelmente homogêneos quanto ao tipo de solo (argiloso), predominam rupturas rotacionais por redução do intercepto coesivo e voçorocas pela ação da água subterrânea. Destacam-se os depósitos de tálus-colúvio interceptados pelo corpo estradal, onde ocorrem movimentações de rastejo e deformações no pavimento acionadas principalmente pela elevação do lençol freático, que pode ser verificada pelos pontos de surgência d'água nos taludes e bombeamento de água no pavimento. Observam-se movimentações de rastejo com deslocamentos métricos quando os depósitos de tálus-colúvio com elevado lençol freático são interceptados por zonas de falhas geológicas com direção paralela ao eixo da rodovia e mergulho desfavorável à estabilidade dos taludes. Em tal condição, os mecanismos de ruptura são complexos - numa mesma encosta, diferentes mecanismos de ruptura são mobilizados em seções próximas uma das outras. Os taludes de jusante que compõem as margens dos cursos d'água tem sua estabilidade comprometida por erosões fluviais e rupturas por rebaixamento rápido no N.A..

Note-se que a divisão do trecho da rodovia em apenas três compartimentos geomorfológicos, não reproduz, com a precisão necessária ao gerenciamento de riscos, as características que influenciam nos processos de instabilização das encostas e taludes ao longo da rodovia BR-116/RJ. O mesmo comentário é válido para o mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, conforme exemplificado pela Figura 3, que ilustra o trecho da Serra dos Órgãos, cuja geologia não apresenta informações suficientes para elaboração de análises de susceptibilidade de deslizamentos.

Neste contexto, faz-se necessário segmentar o conjunto de encostas e taludes da rodovia que apresentaram características e comportamentos similares. O sistema SGGR116 foi devidamente alimentado para que fosse possível realizar as análises para definição dos segmentos geológico-geotécnicos homogêneos. A segmentação é útil para o desenvolvimento de mapas temáticos, modelos de comportamento mais representativos e balizamento de intervenções em locais com características similares, principalmente a nível preventivo.

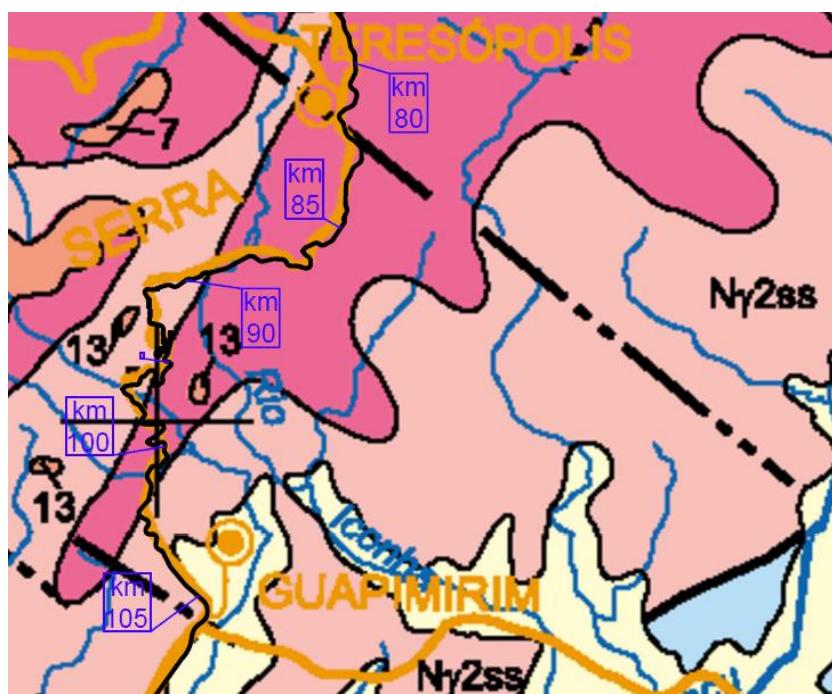


Figura 3 – Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

## 4 – Produtos

### 4.1 – Produtos RT-01

Tem-se como produtos arquivos em formato de banco de dados e gráficos. Para universalizar as informações, tornando-as acessíveis com uso de softwares comumente utilizados, os arquivos preparados em sistemas específicos foram salvos em extensão compatível com o Excel (.xls) e Adobe Reader (.pdf).

O levantamento de campo foi realizado com laboratório móvel da Enggeotech Ltda equipado com hodômetro de precisão métrica associado a um GPS de navegação. O eixo da rodovia foi levantado a uma velocidade de 20 a 30 km/h, com paradas nos marcos quilométricos. Em cada marco quilométrico o hodômetro foi zerado. A rodovia foi levantada no sentido crescente e decrescente, em analogia a um nivelamento e contra-nivelamento topográfico. No trecho da baixada (km 105 ao km 142,5) o eixo tratado refere-se ao levantamento da pista P1 (sentido crescente).

Para a captura, tratamento e geoprocessamento dos dados foram utilizados os softwares específicos: Enggeotech HoleHunter, GPS TrackMaker GTM PRO, Autodesk AutoCAD, Autodesk S8 Civil/Survey e ESRI ArcGIS. O banco de dados foi montado com uso dos softwares Microsoft Excel e Microsoft Word.

#### **4.1.1 – Base Espacial em Camadas: Eixo da Rodovia, Mapas Topográfico e Geológico**

O eixo da rodovia devidamente estaqueado contendo os marcos quilométricos e os mapas topográficos (IBGE) e geológico (CPRM) foram geo-referenciados em uma única base, sendo devidamente separados por camadas (layers). Foram executados serviços técnicos especializados de levantamento de coordenadas geográficas por GPS dos marcos quilométricos e da diretriz em planta do eixo da rodovia, visando a montagem da base geográfica primária. O eixo foi tratado, definindo-se as tangentes e curvas, e estaqueado a cada 50m. Assim como, realizado em campo para obtenção do ponto (km + distância), a cada marco quilométrico o estaqueamento foi reiniciado. O eixo georreferenciado foi convertido em um arquivo de CAD com extensão universal (dxf) e *shapefile* para uso em softwares de GIS. Com este procedimento é possível identificar em mapas temáticos e em imagens aéreas as características locais e regionais. A seguir são indicadas as fontes para montagem da Base Espacial:

##### ***Mapas Topográficos***

**Tipo de material:** Folha Topográfica

**Escala:** 1:50 000

**Editor:** IBGE (Rio de Janeiro)

**Informações Geográficas:**

Projeção Universal Transversa de Mercator UTM.

Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC.

Datum horizontal: Córrego Alegre, MG.

Equidistâncias das curvas de nível: 20 m

**Folhas Topográficas (IBGE):**

**MI:** 2682-3

**Nomeclatura:** SF-23-X-D-V-3

**Título:** Sapucaia

**Ano:** 1978

**MI:** 2682-4

**Nomeclatura:** SF-23-X-D-V-4

**Título:** Além Paraíba

**Ano:** 1978

**MI:** 2715-4

**Nomeclatura:** SF-23-Z-B-I-4

**Título:** Itaipava

**Ano:** 1992

**MI:** 2716-1

**Nomeclatura:** SF-23-Z-B-II-1

**Título:** Anta

**Ano:** 1974

**MI:** 2716-3

**Nomeclatura:** SF-23-Z-B-II-3

**Título:** Teresópolis

**Ano:** 1983

**MI:** 2745-2

**Nomeclatura:** SF-23-Z-B-IV-2

**Título:** Petrópolis

**Ano:** 1979

**MI:** 2746-1

**Nomeclatura:** SF-23-Z-B-V-1

**Título:** Itaboraí

**Ano:** 1979

### ***Carta Geológica***

Divisão de Geologia Básica do Departamento de Geologia da CPRM em convênio com o Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro DRM - RJ (2000), “Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro”. Escala: 1:500.000.

#### **4.1.1.1 – Importância da Base Espacial: Eixo da Rodovia, Mapas Topográfico e Geológico**

Na Figura 4 exemplificam-se recursos para análises de comportamento de encostas que podem ser obtidos pelo uso do eixo como uma camada (*layer*) dentro de um mapa temático qualquer. Na carta geológica (Figura 4a) observam-se zonas de cisalhamento interceptando a rodovia e foliações desfavoráveis à estabilidade das encostas situadas na pista 2 (lado esquerdo). Na carta topográfica (Figura 4b) observa-se relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados e aguçados com amplitudes topográficas superiores a 150m, com sedimentação de colúvios, alúvios e depósitos de tálus, e densidade de drenagem alta. Cruzando visualmente as informações das cartas é de se esperar que nas proximidades do km 29 haja movimentações nas encostas, resultante da presença de depósitos de tálus-colúvios interceptada por falha com atitude desfavorável ao eixo da rodovia. De fato, resultados de monitorações topográficas, inclinométricas e piezométricas empregadas por Ehrlich *et al.* (2012) demonstram deslocamentos horizontais superiores a 2,6 m e nível d’água elevado.

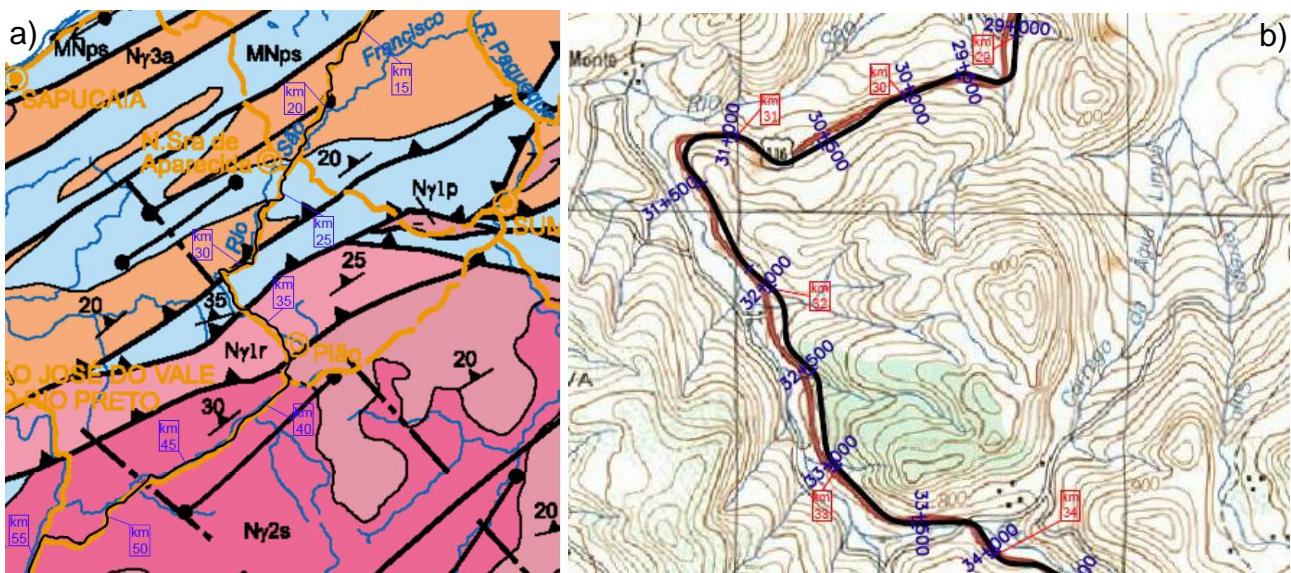


Figura 4 – Exemplos de aplicação do *shapefile* eixo georreferenciado e estakeado como camada (*layer*) de mapas temáticos: (a) geologica (CPRM, 2000) e (b) topografia (IBGE, 1974); na interpretação da susceptibilidade de movimentação de encostas.

#### 4.1.2 – Banco de Dados

A título de exemplo, a partir do relatório de avaliação de riscos de deslizamentos de encostas e taludes realizado pela COPPETEC no ano de 2012 foi montado o Banco de Dados que foi associado (ou “linkado”) com a base espacial. Entretanto, nessa fase do projeto, poderia ter sido utilizado outra fonte de informação para definição da estrutura do Banco de Dados. Tal produto serviu de protótipo para o desenvolvimento do SGGR116, pois simulou a condição de uso do aplicativo através da associação de informações contidas em banco de dados com uma base espacial (no caso, base topográfica do IBGE). O banco de dados digital foi caracterizado por uma matriz, cujas linhas são os kms e as colunas são a identificação da informação. Através desse recurso pode-se inserir a ocorrência geotécnica (ponto identificado pelo km da rodovia) na base espacial (topográfica ou geológica), cujas informações e parâmetros foram carregados e armazenados nesta referência. Com os dados devidamente datados, pesquisas podem ser realizadas com uso de filtros, considerando as camadas temporais.

#### 4.2 – Produtos RT-02

O produto do RT-02 refere-se à associação da base espacial com o banco de dados em meio digital e corresponde um aplicativo que depende dos sistemas operacionais: Windows, AutoCAD, Word e Adobe Reader. Na base espacial (Mapa Topográfico) que foi associada ao banco de dados foram delimitadas as áreas de influência e das bacias hidrográficas interceptadas pela rodovia. Parte dos estudos e projetos e as investigações e monitorações geotécnicas realizadas desde o início da

concessão da rodovia BR-116/RJ e ao longo de anos pelo DNER foram coletados e organizados de forma estruturada no servidor da CRT objetivando o acesso fácil e rápido à consulta. Para tanto, os arquivos foram nomeados através de uma padronização para identificar o conteúdo de cada informação e contextualizá-los no espaço e tempo.

#### **4.2.1 – Associação da Base Geográfica com o Banco de Dados**

Na base espacial topográfica foram inseridos, nas suas posições geográficas, os pontos geotécnicos de interesse que pertencem ao banco de dados adotado como exemplo no RT-01. A partir da inserção de um ponto, informações foram carregadas e armazenadas nesta referência, objetivando posterior consulta. Para cada ponto (identificado pelo km) do banco de dados (em formato de matriz) foi gerado outro banco de dados composto por arquivos. Cada arquivo desse banco de dados refere-se à caracterização da ocorrência geotécnica de um determinado ponto.

Com o geo-referenciamento dos pontos na base espacial e a montagem do banco de dados de arquivos foi realizada a associação entre a base espacial e o banco de dados. Através da base espacial é possível realizar *download* de arquivos contendo informações do ponto (km). Ao selecionar um determinado ponto da base espacial acessa-se o arquivo com a caracterização geotécnica da ocorrência, composta por descrição, risco de deslizamento, solução conceitual, fotos, croqui e ficha de monitoração para determinação do risco. Na Figura 5 apresenta-se o esquema de funcionamento da base espacial associada ao banco de dados de arquivos.

A partir da inserção das ocorrências geotécnicas na base espacial, as informações foram carregadas e armazenadas nesta referência. O banco de dados de arquivos foi associado à base espacial topográfica contendo os pontos de ocorrência e os *shapefiles*: (i) eixo da rodovia estabelecido e tratado; (ii) áreas de influência; e (iii) bacias de hidrográficas interceptadas pela rodovia. Através desse aplicativo é possível consultar os atributos da ocorrência geotécnica na base espacial.

As delimitações das áreas de influência e das bacias hidrográficas são passos importantes para elaboração da segmentação geotécnica. Uma área de influência é composta por unidades que possuem uma série de variáveis contínuas num determinado espaço, tais como tipo de solo, espessura, inclinação do talude, mecanismo de ruptura observado etc. Tal agrupamento é fundamental para a elaboração de carta geotécnica, em que se pode também inferir os comportamentos previstos para cada unidade. Tais comportamentos influenciarão nas tomadas de decisão e, por consequência, na redução de riscos.

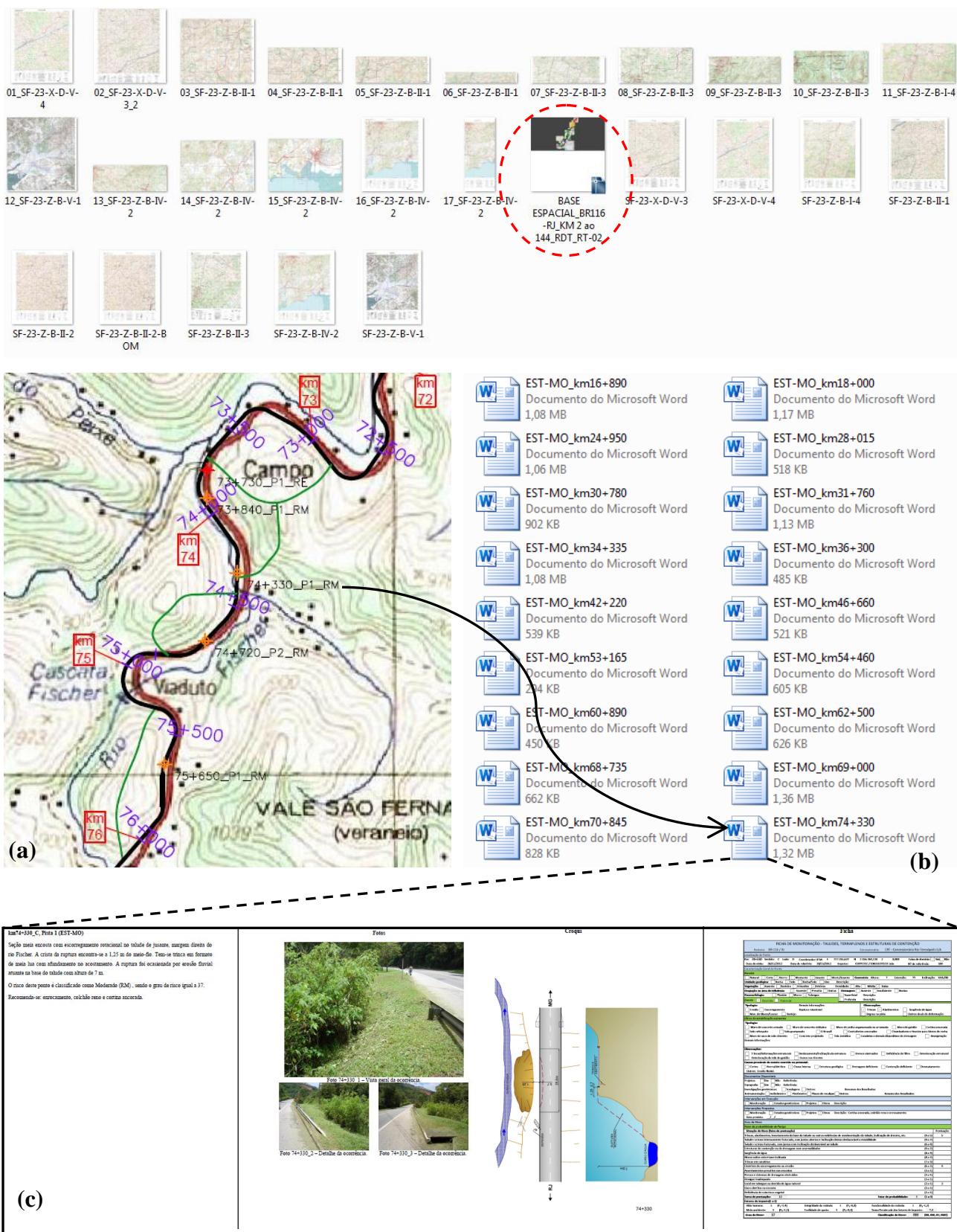


Figura 5 – Fluxograma esquemático da associação da base espacial topográfica com o banco de dados de arquivos: (a) seleção do ponto de interesse na base espacial no AutoCAD; (b) busca do arquivo no banco de dados de arquivos; e (c) carregamento do arquivo.

#### **4.2.2 – Coleta e Organização de Dados existentes relacionados ao objeto da pesquisa**

A CRT ao longo dos anos de concessão acumulou diversas informações das características dos solos e rochas das encostas e taludes que margeiam a rodovia, bem como dos escorregamentos ocorridos e dos registros pluviométricos a eles associados. Diferentes pontos da BR116/RJ já possuem séries históricas bastante completas de dados de interesse geotécnico. As informações são compostas basicamente por sondagens à percussão, rotativas e geofísicas; ensaios *in situ*; ensaios laboratoriais envolvendo desde a caracterização do material até obtenção dos parâmetros de resistência; relatórios sobre deslizamentos ocorridos (eventos geotécnicos); registros pluviométricos de estações meteorológicas automáticas em operação; programas de instrumentação e resultados das monitorações; diários de obras de estabilização e contenção, incluindo *as built*; trabalhos científicos; mapas temáticos; análises de riscos de deslizamentos (monitorações anuais); levantamentos plani-altimétricos; e mapas temáticos e mapeamentos contendo o eixo estakeado da rodovia.

Esses dados, em particular aqueles em formato digital (meio digital - arquivos), foram coletados, organizados e armazenados no servidor da CRT. Uma das principais características do banco de dados que alimentará o sistema SGGR116 é a sua conexão com a base geográfica, a partir da introdução da espacialidade e da variação temporal nas informações armazenadas. Para alcançar esse objetivo, os arquivos sistematicamente estruturados por assunto (sondagens, ensaios de laboratório, leitura de monitorações, topografia, memórias de cálculo, projetos...), identificando-se o tipo de informação por código (SOND, ENS, MONIT, TOP, CALC, PROJ...), km da rodovia que o dado pertence e ano do trabalho realizado (por exemplo, SOND\_km33+150\_2007; PROJ\_km33+150\_2009).

Com o referenciamento dos dados organizados e estruturados foi possível a criação de um banco de dados digital, com informações geotécnicas devidamente datadas, associado à base espacial, que facilitará muito o acesso e tratamento das informações. Como resultado poderão ser realizadas análises espaço-temporais, fundamentais para o trabalho de segmentação geotécnica das áreas de influência. A Figura 6 apresenta o fluxograma esquemático do banco de dados montado a partir da coleta e organização estruturada dos dados existentes relacionados ao objeto da pesquisa.

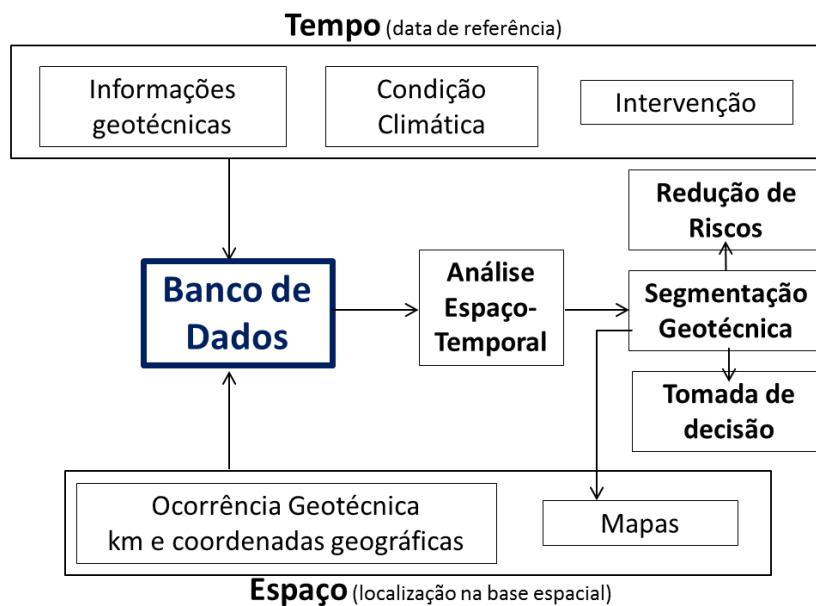


Figura 6 – Fluxograma esquemático do banco de dados montado a partir da coleta e organização estruturada dos dados existentes relacionados ao objeto da pesquisa.

#### 4.2.3 – Delimitação na carta topográfica das áreas de influência e das bacias hidrográficas

A base geográfica (ou base espacial Mapa Topográfico) foi alimentada com *shapes* (do tipo polígono fechado), que identificam as bacias hidrográficas interceptadas pela rodovia e as áreas de influência de deslizamento em relação à rodovia.

A segmentação geotécnica (ou agrupamento) é baseada no conceito de similaridade geomorfológica, geológica e comportamental em termos de mecanismos de instabilização. A delimitação das áreas de influência foi o primeiro passo para elaboração dos estudos de segmentação geotécnica. Os segmentos geológico-geotécnicos são compostos por unidades que possuem uma série de variáveis contínuas num determinado espaço, tais como tipo de solo, profundidade, inclinação do talude, presença e tipo de vegetação, mecanismo de ruptura observado (caso exista) etc. Tal agrupamento é fundamental para a elaboração de cartograma geotécnico, sendo de grande valia para análises de riscos de deslizamentos em escala macro. Após verificar os limites das áreas de influência em função das variáveis, podem-se inferir comportamentos previstos para cada unidade. Tais comportamentos influenciarão nas tomadas de decisão e, por consequência, na redução de riscos, conforme demonstrado no fluxograma esquemático da Figura 6.

A delimitação das bacias hidrográficas que interceptam a rodovia também é importante nesse processo. Por exemplo, dentro da bacia do rio Paquequer tem-se vários taludes de corte, entretanto devido à ordem de grandeza de sua área, dependendo do caso, não se pode atribuir as características de um local investigado (por exemplo, com ensaios de laboratório) a outro local distante deste. No entanto, caso a segmentação (ou agrupamento) indique similaridade geotécnica e se confirme através de inspeção in loco que as características são aproximadamente “semelhantes” pode-se fazer uso das informações existentes para planejamentos ou estudos básicos. Por outro lado, no mesmo

exemplo, quando são delimitadas as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Paquequer as áreas são reduzidas (assim como, as distâncias entre pontos), os aspectos geomorfológicos são mais homogêneos e, por consequência, aumenta-se a probabilidade de dados de um ponto investigado serem representativos para outro ponto que se deseja elaborar estudos preliminares. O tipo de solo ensaiado (caracterização, cisalhamento direto e papel filtro – curva característica) no km 76,4 por van Onselen *et al.* (2013) pertence a sub-bacia rio Fischer. Verificou-se que o km 79, objeto de estudos preliminares, encontra-se inserido na mesma bacia e que o talude de corte é composto por um tipo de solo com característica táctil visual similar. Estudos realizados com base no conceito de similaridade geológico-geotécnica (Ehrlich e Silva, 2014) indicam que os segmentos Serra do Cavalo (km 84,2 ao km 85,95) e Comari (km 85,95 ao km 89,37) apresentam encostas com mecanismos semelhantes de colapso. A identificação de segmentos possibilita que dados de um talude sirvam de referência a outros em condições similares.

#### **4.2.4 – Registros Visuais Contínuos (Campanha 1)**

Para auxiliar os trabalhos foram realizados imagens fotográficas aéreas e dois registros visuais contínuos, um terrestre e outro aéreo, com auxílio, respectivamente, de laboratório móvel e helicóptero instrumentados. Os registros das condições visuais das encostas e das obras de contenção é uma ferramenta independente ao sistema SGGR116, que contribui com as análises geotécnicas.

As filmagens digitais aéreas foram realizadas com auxílio de um helicóptero equipado com duas filmadoras sincronizadas com GPS. O vôo foi realizado seguindo o eixo da rodovia, no sentido crescente, em baixa velocidade e em altitude suficiente para visualizar as encostas em uma escala adequada para a elaboração das análises. As imagens foram tratadas e editadas com legendas indicando a quilometragem da rodovia e comentários sobre os aspectos geológico-geotécnicos observados (Figura 7). No sentido decrescente, o helicóptero seguiu a rota definida no plano de vôo para que o fotógrafo profissional pudesse registrar as imagens aéreas dos pontos objeto de estudos e monitorações. Buscam-se os melhores ângulos de visualização das encostas para identificar os elementos que possam contribuir com as análises. A Figura 8 demonstra caso de uso de fotografias aéreas para auxiliar na definição da solução de mitigação do risco geotécnico.



Figura 7 – Registro visual contínuo aéreo das encostas da BR-116/RJ, sentido crescente da quilometragem, com legenda para identificação da quilometragem e realização de comentários.



Figura 8 – Registros fotográficos aéreos para auxiliar na definição da solução de estabilização e na identificação do risco geotécnico.

O levantamento visual contínuo terrestre foi realizado com recurso de filmagem digital georreferenciada em sincronia com hodômetro de alta precisão, instrumentação, sistema de cadastro e GPS. O produto desse levantamento proporciona à equipe técnica a visualização da rodovia em conjunto com o caminhamento do laboratório móvel em planta e perfil longitudinal (Figura 9), oferecendo condições de avaliar os resultados das análises em escritório e de acompanhar o desempenho das encostas ao longo do tempo (resposta dos agentes predisponentes frente aos agentes efetivos).

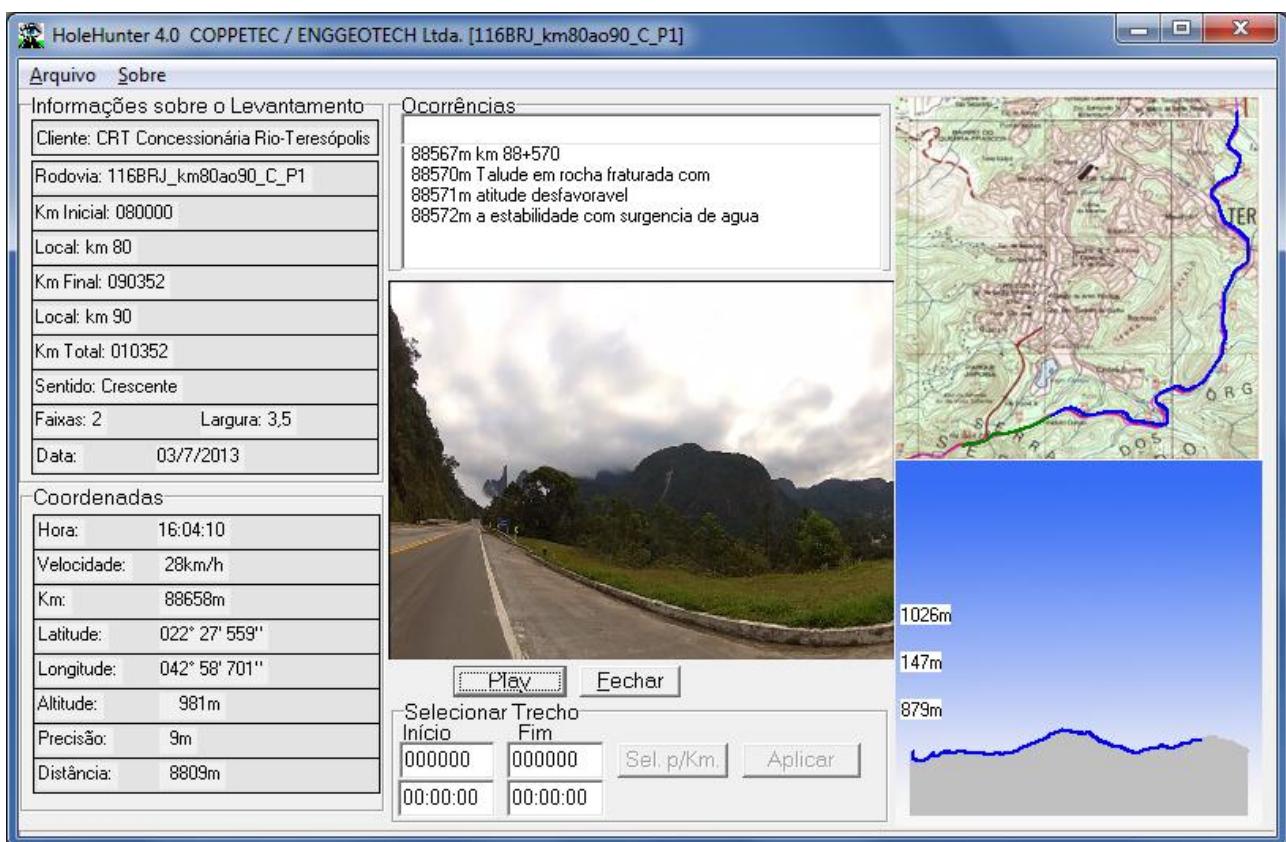


Figura 9 – Registro visual contínuo terrestre das encostas com uso do sistema HoleHunter (Enggeotech, 2003) - filmagem georreferenciada sincronizada com instrumentos e cadastros de campo (módulo de visualização - sentido crescente da quilometragem).

O levantamento de campo foi realizado com o laboratório móvel instrumentado da Enggeotech Ltda equipado com hodômetro de precisão métrica e filmadoras digitais associados a um GPS de navegação. O registro visual contínuo foi realizado com duas filmadoras, uma mais focada para o lado direito (pista 1) e outra para o lado esquerdo (pista 2), de forma a permitir a visualização da encosta ou talude com o máximo de detalhe. Durante o registro o laboratório móvel movimentou-se no sentido crescente da rodovia a uma velocidade variando pouco, dentro de uma faixa de 30 a 40 km/h, com paradas máximas a cada 10 km. Para a captura, tratamento e geoprocessamento dos dados foi utilizado o módulo de levantamento do software HoleHunter (Enggeotech, 2003). Para visualização da imagem em sincronia com os dados levantados foi fornecido para a CRT o módulo de visualização do HoleHunter.

#### 4.3 – Produtos RT-03

O produto do RT-03 refere-se à associação da base espacial com o banco de dados atualizado com as informações dos estudos geológico-geotécnicos do RT-03. Trata-se do complemento de

informações geográficas do aplicativo elaborado no RT-02. O banco de dados é composto por arquivos de Word (.doc) referentes a cada segmento geológico-geotécnico definido pelos estudos do RT-03. A delimitação dos segmentos foi realizada na base espacial: Mapa Topográfico. A área de cada segmento foi associada ao seu respectivo arquivo descritivo contido no Banco de Dados.

#### **4.3.1 – Delimitação na carta topográfica dos Polígonos dos Segmentos Geológico-Geotécnicos**

A base geográfica (ou base espacial Mapa Topográfico) foi alimentada com *shapes* (do tipo polígono), que identificam os segmentos geológico-geotécnicos ao longo da rodovia BR-116/RJ.

A segmentação é baseada no conceito de similaridade geomorfológica, geológica e comportamental em termos de mecanismos de instabilidade. Tal agrupamento é fundamental para a elaboração de cartograma geotécnico, sendo de grande valia para análises de riscos de deslizamentos em escala macro. Com as áreas dos segmentos podem-se inferir comportamentos previstos para cada unidade. Tais comportamentos influenciarão nas tomadas de decisão e, por consequência, na redução de riscos.

#### **Segmentação Geológico-Geotécnica**

A segmentação é fundamentada no conceito da similaridade geológico-geotécnica, em que o conjunto de encostas que apresentam comportamento e características semelhantes é agrupado em um segmento homogêneo. Podendo-se inferir os aspectos de uma encosta em outra situada dentro do mesmo segmento. Isso auxilia no gerenciamento de riscos de deslizamentos, pois se pode aplicar uma solução bem sucedida em outra encosta com características similares. Da mesma forma, pode-se prever o comportamento de uma encosta através de um escorregamento pretérito e evitar que equívocos se repitam. São aspectos essenciais nas tomadas de decisão para redução dos riscos. A compreensão dos processos geomecânicos que controlam os comportamentos das encostas e taludes é facilitada através dos cenários obtidos por análises espaço-temporais resultantes do uso do sistema SGGR116.

No Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT desenvolvido no ano de 2013 foi possível através da base de dados georreferenciada do SGGR116, cartas topográficas do IBGE (escala 1:50.000) e inspeções de campo, segmentar o conjunto de encostas e taludes da rodovia que apresentaram características e comportamentos similares (segmentos geológico-geotécnicos). Nos segmentos delimitados por polígonos fechados (Figura 10) definiram-se também as áreas de influência direta (AID) e indireta (AII). As AID são aquelas cuja movimentação de massa pode afetar ou atingir o corpo estradal. As AII são aquelas que estão inseridas dentro da área do segmento geológico-geotécnico, que mesmo a montante ou jusante da rodovia não mobilizarão deslizamentos na sua direção, mas influenciam a rede de fluxo de água subterrânea que afetam diretamente a estabilidade das encostas e taludes da rodovia.

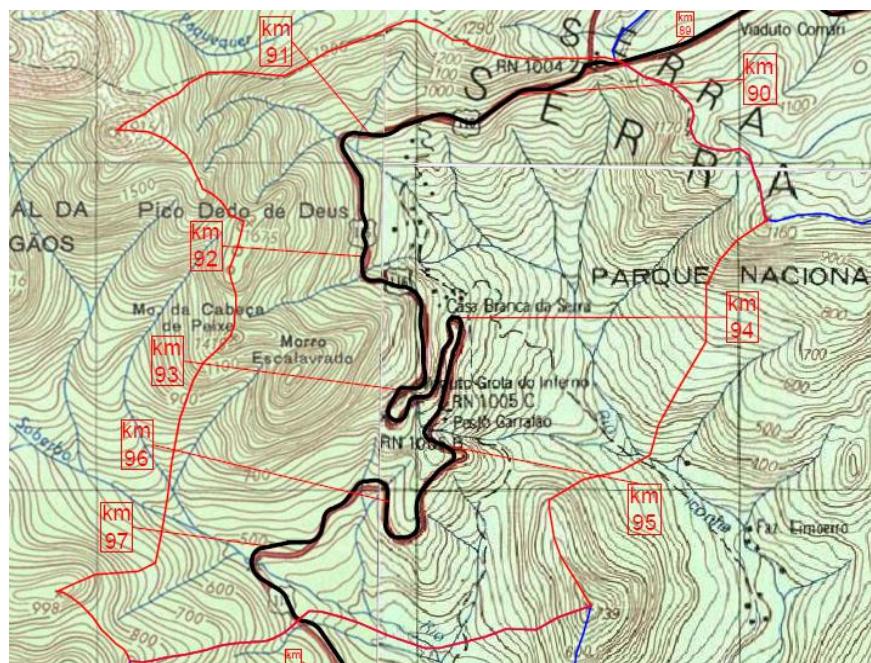


Figura 10 – Segmento geológico-geotécnico Dedo de Deus, situado na Serra dos Órgãos.

A AID e a AII permitem a elaboração das cartas temáticas, como por exemplo, as geológico-geotécnicas e hidro-geológicas, respectivamente. A Figura 11 apresenta um exemplo da melhoria da escala de informações geológico-geotécnicas para fins de análise de susceptibilidade de deslizamentos com uso de SIG.

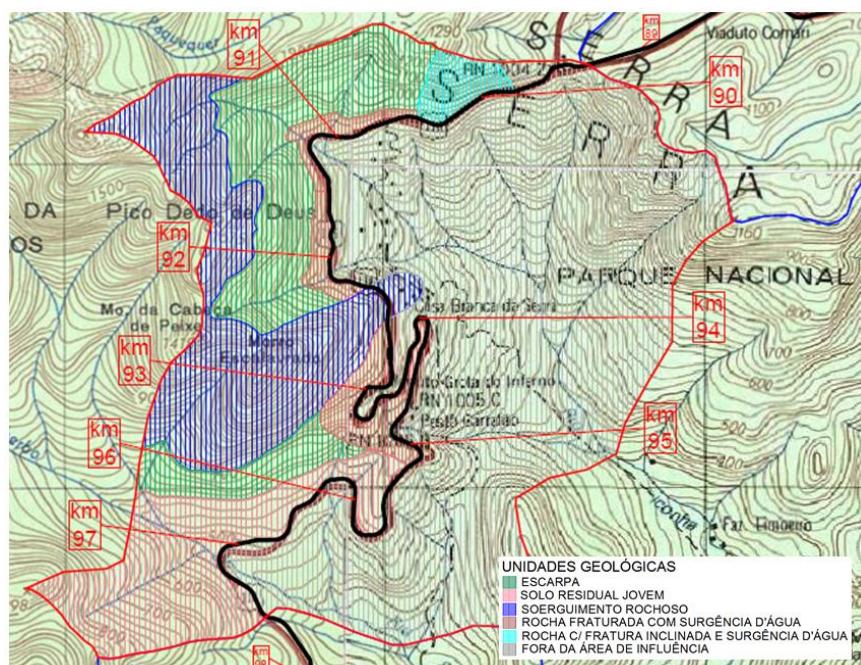


Figura 11 – Melhoria do mapa geológico do trecho da Serra dos Órgãos.

Nesse contexto de elaboração de cartas temáticas, foi muito importante a definição das áreas de influência direta (AID), ou seja, aquelas porções das encostas que possam atingir a rodovia no caso de deslizamentos. Assim, não é necessário mapear toda área do segmento geológico-geotécnico, focando o mapeamento somente nessas áreas de influência.

Numa visão ampla, a segmentação é resultante do conhecimento da resposta dos agentes predisponentes frente aos agentes efetivos, no qual o cruzamento dos aspectos climáticos, geomorfológicos, geológico-geotécnicos e dos mecanismos de ruptura é realizado para a definição dos segmentos homogêneos em termos de comportamento geomecânico. Naturalmente, isso conduz a uma sobreposição de mapas. Com a montagem de mapas temáticos é possível elaborar análises de susceptibilidade de deslizamentos com uso de um Sistema de Informações Geográficas SIG. Como resultado, as Cartas de Susceptibilidade (Figura 12) servem como instrumento para orientar as tomadas de decisão de forma estruturada e segura. Tal fundamenta as intervenções de melhoria das condições de estabilidade de encostas e taludes ao longo do trecho concedido à CRT da Rodovia BR-116.

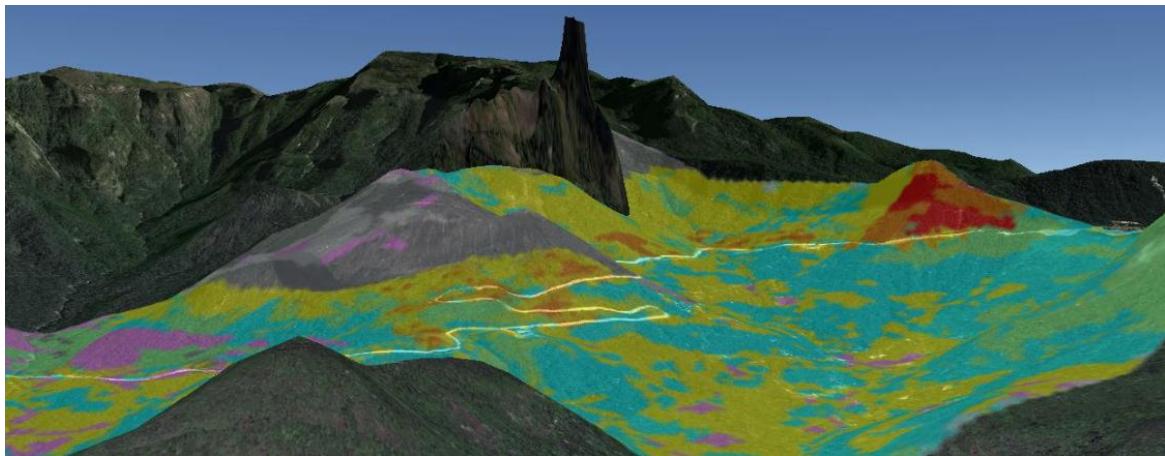


Figura 12 – Resultado de análise de susceptibilidade de deslizamento com uso de SIG.

#### 4.3.2 – Associação da Base Geográfica com o Banco de Dados

Na base espacial topográfica foram inseridos, nas suas posições geográficas, os polígonos fechados que englobam os segmentos geológico-geotécnicos. Informações são carregadas e armazenadas nesta poligonal de referência, objetivando posterior consulta. Para cada poligonal (identificado pelo layer) há um arquivo pertencente ao banco de dados contendo as informações sobre o segmento. Cada arquivo desse banco de dados refere-se à descrição geológico-geotécnica do segmento consultado (ou clicado) na base espacial.

Assim, através da base espacial é possível realizar *download* de arquivos contendo informações do segmento. Ao selecionar um determinado segmento (polígono) acessa-se o arquivo com a descrição geológico-geotécnica da área. Na Figura 13 apresenta-se o conteúdo da base espacial com destaque para o arquivo que deve ser aberto para visualização da base espacial no AutoCAD e para uso do

aplicativo de associação da base com o banco de dados de arquivos. Na Figura 14 apresenta-se o esquema de funcionamento da base espacial associada ao banco de dados de arquivos.

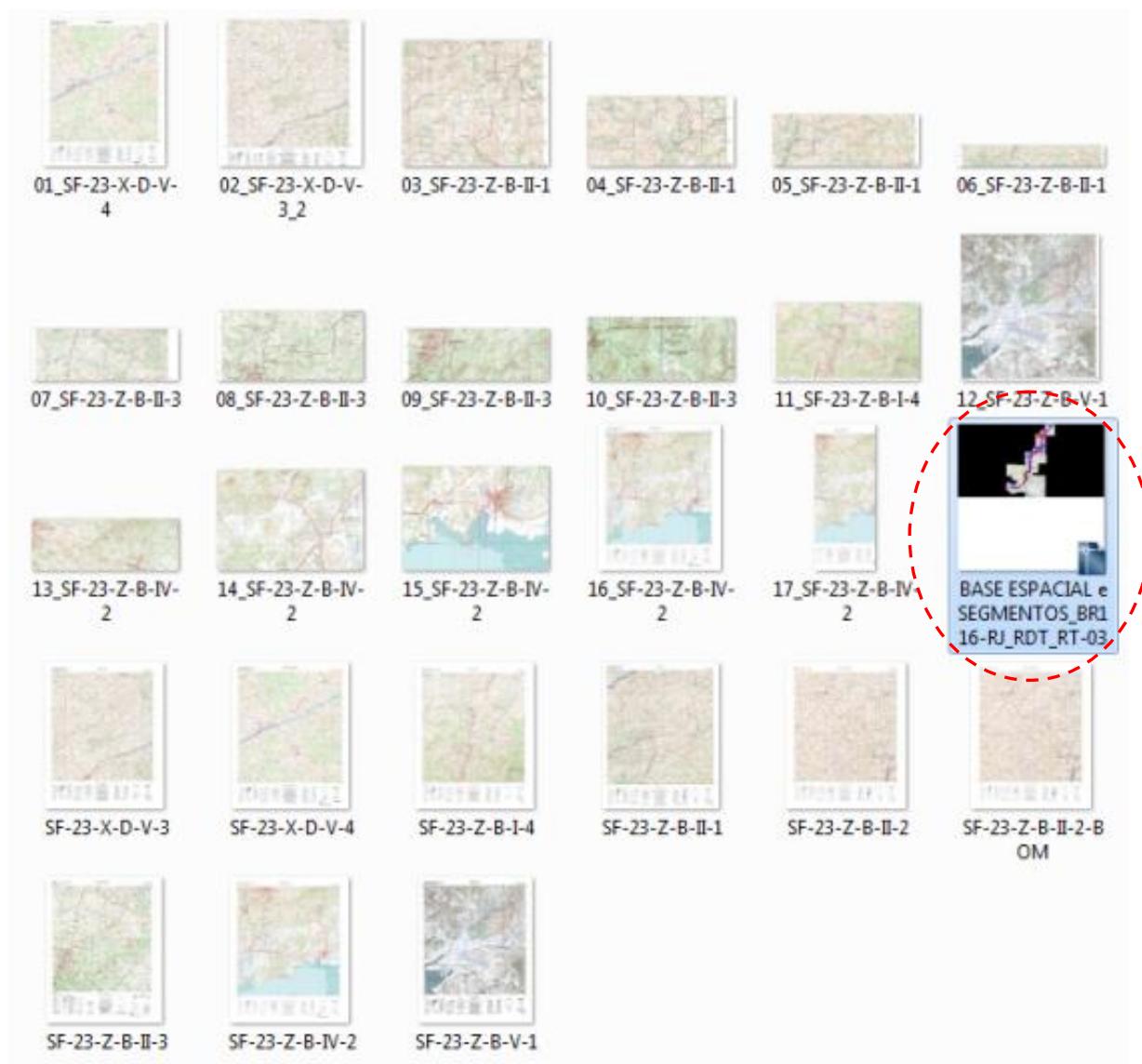


Figura 13 – Conteúdo da pasta “BASE ESPACIAL e SEGMENTOS\_BR116-RJ\_RT-03” com destaque para o arquivo que deve ser aberto para visualização da base espacial no AutoCAD e uso do aplicativo de associação da base com o banco de dados de arquivos.

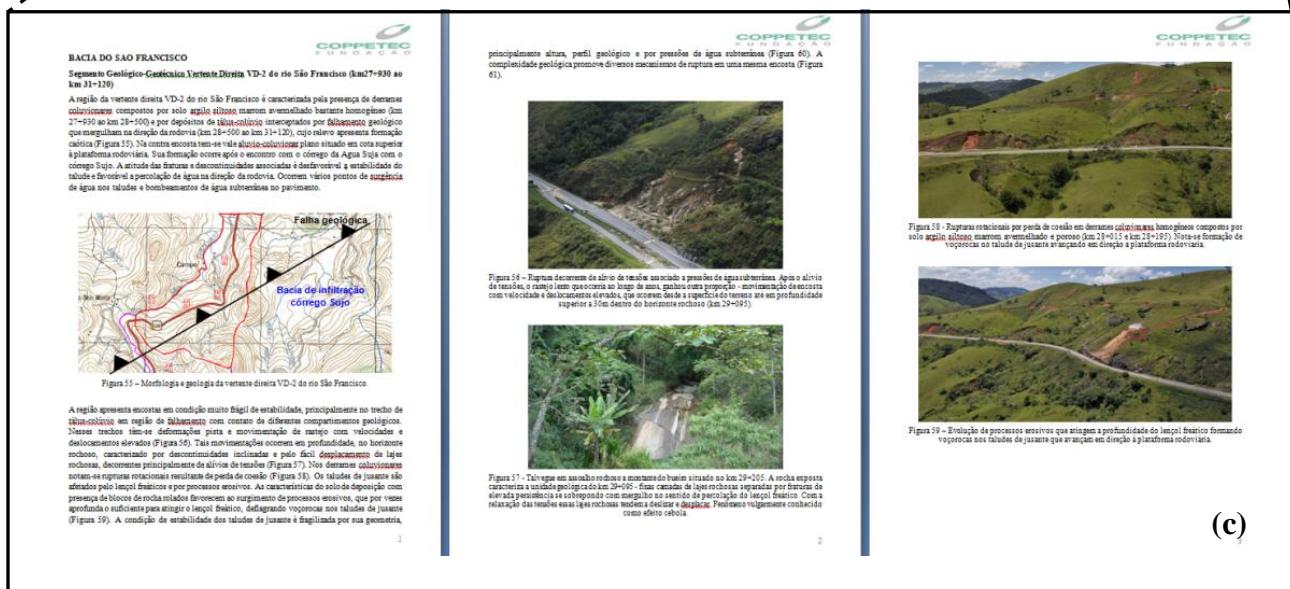
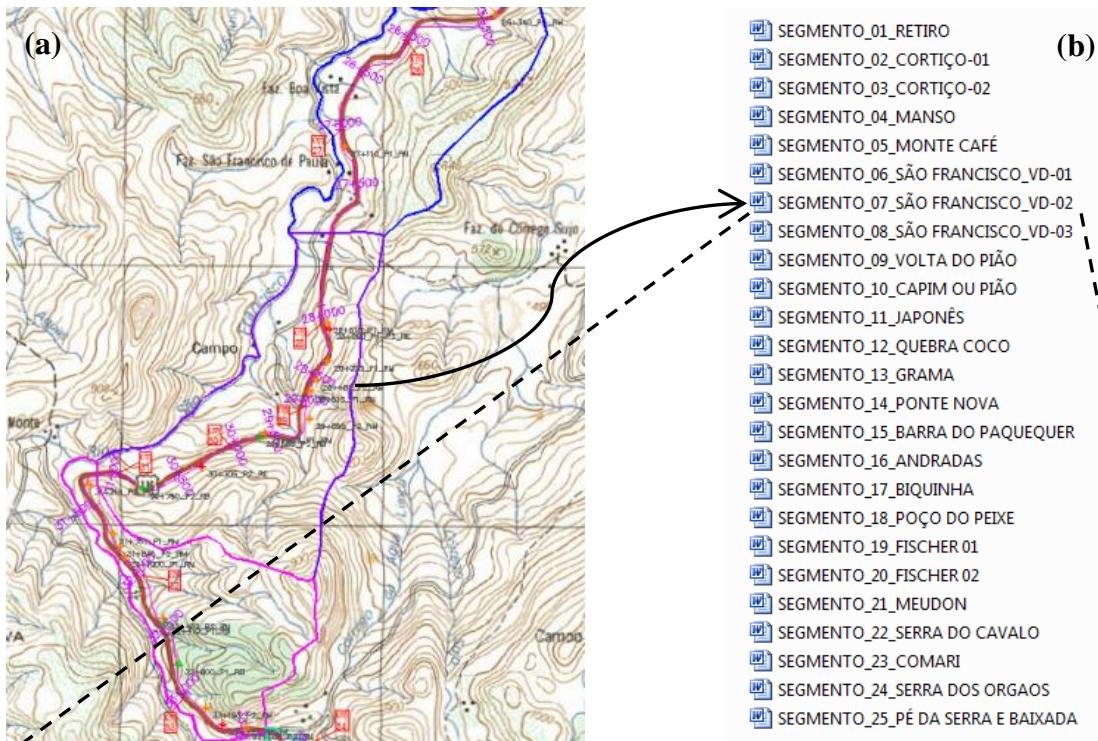


Figura 14 – Fluxograma esquemático da associação da base espacial topográfica com o banco de dados de arquivos: (a) seleção segmento geológico-geotécnico de interesse na base espacial no autoCAD; (b) busca do arquivo no banco de dados de arquivos; e (c) carregamento do arquivo.

## 4.4 – Produtos RT-04

Os produtos do RT-04 referem-se aos estudos geotécnicos conclusivos das zonas homogêneas em termos de comportamento geológico-geotécnico. Tais estudos foram norteados pelos trabalhados de segmentação geológico-geotécnica, registro visual contínuo dos taludes e encostas (laboratório móvel) e imagens aéreas (registro fotográfico e filmagem) da inspeção aérea IA-02. O sistema SGGR116 concebido por Ehrlich e Silva (2013) e programado pela JCONCEPT Open Solutions foi finalizado e parcialmente estressado (verificação do desempenho do sistema frente ao uso do mesmo por usuários autorizados pela CRT).

### 4.4.1 – Sistema SGGR116

O SGGR116 dará apoio à tomada de decisão, sendo fundamentado nos moldes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Tem-se como concepção do sistema a organização e a estruturação de informações geológico-geotécnicas em um banco de dados “linkado” à uma base geográfica gerenciados por um sistema que possibilita o acesso fácil e rápido à consulta de dados espaço-temporais de qualquer lugar que tenha acesso a internet. Através da utilização de mecanismos de análise espaço-temporal busca-se a minimização dos riscos de acidentes, redução de custos e estabelecimento de padrões adequados de segurança. Ressalta-se que o controle e gerenciamento do conjunto de dados permitirá com maior facilidade a elaboração de mapas, análises de susceptibilidade e mecanismos que governam a instabilização de taludes.

#### Acesso ao SGGR116

O sistema SGGR116 pode ser acessado através de link fornecido no site da Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT. O usuário deverá se cadastrar para fazer uso do sistema (login: usuário e senha).

#### Direito Autoral

O código fonte do sistema SGGR116 foi fornecido pela Concessionária Rio-Teresópolis S.A. CRT para a Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT.

#### 4.4.1.1 – Características do SGGR116

O sistema SGGR116 permite o cadastramento de ponto no mapa georeferenciado com a possibilidade de anexar vários documentos ao mesmo.

## **PERFIS DO SISTEMA**

O sistema suporta os seguintes perfis de usuário:

### **Administrador:**

- Consultar pontos,
- Criar pontos,
- Anexar documentos,
- Criar usuário
- Alterar usuário
- Remover usuários

### **Supervisor:**

- Consultar pontos,
- Criar pontos,
- Anexar documentos,

### **Consulta:**

- Consultar pontos

## **BANCO DE DADOS**

A CRT ao longo dos anos de concessão acumulou diversas informações das características dos solos e rochas das encostas e taludes que margeiam a rodovia BR-116/RJ, bem como dos escorregamentos pretéritos e dos registros pluviométricos a eles associados, possuindo séries históricas bastante completas de dados de interesse geotécnico. Uma das principais características do banco de dados proposto é a sua conexão com uma base geográfica, a partir da introdução da espacialidade e da variação temporal nas informações e parâmetros armazenados. Para alcançar o objetivo do recurso tecnológico, os arquivos foram sistematicamente estruturados por assunto (sondagens, ensaios de laboratório, leitura de monitorações, topografia, memórias de cálculo, projetos...), identificando-se o tipo de informação por código (SOND, ENS, MONIT, TOP, CALC, PROJ...), km da rodovia que o dado pertence e ano do trabalho realizado (por exemplo: SOND\_km33+150\_2007; PROJ\_km33+150\_2009...). A Figura 15 apresenta o fluxograma esquemático do sistema de gestão do banco de dados.

As informações são compostas basicamente por sondagens à percussão, rotativas e geofísicas; ensaios *in situ*; ensaios laboratoriais envolvendo desde a caracterização do material até obtenção dos parâmetros de resistência; relatórios sobre deslizamentos ocorridos (eventos geotécnicos); registros pluviométricos de estações meteorológicas automáticas em operação; programas de instrumentação e resultados das monitorações; diários de obras de estabilização e contenção, incluindo *as built*; trabalhos científicos; mapas temáticos; análises de riscos de deslizamentos (monitorações anuais); levantamentos plani-altimétricos; e mapas temáticos e mapeamentos contendo o eixo estakeado da rodovia.

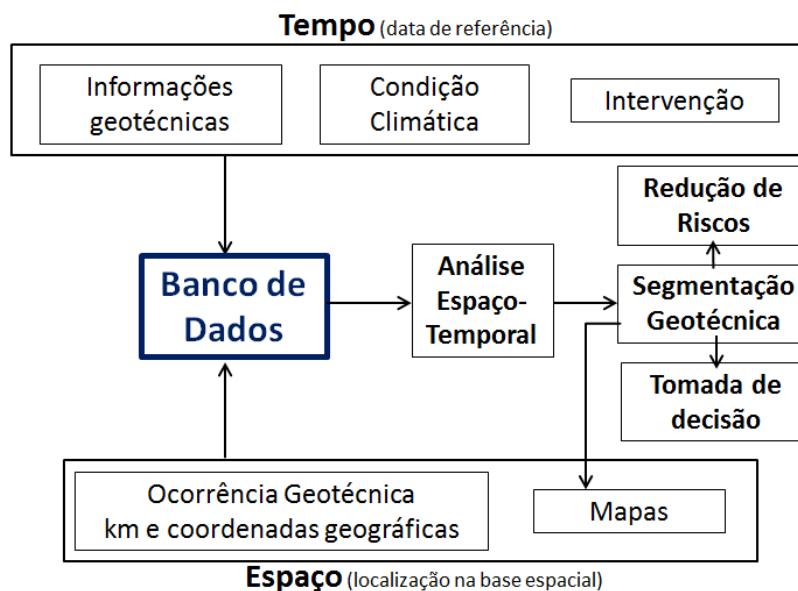


Figura 15 – Fluxograma esquemático do banco de dados montado a partir da coleta e organização estruturada dos dados geológico-geotécnicos.

Com o referenciamento, organização e estruturação de parte dos dados coletados pela CRT tornou-se possível a criação de um banco de dados digital, com informações geotécnicas devidamente posicionadas e datadas, associado à uma base espacial. Através do recurso de bancos de dados digital é possível realizar upload e download de arquivos e informações dentro do sistema de gerenciamento acessado remotamente pela WebGIS. A partir da inserção de um ponto automaticamente é criada uma matriz, cujas linhas são os km e as colunas são a identificação da informação ou documento carregado. Dessa forma, pesquisas podem ser realizadas com uso de filtros, considerando, inclusive, camadas temporais.

## PLATAFORMA

Conforme relatado a concepção do sistema é fundamentada no mesmo princípio do Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SGGR116 é uma plataforma web projetada para inserir (upload), armazenar e integrar, em uma única base de dados, informações espaciais relacionadas à geologia e geotecnologia das encostas e taludes que margeiam a rodovia, sendo possível realizar consultas, downloads e visualizar o conteúdo do banco de dados sobre a base geográfica. Assinalando um objeto pode-se saber o valor de seus atributos, e inversamente, selecionando um registro da base de dados é possível conhecer a sua localização e apontá-la na imagem de satélite. Na Figura 16 mostra-se o aspecto visual do sistema SGGR116.

Pode-se acessar o sistema através de qualquer computador e demais dispositivos móveis dotados de software navegador conectados à rede. Isso é possível porque a aplicação web SGGR116, juntamente com a API do Google Maps (necessária para a representação do mapa), é oferecida na modalidade de software em nuvem. Cada usuário, com sua função específica, tem seu nível de acesso segmentado (sistema de autenticação). O SGGR116 apresenta interface amigável, com uso

de ícones que proporcionam fácil utilização. A opção de filtragem (ou função de busca) permite a pesquisa de atributos, em que é possível a visualização apenas das informações necessárias na ocasião, indicando-se no mapa os pontos (km) correspondentes àquela solicitação do usuário. Na Figura 17 apresenta-se o fluxograma esquemático da estrutura do sistema SGGR116.

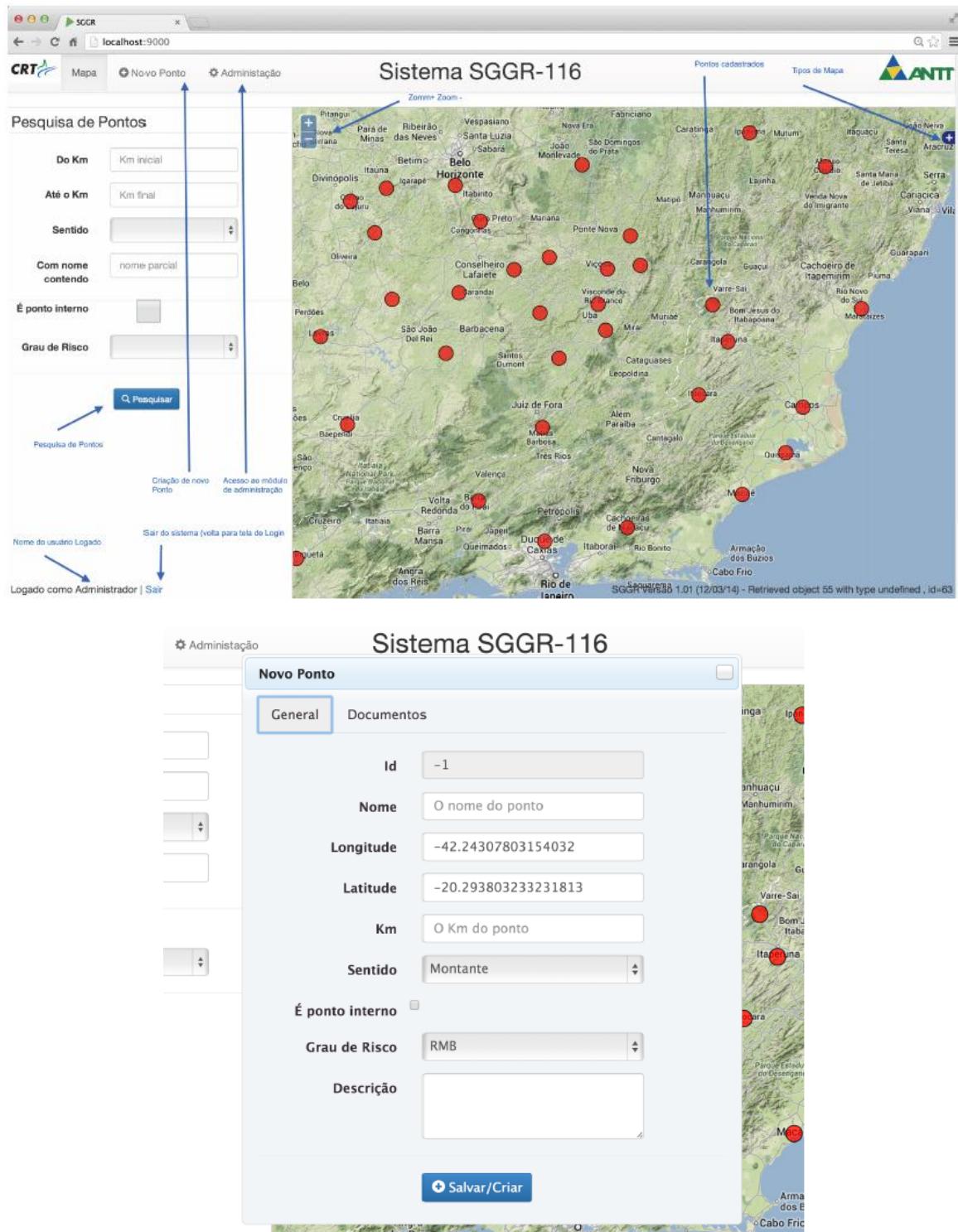


Figura 16 – Aspecto visual do sistema SGGR116.

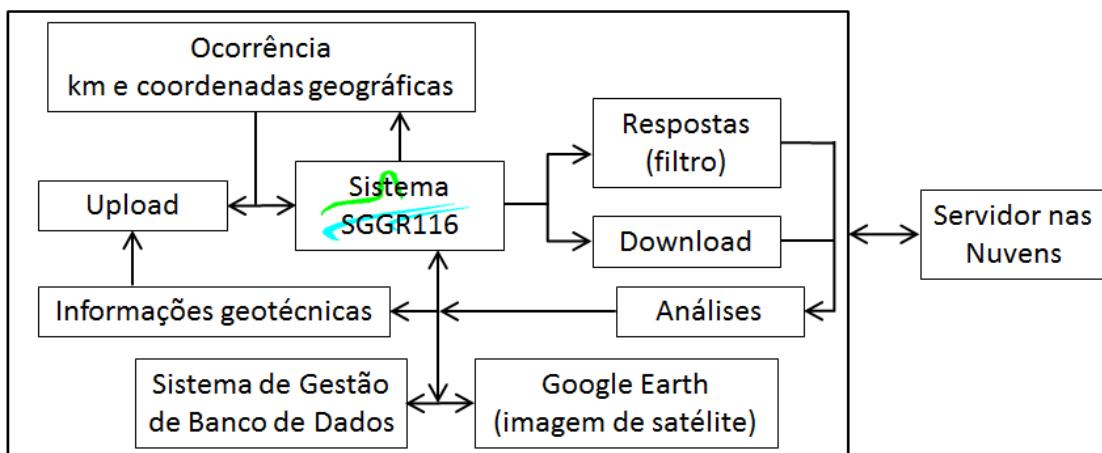


Figura 17 – Fluxograma do protótipo baseado no sistema SGGR116.

O ambiente virtualizado utilizado neste projeto reduz significativamente o investimento em hardware e os downtime do sistema, além de garantir o acesso remoto seguro e rápido aos recursos do sistema, sem a necessidade de instalação de um aplicativo específico nos computadores dos clientes. Por seu caráter integrador, o software SGGR116 permite a incorporação de módulos futuros, como por exemplo, a importação automática de dados de outros serviços de informação web (por exemplo: dados de pluviógrafos instalados na rodovia disponibilizados na plataforma Hidromec) e de leituras automáticas de instrumentos (telemetria). Esse recurso dinâmico será muito útil no futuro, poupando trabalhos de uploads manuais e possíveis erros associados.

#### 4.4.2 – Registros Visuais Contínuos (Campanha 2)

Para auxiliar os trabalhos de zoneamento geológico-geotécnico e contribuir nas análises foram realizados imagens fotográficas aéreas e dois registros visuais contínuos, um terrestre e outro aéreo, com auxílio, respectivamente, de laboratório móvel e helicóptero instrumentados. As filmagens digitais aéreas foram realizadas com auxílio de um helicóptero equipado com duas filmadoras sincronizadas com GPS. O vôo foi feito seguindo o eixo da rodovia, no sentido decrescente, em baixa velocidade e em altitude suficiente para visualizar as encostas em uma escala adequada para a elaboração das análises. As imagens foram tratadas e editadas com legendas indicando a quilometragem da rodovia (Figura 18). No sentido crescente, o helicóptero seguiu a rota definida no plano de vôo para que o fotógrafo profissional pudesse registrar as imagens aéreas dos pontos objeto de estudos e monitorações, buscando os melhores ângulos de visualização das encostas para identificar os elementos que possam contribuir com os estudos. Na Figura 8 demonstrou-se um caso de uso de fotografias aéreas para auxiliar na definição da solução de mitigação do risco geotécnico.



Figura 18 – Registro visual contínuo aéreo das encostas da BR-116/RJ, sentido decrescente da quilometragem, com legenda para identificação da quilometragem e realização de comentários.

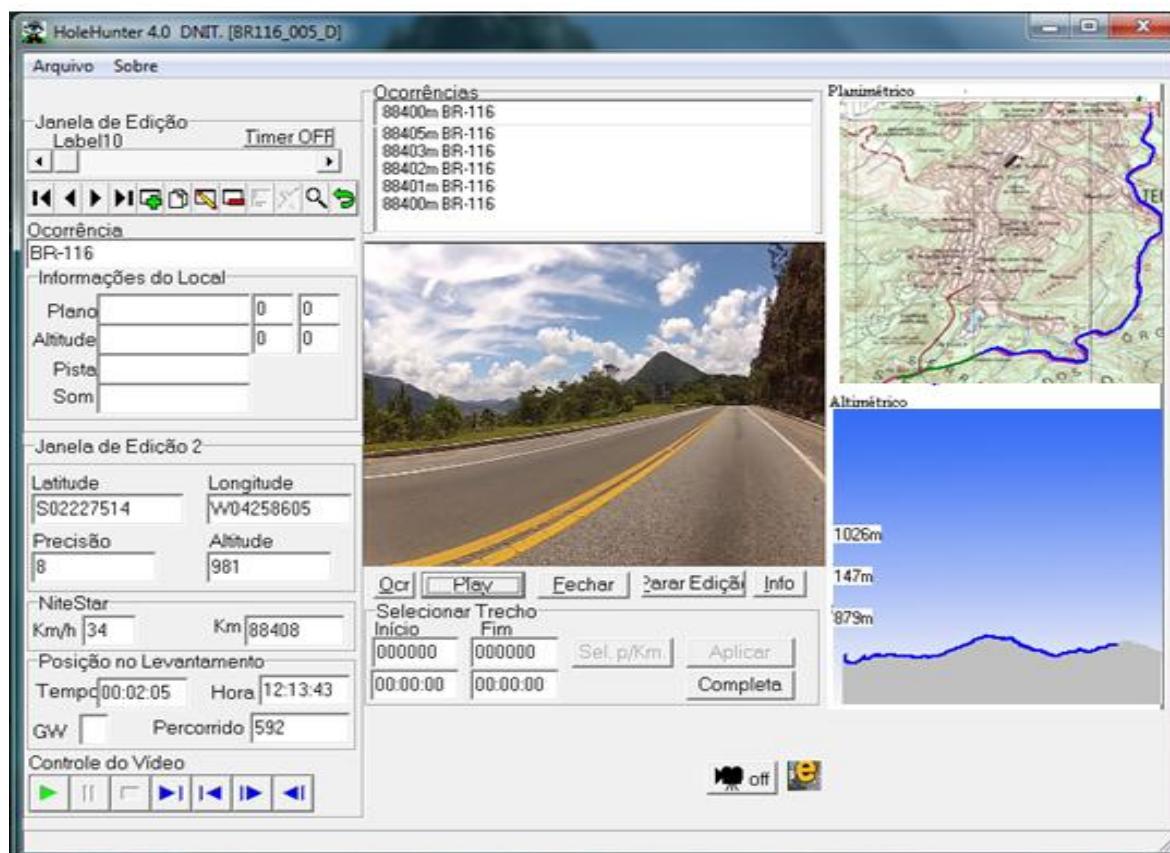


Figura 19 – Registro visual contínuo terrestre das encostas com uso do sistema HoleHunter (módulo de edição do levantamento - sentido decrescente da quilometragem).

O levantamento visual contínuo terrestre foi realizado com recurso de filmagem digital georreferenciada em sincronia com hodômetro de alta precisão, instrumentação, sistema de cadastro e GPS. O produto desse levantamento proporciona à equipe técnica a visualização da rodovia em conjunto com o caminhamento do laboratório móvel em planta e perfil longitudinal (Figura 19), oferecendo condições de avaliar as análises em escritório.

O levantamento de campo foi realizado com o laboratório móvel instrumentado da Enggeotech Ltda equipado com hodômetro de precisão métrica e filmadoras digitais associados a um GPS de navegação. O registro visual contínuo foi realizado com duas filmadoras, uma mais focada para o lado direito (pista 1) e outra para o lado esquerdo (pista 2), de forma a permitir a visualização da encosta ou talude com o máximo de detalhe. Durante o registro o laboratório móvel movimentou-se no sentido decrescente da rodovia a uma velocidade variando pouco, dentro de uma faixa de 30 a 40 km/h, com paradas máximas a cada 10 km. Para a captura, tratamento e geoprocessamento dos dados foi utilizado o módulo de levantamento do software HoleHunter (Enggeotech, 2003). Para visualização da imagem em sincronia com os dados levantados foi fornecido para a CRT o módulo de visualização do HoleHunter.

#### **4.4.3 – Zoneamento Geológico-Geotécnico**

A segmentação geológico-geotécnica foi baseada no conceito de similaridade geomorfológica, geológica e comportamental em termos de mecanismos de instabilização. As delimitações das áreas de influência e das bacias hidrográficas foram passos importantes para elaboração da segmentação geotécnica. As bacias hidrográficas interceptadas pela rodovia e as áreas de influência de deslizamento em relação à rodovia compõem a base espacial no formato de *shapes* do tipo polígono. De maneira geral, os segmentos geológico-geotécnicos referem-se às sub-bacias de uma determinada bacia hidrográfica. Dessa forma, as áreas são reduzidas (assim como, as distâncias entre pontos), os aspectos geomorfológicos são mais homogêneos e, por consequência, aumenta-se a probabilidade de dados de um ponto investigado serem representativos para outro ponto que se deseja elaborar estudos preliminares. O zoneamento geológico-geotécnico foi realizado com base nas características de cada segmento geotécnico. Os aspectos morfológicos dos segmentos geológico-geotécnicos são apresentados nas Figuras 20 a 64. O zoneamento e a segmentação estão inter-relacionados, de tal forma que não há uma fronteira bem definida entre os dois estudos. Um complementa o outro, não sendo possível dissociar um do outro. Portanto, para entendimento do zoneamento apresentado na Tabela 1 são apresentadas no presente Relatório Final RF as características dos segmentos geológico-geotécnicos definidas por Ehrlich e Silva (2013) – **ANEXO** (páginas 1 a 157).

## BACIA DO RETIRO

### Segmento Geológico-Geotécnico Retiro (km 2+000 ao km 4+000)

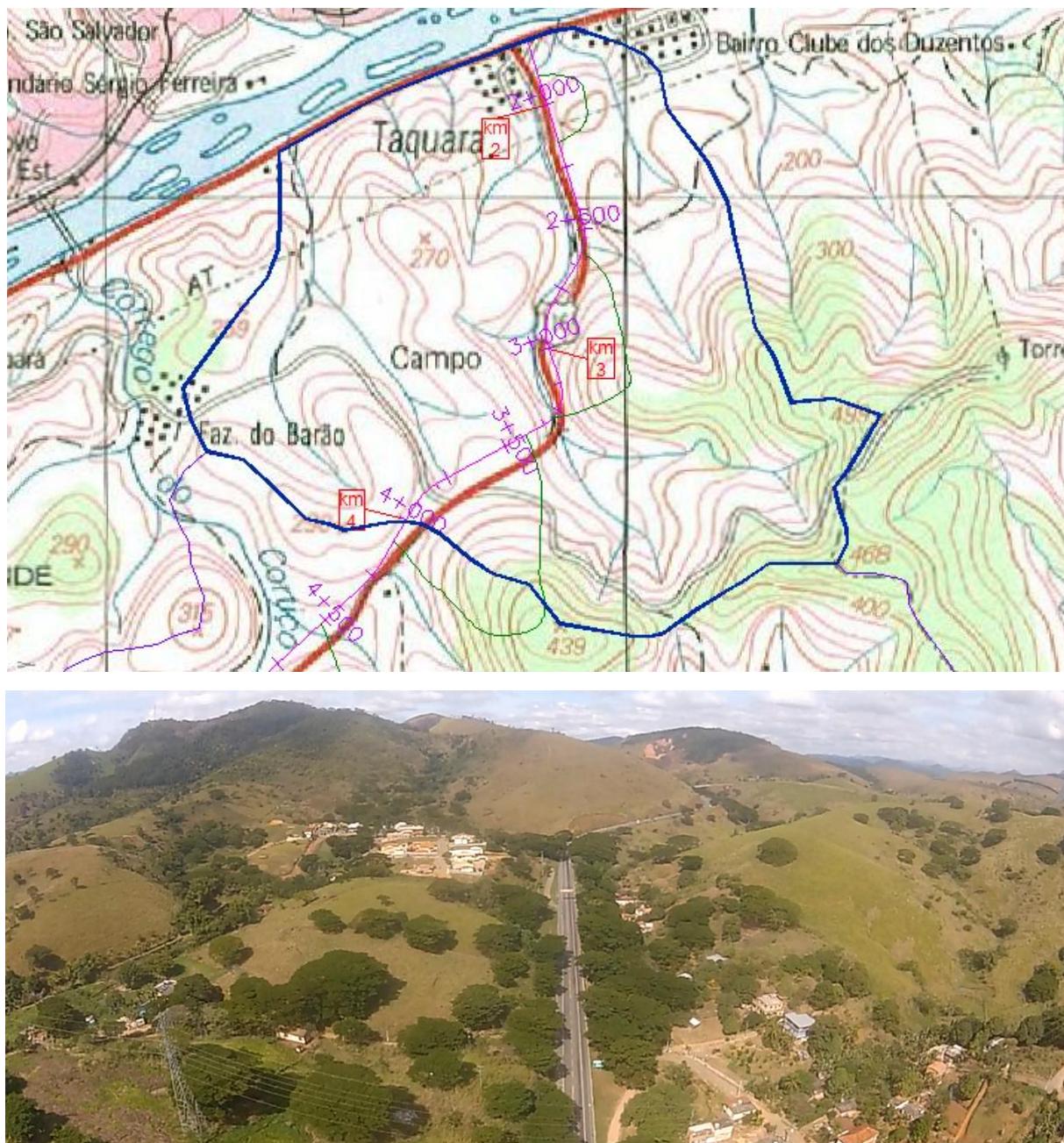


Figura 20 – Bacia do Retiro (segmento entre km 2+000 e km 4+000) e visão Geral do segmento geológico-geotécnico Bacia do Retiro (km 2 ao km 3).

## BACIA DO CORTIÇO

### Segmento Geológico-Geotécnico Cortiço 01 (km 4+000 ao km 11+500)



Figura 21 – Características morfométricas da bacia do córrego do Cortiço e faixa de influência predominantemente em planície de vales fluviais compostos de sedimentos. Corpos de aterro sobre solo aluvionar e aterros a meia encosta com saias em contato com a planície sedimentar (km 10+355).

## BACIA DO CORTIÇO

Segmento Geológico-Geotécnico Cortiço 02 (km 11+500 ao km 16+000)

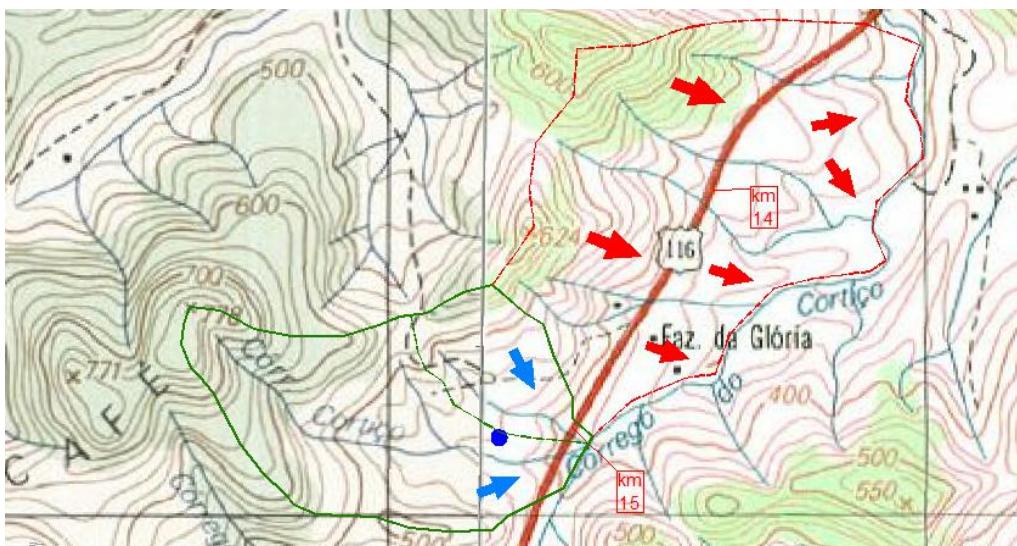


Figura 22 – Derrames coluvionares e depósitos de tálus-colúvio nos sopé das escarpas e indicação da direção da movimentação de rastejo (a montante da Ponte do Figueira).

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

### Segmento Geológico-Geotécnico Bacia do Manso (km 16+000 a km 19+800)

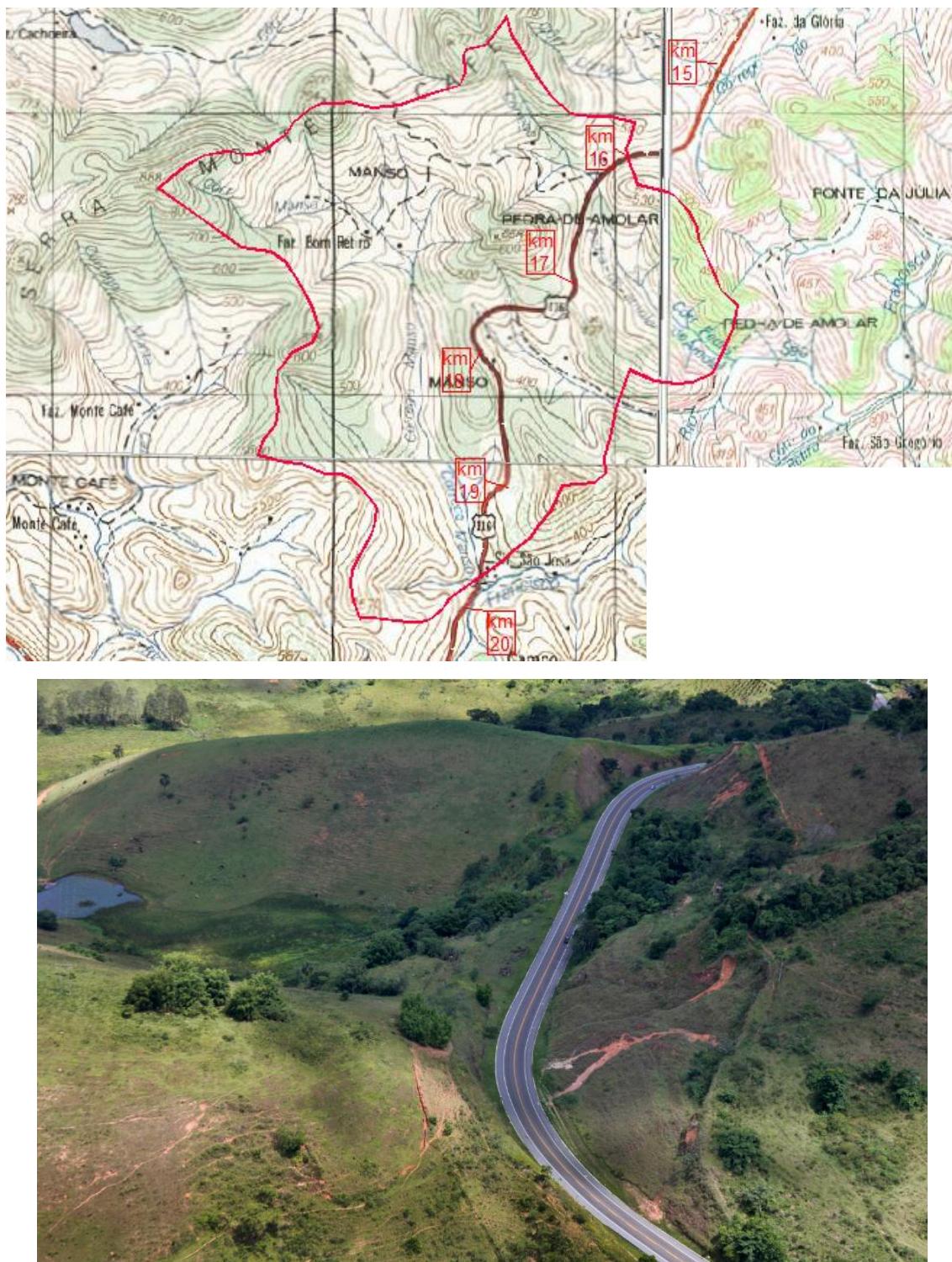


Figura 23 – Morfologia da Bacia do córrego do Manso caracterizada por relevo de morros residuais situados na base da Serra do Café com área de infiltração situada a montante da rodovia e presença de língua de tálus-colúvio.

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

Segmento Geológico-Geotécnico Bacia do Monte Café (km 19+800 ao km 22+245 - OAE)



Figura 24 – Características morfológicas e geológicas da bacia do córrego Monte Café, afluente do rio São Francisco. Destaca-se em linha azul pontilhada o fundo de vale a montante (cota superior) da plataforma rodoviária, cuja baixa declividade favorece o acúmulo de água e, por consequência, infiltração de água no maciço composto por solo e rocha. Pontos de surgência de água no contato solo-rocha e nas fraturas do afloramento rochoso recoberto (km 20+185).

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

### Segmento Geológico-Geotécnico Vertente Direita VD do rio São Francisco

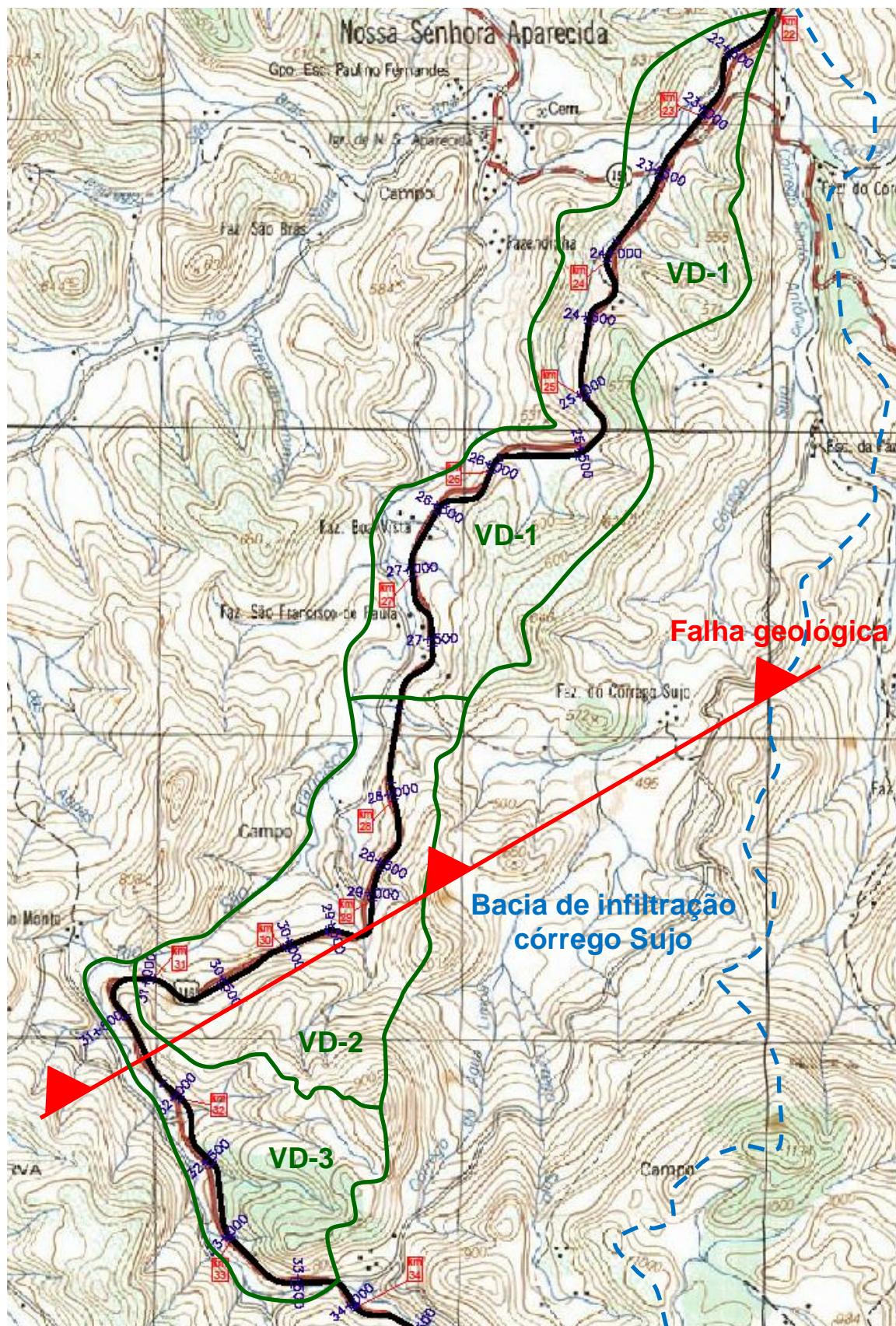


Figura 25 – Características morfológicas e geológicas da bacia do São Francisco.

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

Segmento Geológico-Geotécnico Vertente Direita VD-1 do rio São Francisco (OAE km 22+245- ao km 27+930)

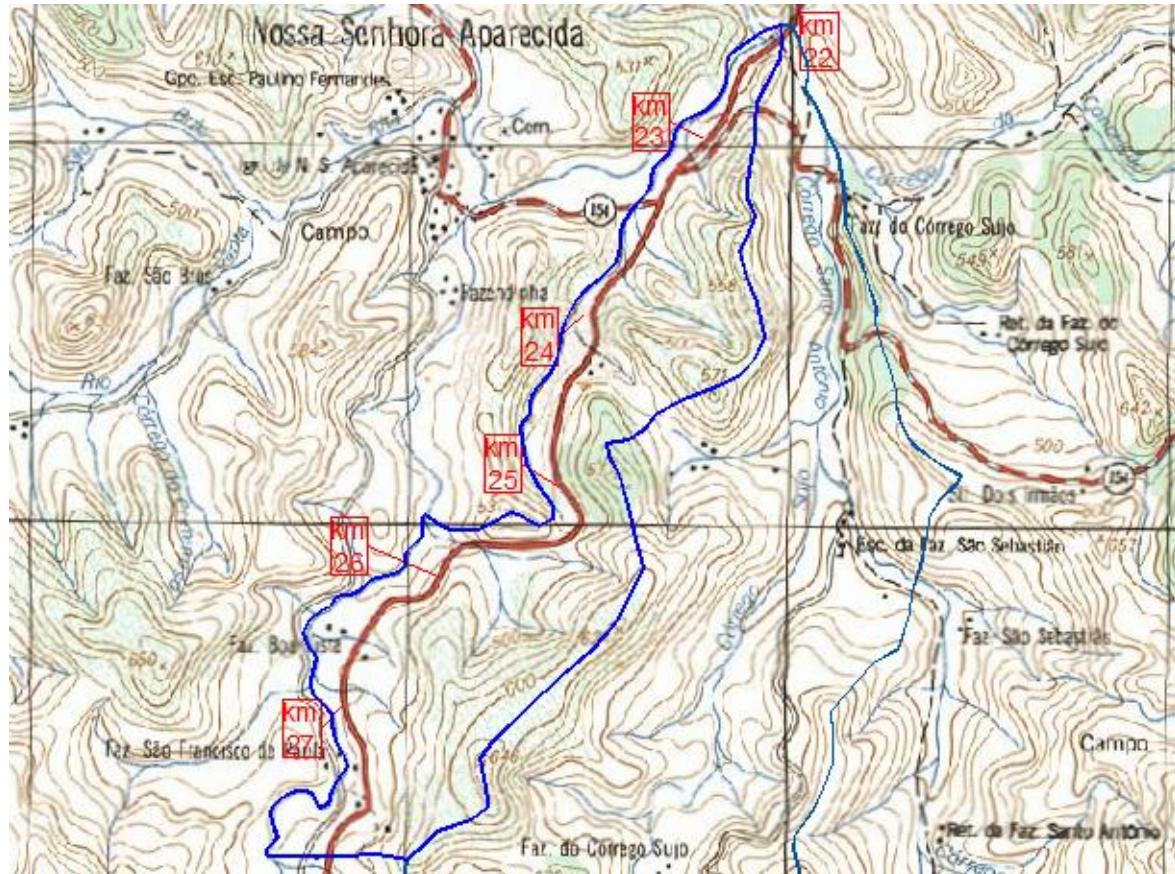


Figura 26 – Morfologia da área da vertente direita VD-1 da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Morfologia típica da Vertente Direita VD-1 do rio São Francisco (OAE km 22+245 ao km 27+930).

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

Segmento Geológico-Geotécnico Vertente Direita VD-2 do rio São Francisco (km27+930 ao km 31+120)

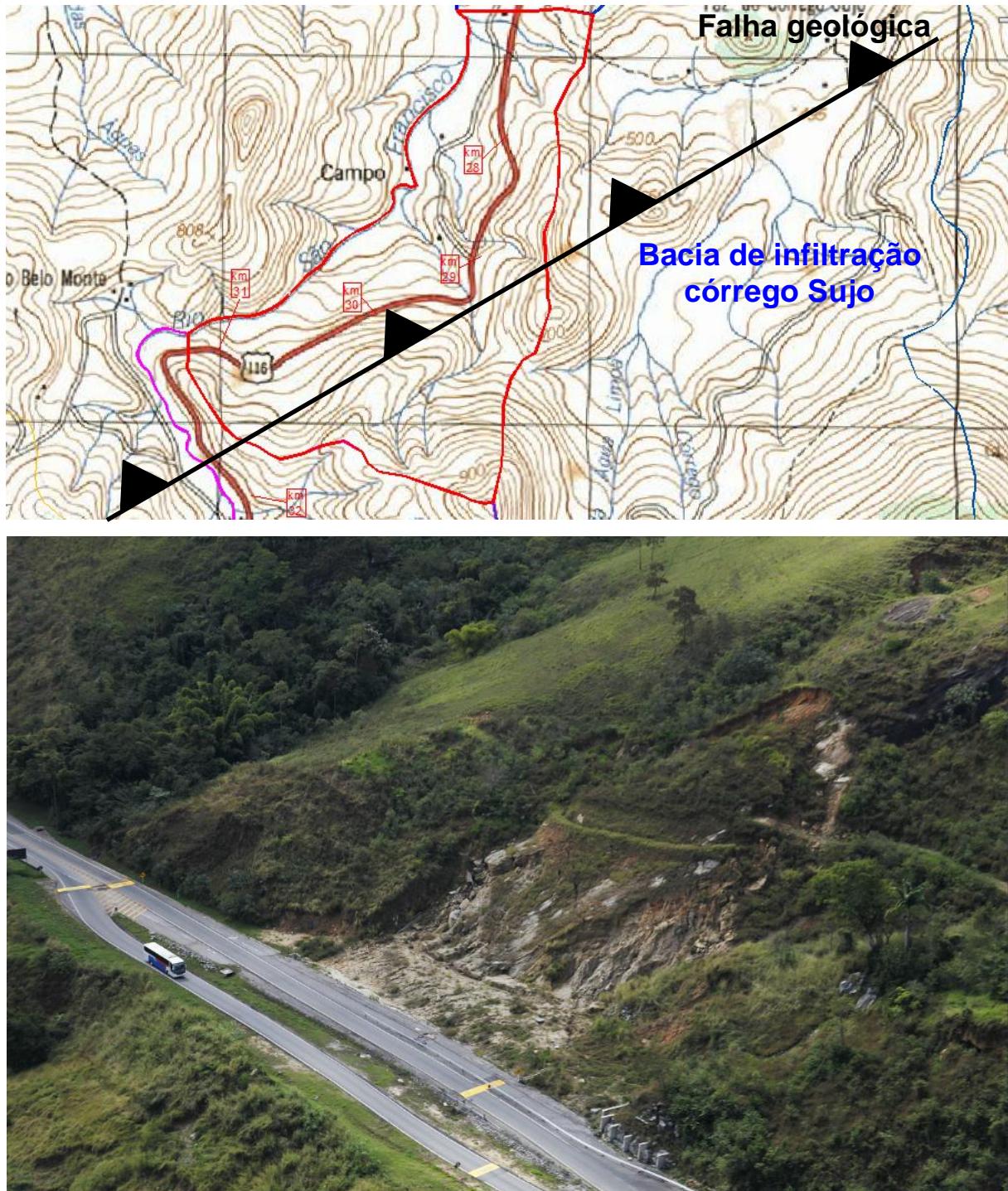


Figura 27 – Morfologia e geologia da vertente direita VD-2 do rio São Francisco. Ruptura decorrente de alívio de tensões associado a pressões de água subterrânea.



Figura 28 - Rupturas rotacionais por perda de coesão em derrames coluvionares homogêneos compostos por solo argilo siltoso marrom avermelhado e poroso (km 28+015 e km 28+195). Nota-se formação de voçorocas no talude de jusante avançando em direção à plataforma rodoviária. Evolução de processos erosivos que atingem a profundidade do lençol freático formando voçorocas nos taludes de jusante que avançam em direção à plataforma rodoviária. Diversos mecanismos de ruptura deflagrados em uma mesma encosta (km 30+305).

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

Segmento Geológico-Geotécnico Vertente Direita VD-3 do rio São Francisco (km 31+120 ao km 33+800 OAE)

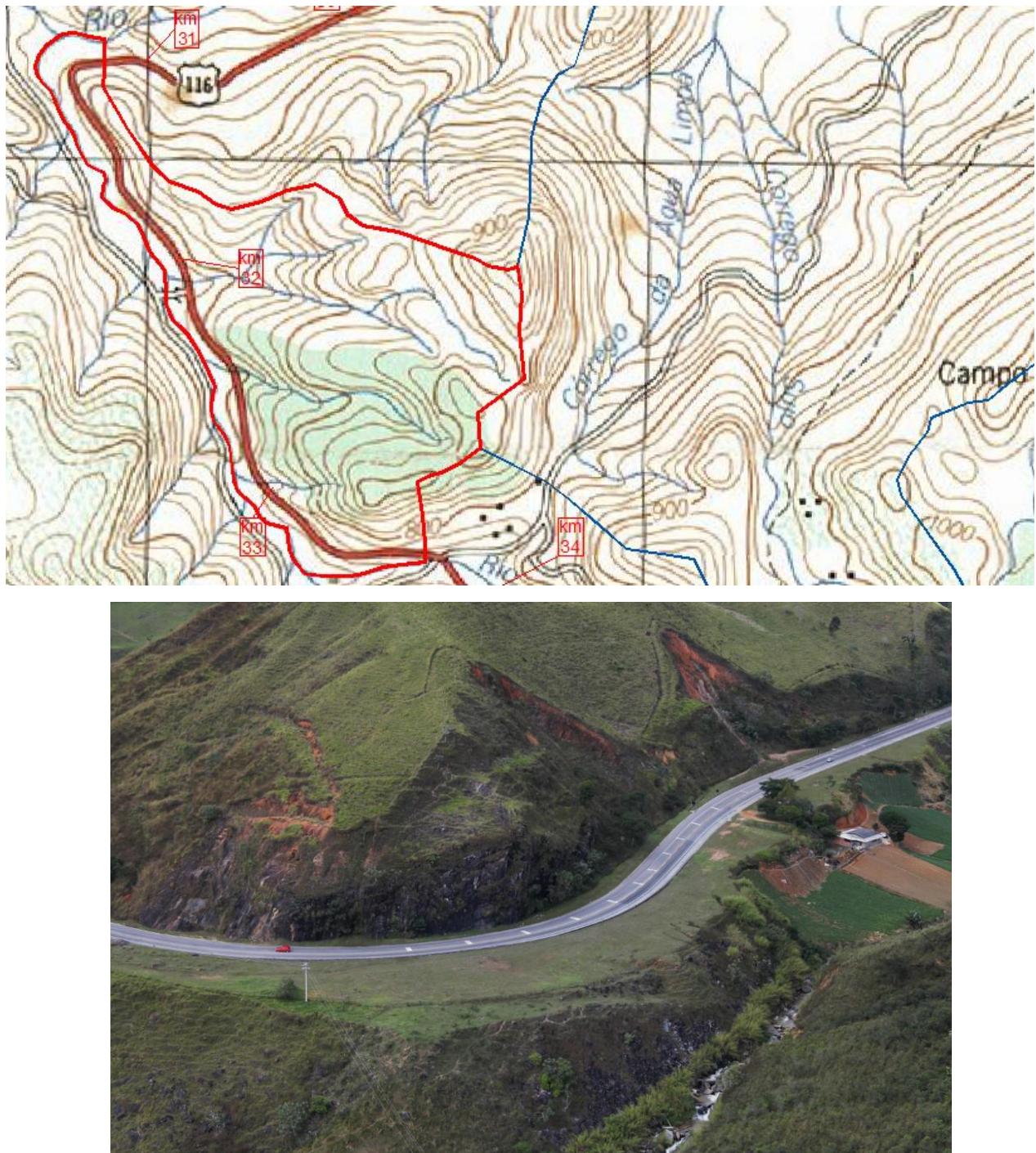


Figura 29 - Relevo da Vertente Direita VD-3 caracterizado por formas residuais com afloramentos de rocha fraturada nas bases das encostas e soerguimentos rochosos maciços residuais capeados por colúvios. Para o lado de jusante da rodovia ocorre rampas colúvio-aluvionais sotopondo terraço aluvionar da calha do canal fluvial do rio São Francisco. Rupturas de grandes proporções em morros com camadas espessas de solo residual (km 31+470 e km 31+585).



Figura 30 – Morfologia típica da Vertente Direita VD-3 do rio São Francisco (- km 31+120 ao km 33+800 OAE).

## BACIA DO SÃO FRANCISCO

### Segmento Geológico-Geotécnico Volta do Pião (OAE km 33+800 ao km 37+000)

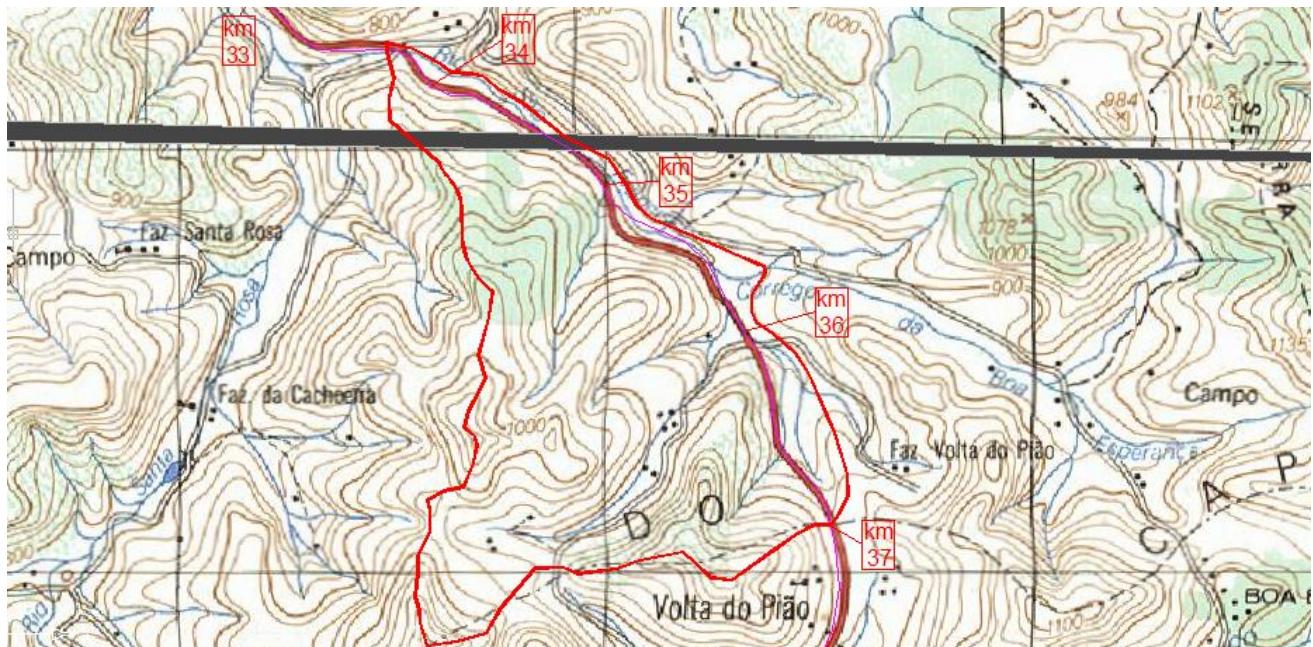


Figura 31 – Morfologia do relevo do segmento geológico-geotécnico Volta do Pião. Segmento em seção meia encosta com morro convexos (LD, pista 1) e taludes de aterro ou natural para o lado esquerdo (pista 2).

## BACIA DO CAPIM

## Segmento Geológico-Geotécnico Capim (km 37+000 ao km 48+850)

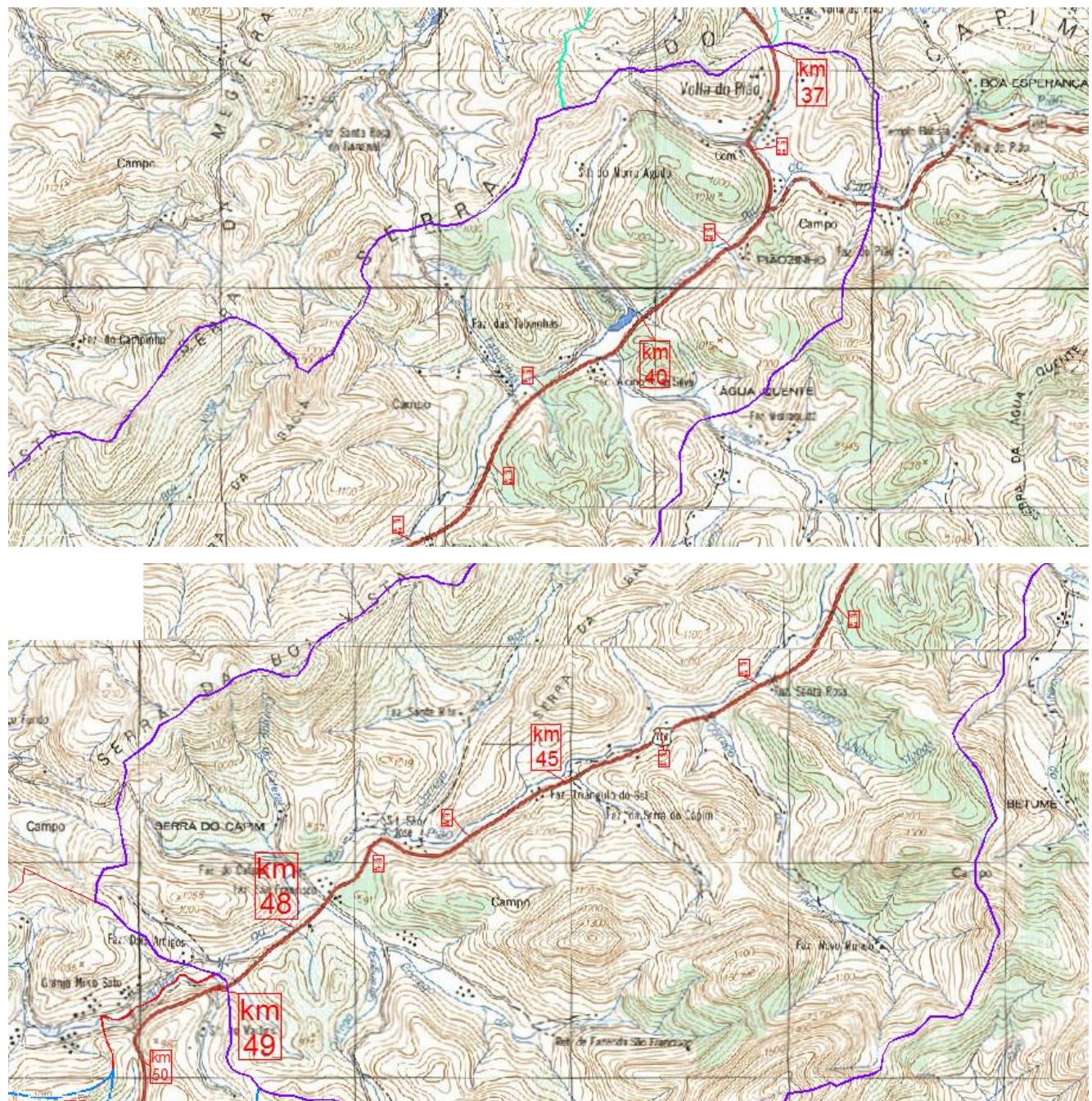


Figura 32 – Morfologia do relevo do segmento geológico-geotécnico Capim.



Figura 33 – Visão aérea da configuração do relevo do segmento do Capim - domínio de morros convexos-côncavos residuais, com ocorrência de serras, compartimentos colinosos em seções alveolares do rio do Capim e terraços com deposições aluvionares nas partes mais aberta do vale. Terraços com deposições aluvionares (lado direito da rodovia) situados entre domínio de colinas e morros (fotos no sentido crescente da quilometragem e no sentido do fluxo de água do rio Capim). Destacam-se alguns meandros na calha fluvial do rio Capim.

## BACIA DO CAPIM / AFLUENTE DO QUEBRA-COCO

Segmento Geológico-Geotécnico Japonês (km 48+850 ao km 51+000)

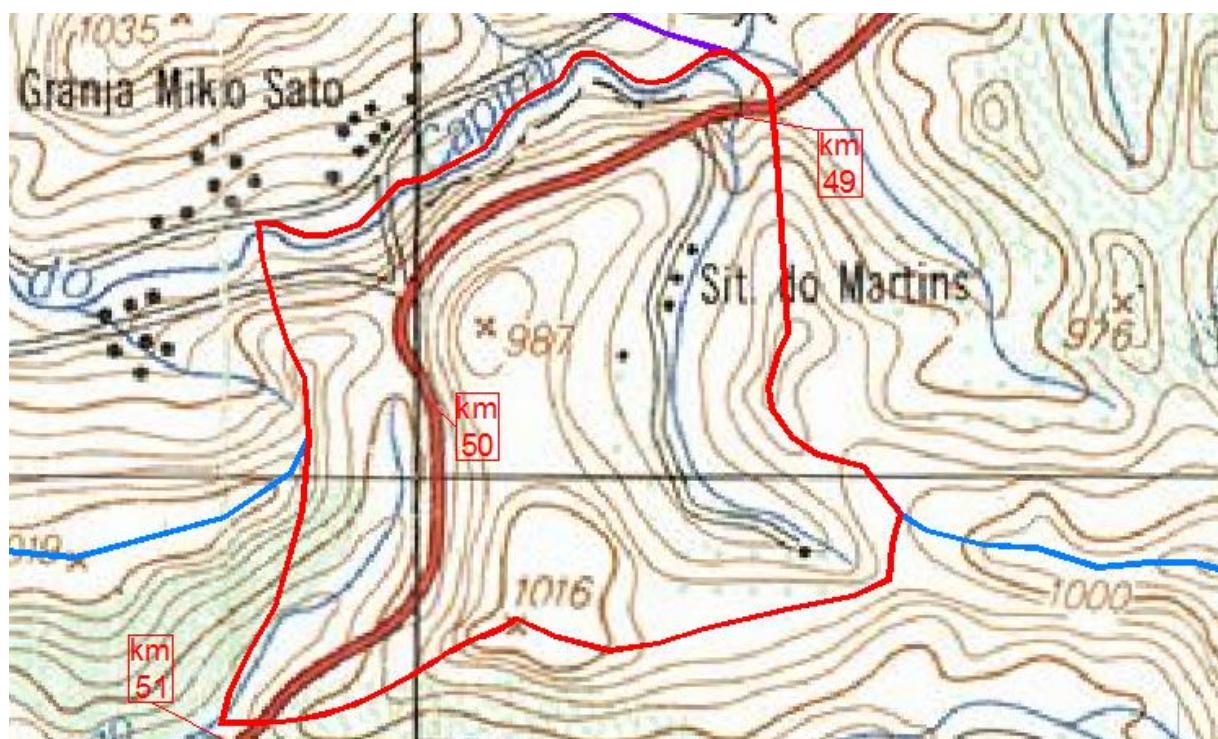


Figura 34 – Morfologia do segmento geológico-geotécnico Japonês.

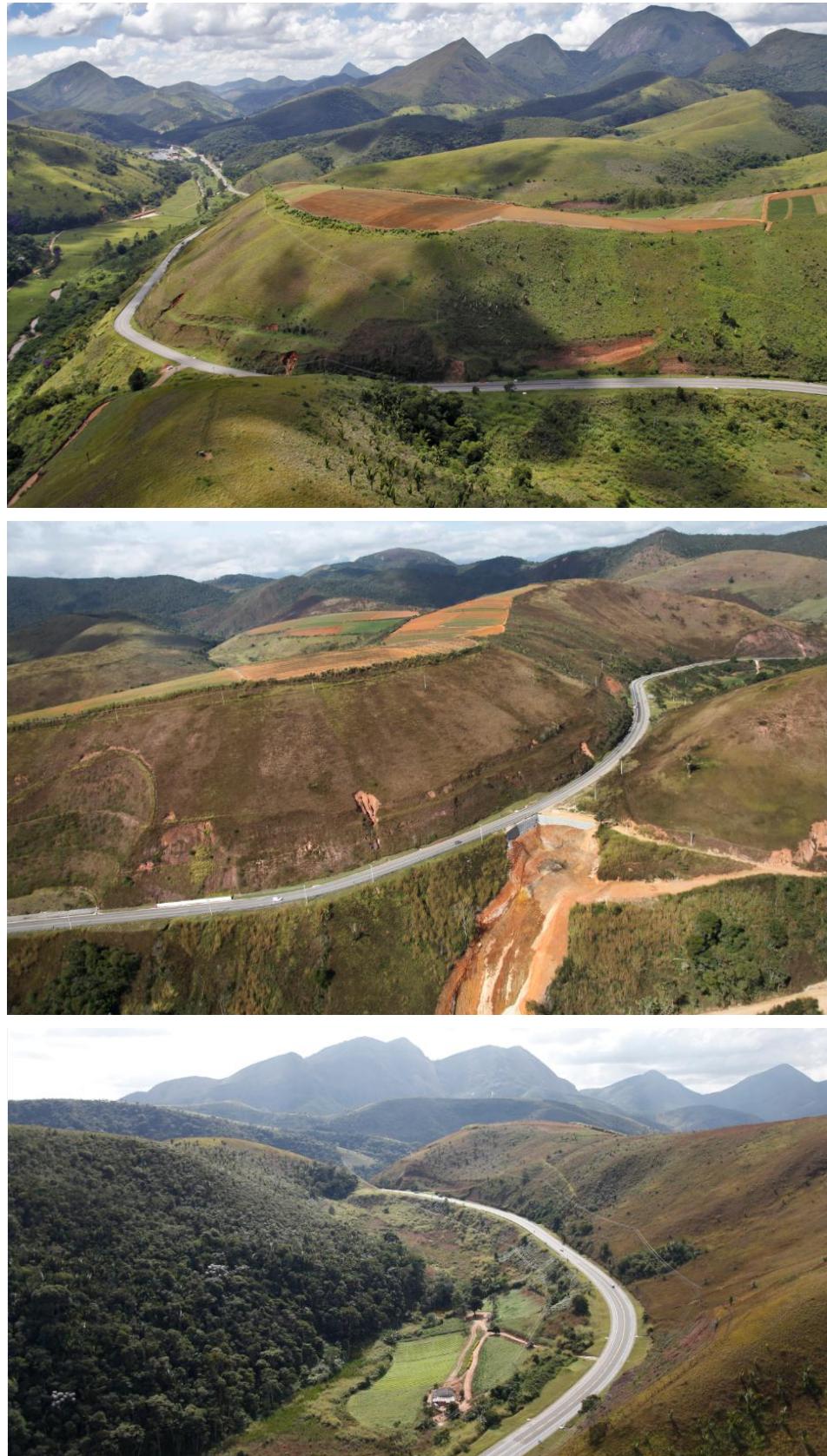


Figura 35 – Seção meia encosta com talude de jusante alto sem escalonamento (pista 1) e morro com área de plantio no topo (fonte de contribuição de água subterrânea): (a) divisor das bacias (ponto alto do greide); (b) bacia do rio do Capim ou Pião; e (c) bacia de afluente do córrego Quebra-Coco.

## BACIA DO CÓRREGO DA CORRENTEZA

Segmento Geológico-Geotécnico Quebra-Coco (km 51+000 ao km 53+950)

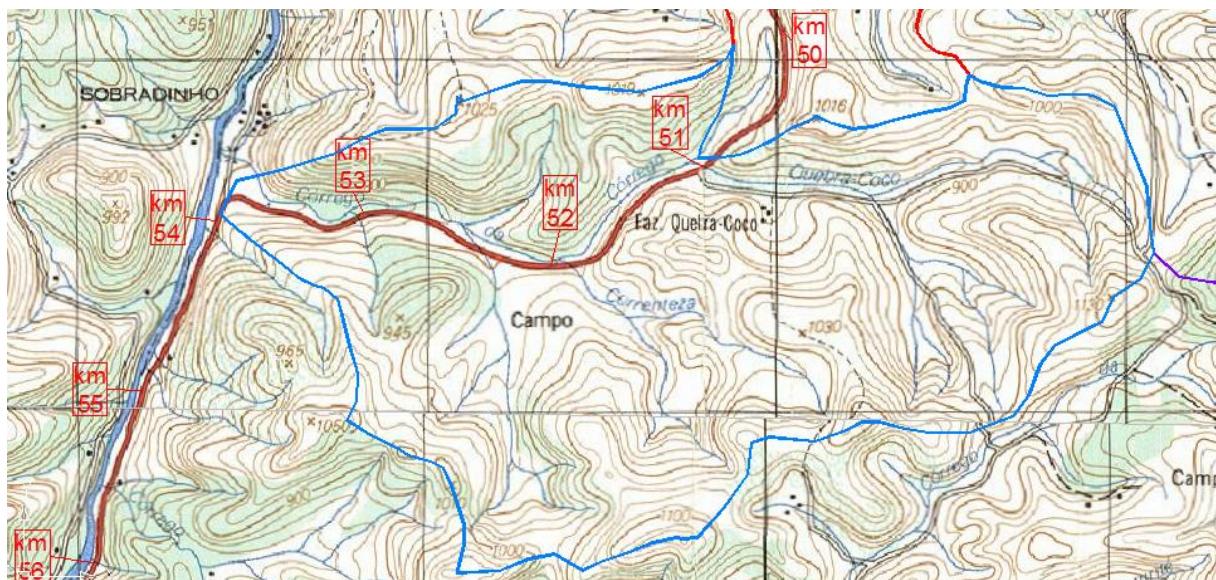


Figura 36 – Morfologia da bacia de contribuição do córrego Correnteza – afluente do rio Preto.  
 Visão do relevo do segmento geológico-geotécnico Quebra-Coco.

## BACIA DO RIO PRETO

### Segmento Geológico-Geotécnico Grama (km 53+950 ao km 56+945 OAE rio Preto)

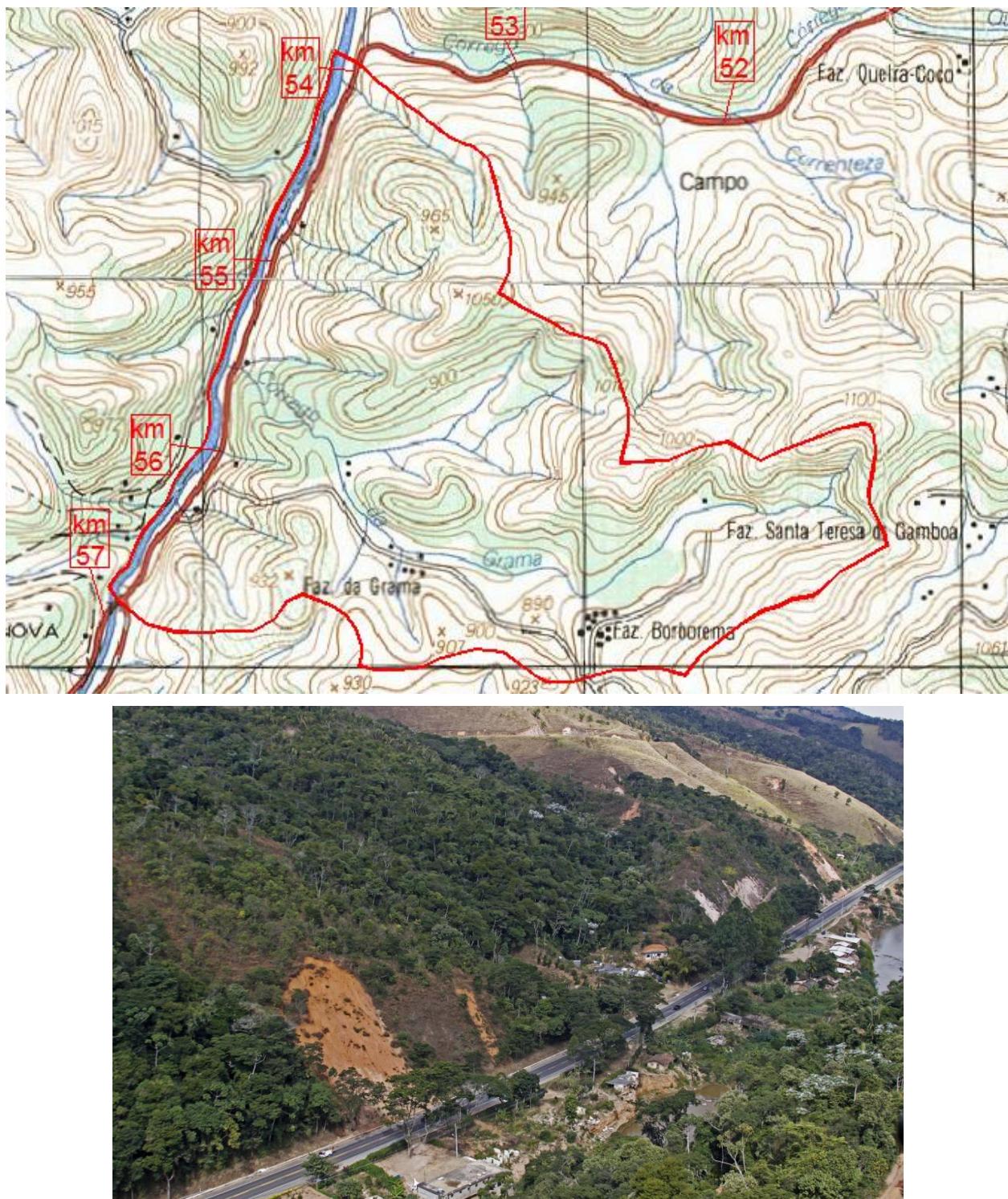


Figura 37 – Aspectos morfológicos do relevo do segmento geológico-geotécnico Grama.

Observam-se vales de terraços aluvio-coluvionar a montante dos taludes de corte da rodovia. Verifica-se que a rodovia apresenta traçado praticamente paralelo à calha fluvial, em que os taludes de jusante constituem a margem do rio Preto. Diversas rupturas mobilizadas nas encostas situadas na margem direita do rio Preto. Predominam os escorregamentos translacionais.

## BACIA DO RIO PRETO

Segmento Geológico-Geotécnico Ponte Nova (OAE rio Preto km 56+945 ao km 59+300)

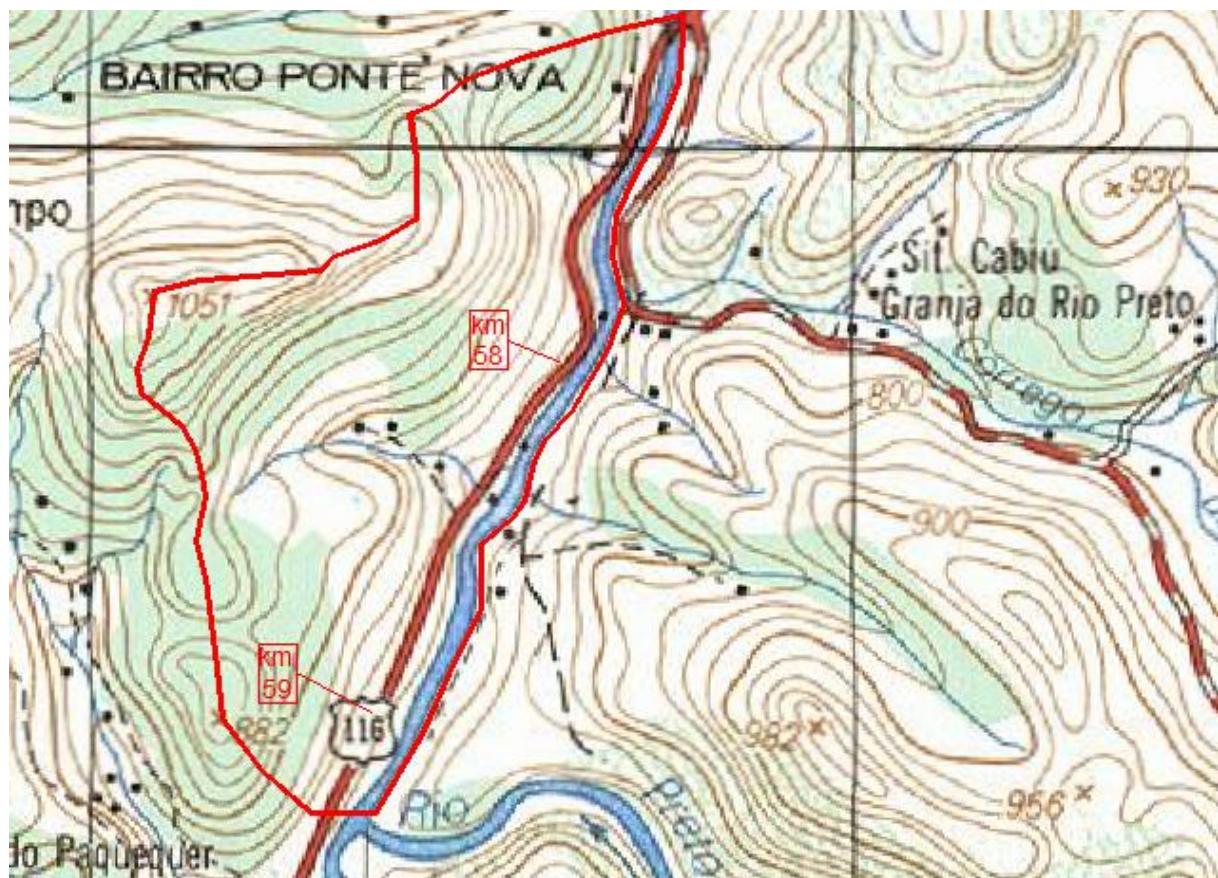


Figura 38 – Segmento geológico-geotécnico Ponte Nova é constituído de um único morro situado na pista 1 (lado direito). No lado esquerdo o talude de aterro ou natural pertence à margem esquerda do rio Preto que se desenvolve com geometria pouco sinuosa, que por vezes se aproxima da base do talude da plataforma rodoviária. Depósitos de tálus-colúvio em sopé de soerguimentos rochosos.

## BACIA DO RIO PAQUEQUER

**Segmento Geológico-Geotécnico Barra do Paquequer (km 59+300 ao 60+1.040 OAE ribeirão dos Andradadas)**

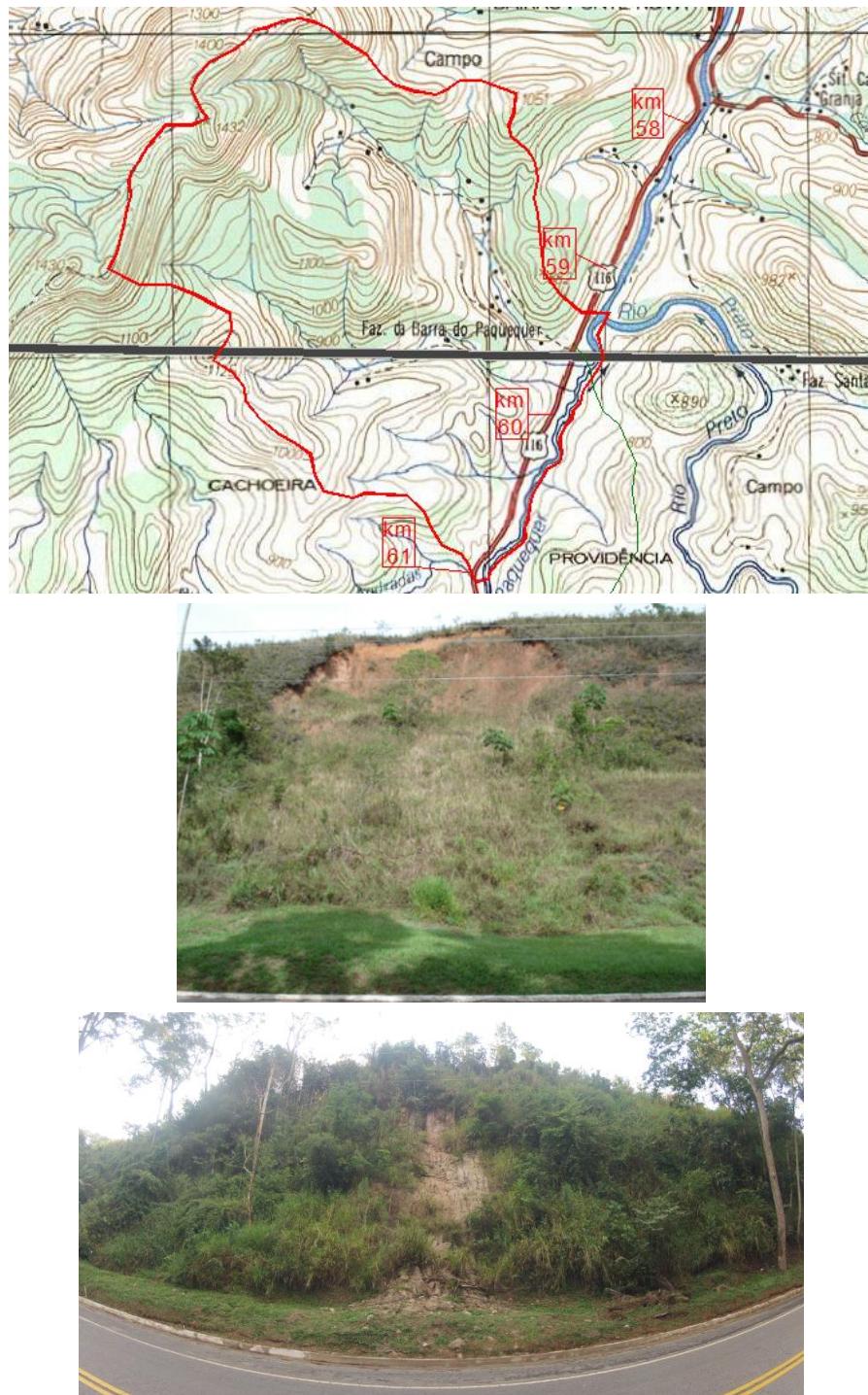


Figura 39 – Topografia do segmento geológico-geotécnico Barra do Paquequer moldada pelo sistema de drenagem, que por intemperismo diferencial apresenta vales com formações em “V” com exposição de assoalho rochoso no leito dos canais fluviais, destacando as escarpas da Serra do Taquaruçu (cota 1.432) e do soerguimento rochoso (cota 1.120) associado. Cicatriz de ruptura rotacional pouco profunda em talude de corte em solo (km 60+240, pista 1). Escorregamento do tipo translacional em alteração e saprolito (km 60+446, pista 1).

## BACIA DO RIO PAQUEQUER

**Segmento Geológico-Geotécnico Andradas (OAE ribeirão dos Andradas 60+1.040 ao km 64+925 OAE ribeirão Santa Rita)**

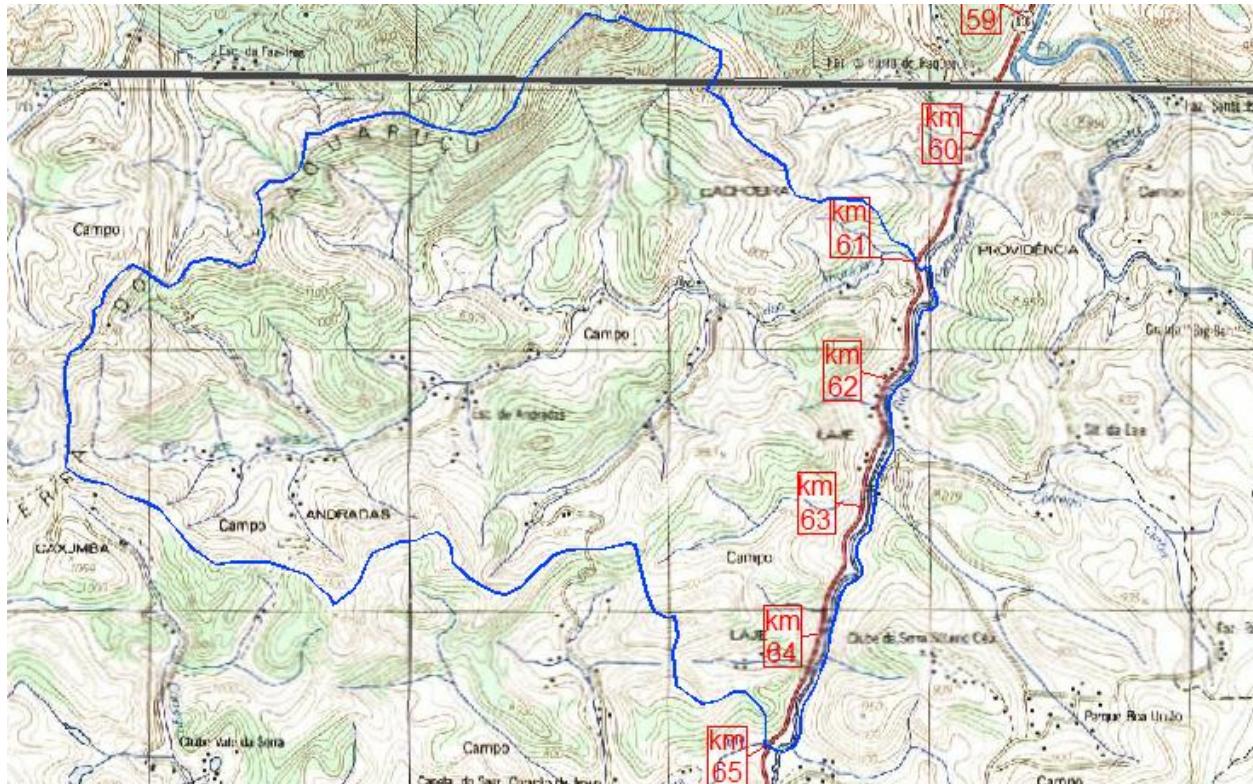


Figura 40 – Bacia hidrográfica do ribeirão dos Andradas limitada pelo divisor de águas dos contrafortes da Serra do Taquaruçu e pelo rio Paquequer. Segmento Andradas é influenciado pelo sistema de drenagem. O vale do rio Paquequer é fechado e encaixado em “V” formado por vertentes residuais, com predomínio de material de granulometria grosseira. No segmento Andradas o rio Paquequer se apresenta sinuoso com vale encaixado em “V” formado por vertentes residuais, com manto de alteração evoluindo de alteração e afloramentos rochosos para solo de granulometria mais grosseira, com predominância de silte arenoso pouco argiloso.



Figura 41 – Diversas rupturas nos taludes de montante e jusante no segmento Andradas (chuvas de 2011).

## BACIA DO RIO PAQUEQUER

**Segmento Geológico-Geotécnico Biquinha (OAE ribeirão Santa Rita 64+925 ao km 71+075  
 OAE rio Paquequer)**

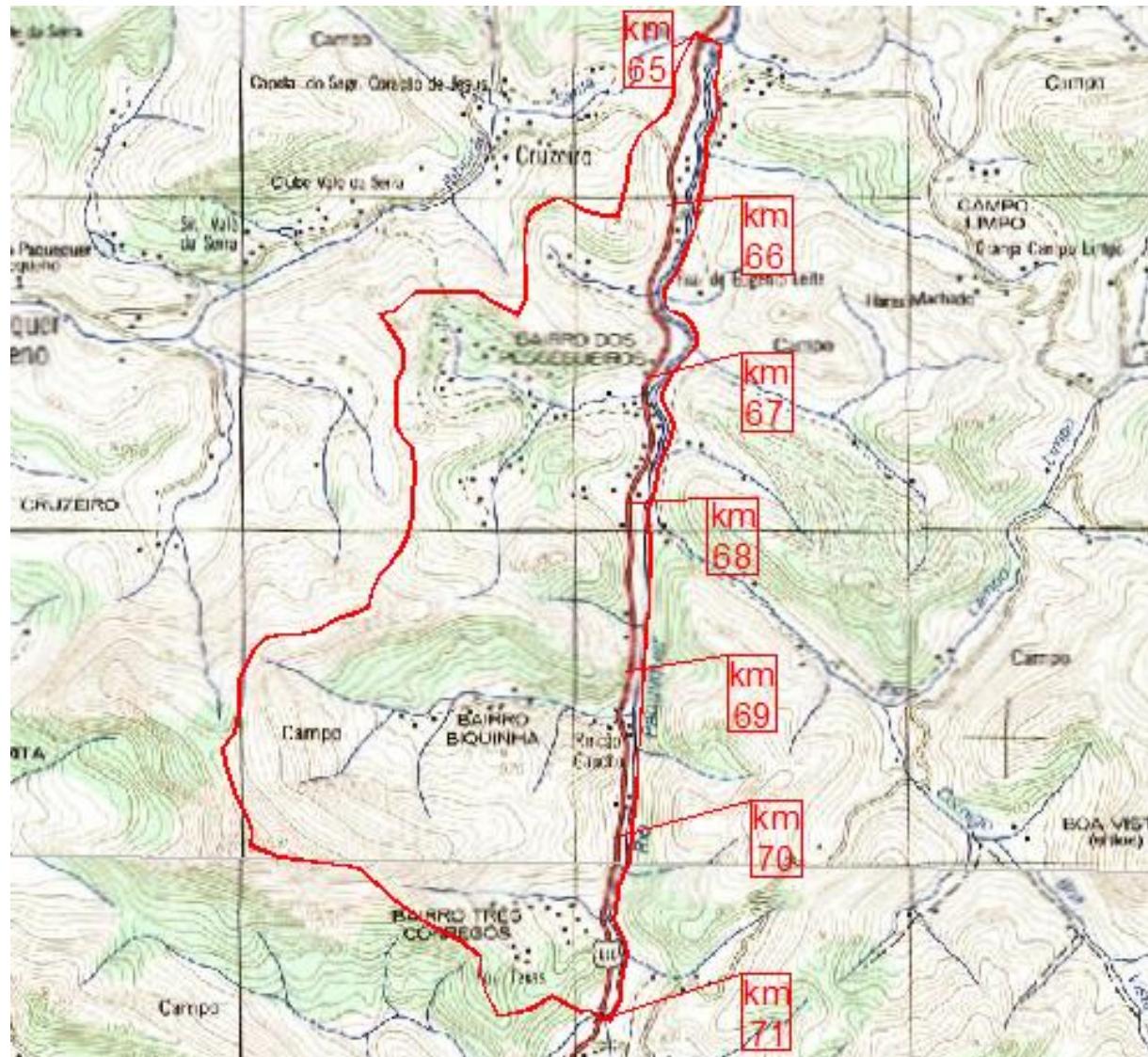


Figura 42 – Aspectos morfológicos do segmento geológico-geotécnico Biquinha.



Figura 43 – Sub-segmento maciço 2 (km 65+800 ao km 66+600): morro residual convexo com presença de língua de tálus-colúvio no sopé do afloramento rochoso. Sub-segmento maciço 1 (km 64+925 ao km 65+800): presença de depósito de páleo-tálus-colúvio no sopé do afloramento rochoso situado entre terrenos de pacote espesso de solo residual. Depósito de páleo-tálus-colúvio Nos pacotes espessos de solo a ruptura assume maior porte e, normalmente, ocorre na interface dos materiais de diferentes propriedades mecânicas e hidráulicas.



Figura 44 – Vista aérea dos sub-segmentos maciço 3 (km 66+600 ao km 67+090); maciço 4 situado ( km 67+090 ao km 68+000); e maciço 5 (km 68+000 ao km 69+1950).



Figura 45 – Vista aérea dos sub-segmentos maciço 6 (km 69+195 ao km 70+500) e maciço 7 (km 70+500 ao km 71+075).

## BACIA DO RIO PAQUEQUER

**Segmento Geológico-Geotécnico Poço do Peixe (OAE rio Paquequer km 71+075 ao km 73+560)**



Figura 46 – Relevo do segmento geológico-geotécnico Poço do Peixe. Perímetro urbano com edificações para os dois lados. Rio Paquequer passa afastado da rodovia. Encostas compostas por solo residual com eventuais afloramentos rochosos nas bases dos taludes.

## BACIA DO RIO FISCHER

Segmento Geológico-Geotécnico Fischer 01 (km 73+560 ao km 76+510)

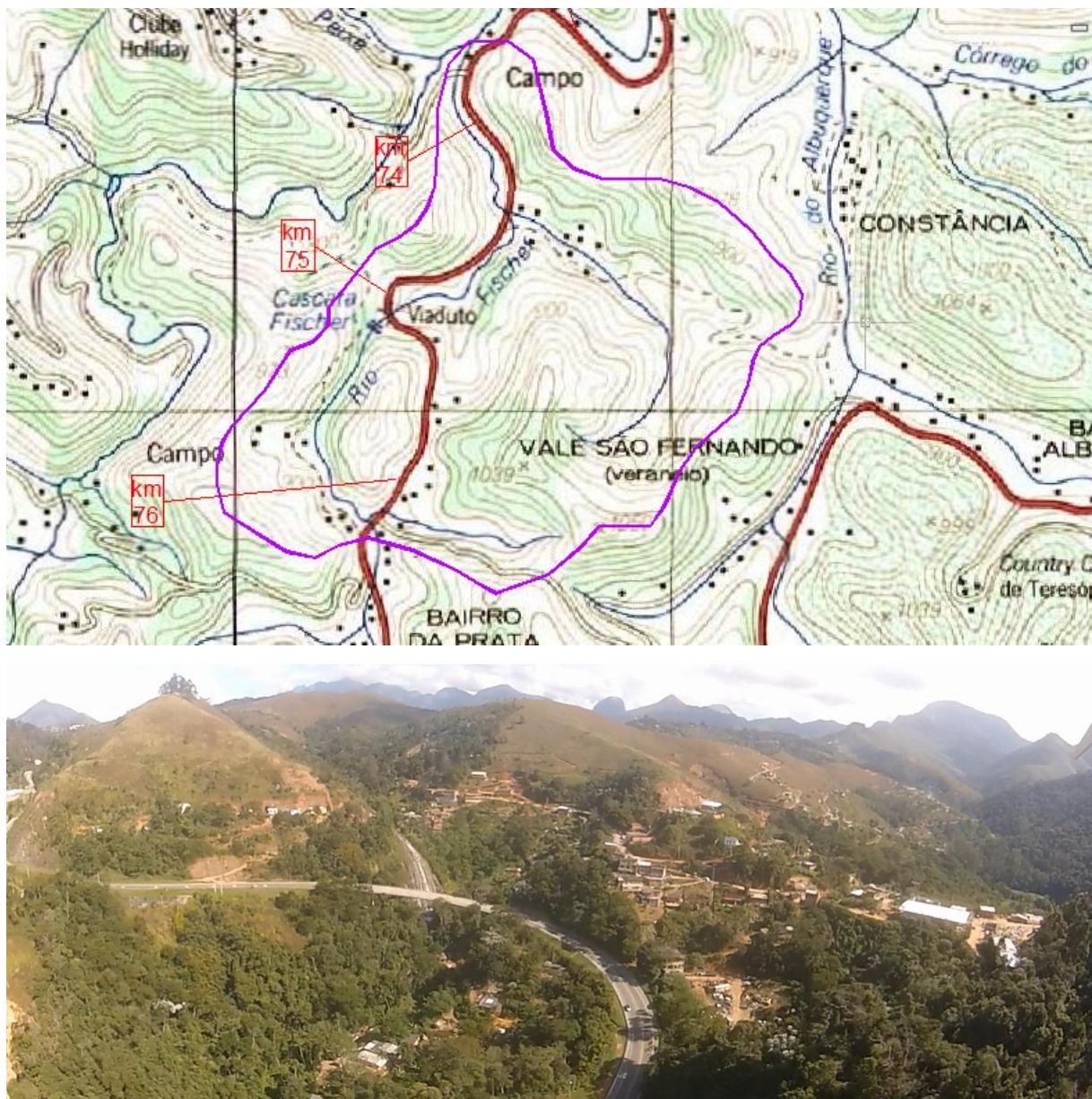


Figura 47 – Topografia do segmento geológico-geotécnico Fischer 01. Trecho em que o rio Fischer passa à esquerda da rodovia. O vale é mais profundo com declividade acentuada. Os taludes de jusante da pista 2 são altos e sua base é afetada pela força da água do rio Fischer.

## BACIA DO RIO FISCHER

### Segmento Geológico-Geotécnico Fischer 02 (km 76+510 ao km 80+150)

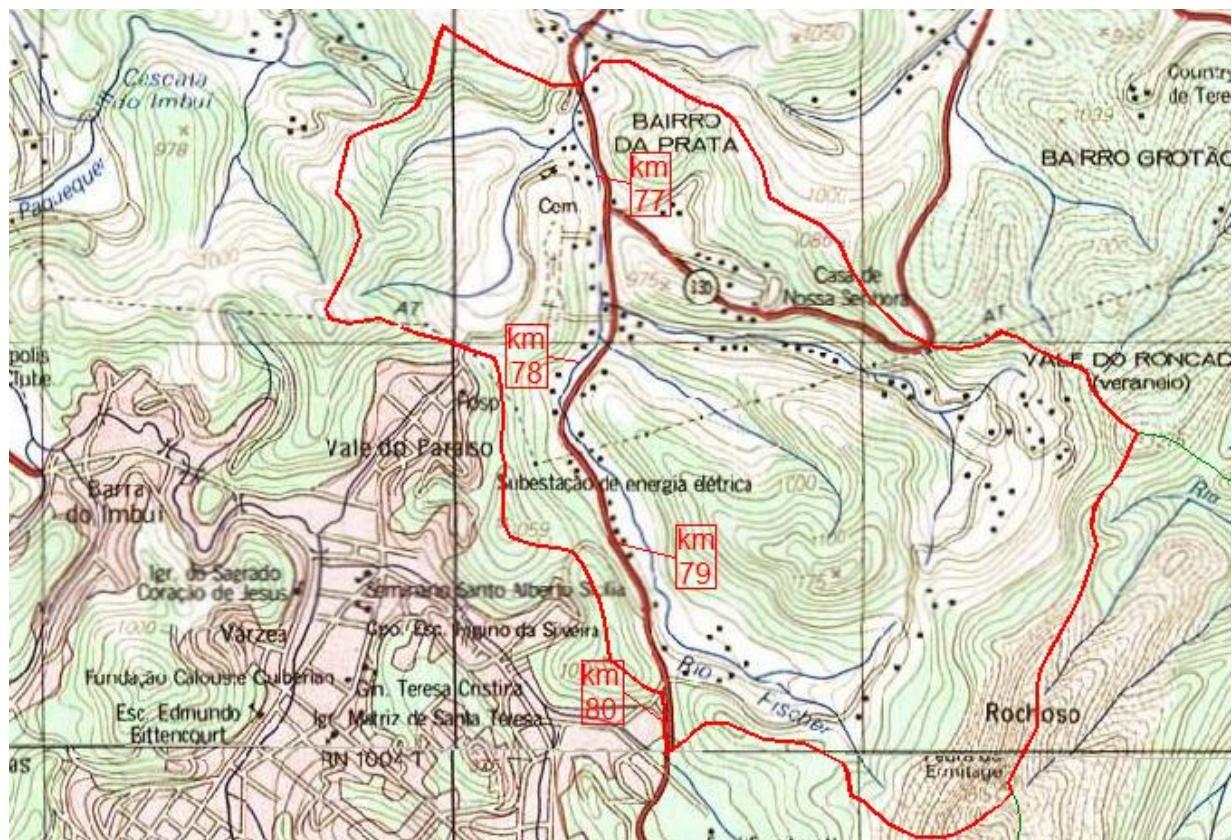


Figura 48 – Topografia do segmento geológico-geotécnico Fischer 02. Uso ocupação das encostas e taludes do segmento Fischer 02 situado em perímetro urbano.

## BACIA DO CÓRREGO MEUDON

Segmento Geológico-Geotécnico Meudon (km 80+150 ao km 83+050 / km 84+200)

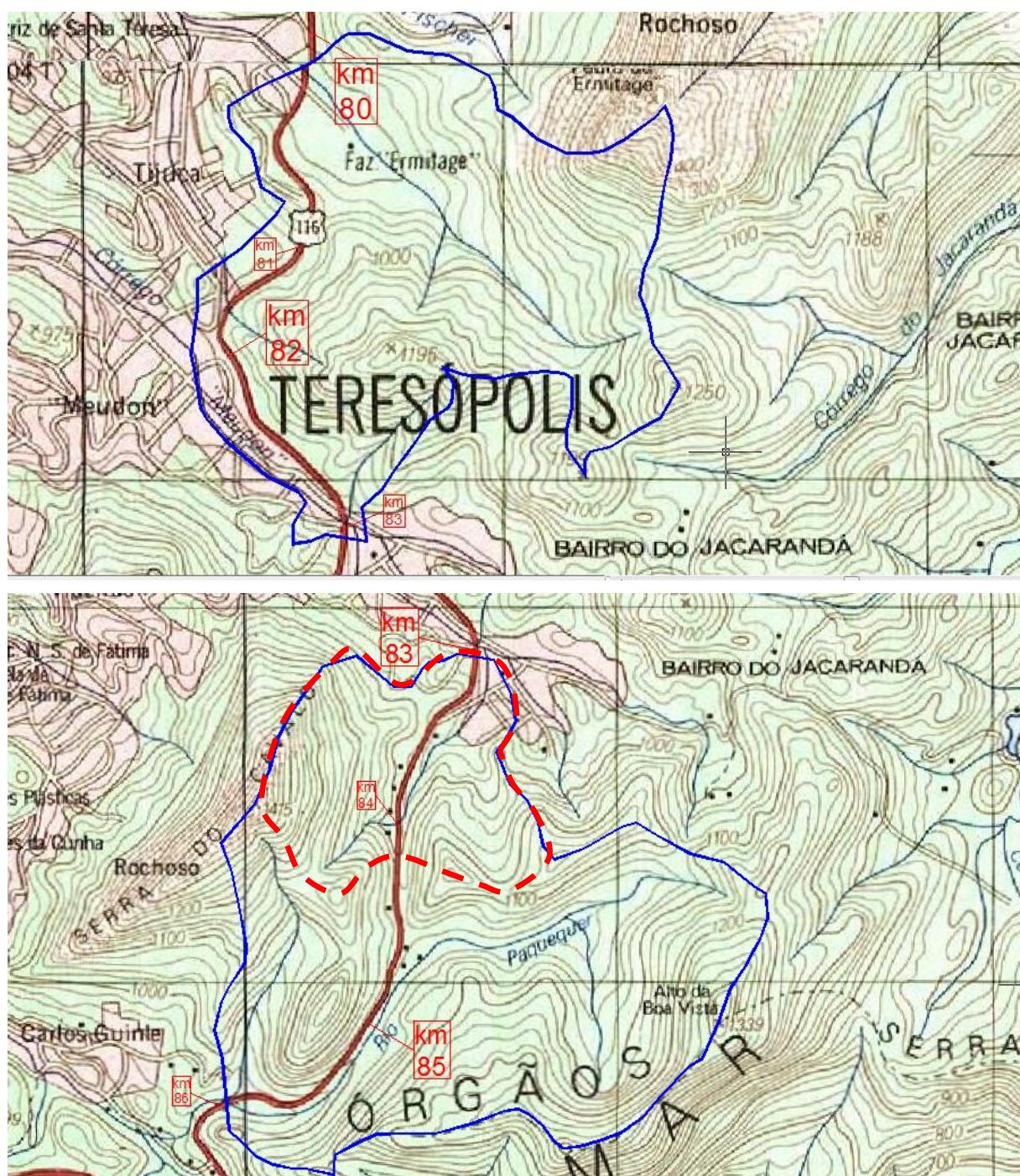


Figura 49 – Segmento geológico-geotécnico Meudon muito influenciado pelas intervenções antrópicas do perímetro urbano de Teresópolis (km 80+150 ao km 83+050). Segmento Meudon envolve parte do segmento geológico-geotécnico Serra do Cavalo (km 80+150 ao km 84+200). Destacado em vermelho o parte do segmento Meudon que envolve a Serra do Cavalo (km 83+150 ao km 84+200).



Figura 50 – Uso ocupação do segmento Meudon. Intervenções antrópicas em perímetro urbano do município de Teresópolis e obras de contenção construídas para estabilização de taludes afetados por tais intervenções.

## BACIA DO RIO PAQUEQUER

Segmento Geológico-Geotécnico Serra do Cavalo (km 84+200 ao km 85+950 OAE Represa Guinle)

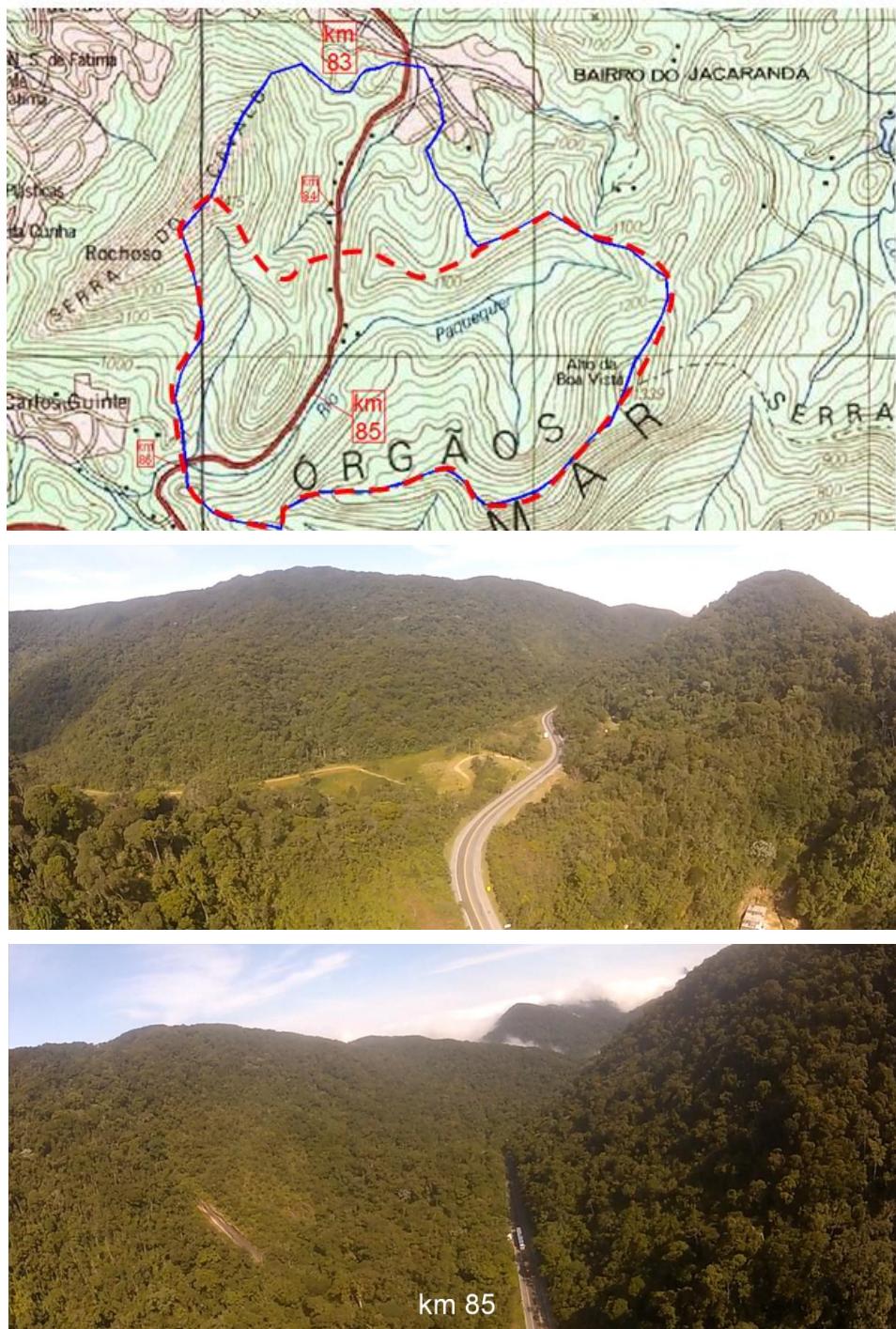


Figura 51 – Aspectos topográficos do segmento geológico-geotécnico Serra do Cavalo (km 84+200 ao 85+950 OAE Represa Guinle – destacado com linha vermelha pontilhada). Visão aérea do segmento Serra do Cavalo. Encosta íngreme com solos rasos na base do talude e afloramentos rochosos com presença de fraturas e surgência d’água.

## BACIA DO LAGO COMARI

Segmento Geológico-Geotécnico Comari (OAE Represa Guinle km 85+950 ao km 89+370)



Figura 52 – Morfologia do relevo do segmento geológico-geotécnico Comari. Verifica-se a montante do morro Comari vale aplainado com potencial de infiltração de água na direção da rodovia entre os quilômetros km 87 e km 88. Segmento caracterizado por seção meia encosta com talude de jusante para o lado direito (pista 1). Os taludes de montante pertencem à contra encosta dos contrafortes da Serra do Mar ou dos Órgãos. Os taludes são muito influenciados pela presença de água subterrânea.

## SERRA DOS ÓRGÃOS

**Segmento Geológico-Geotécnico Dedo de Deus (km 89+370 ao km 97+675)**

**Segmento Geológico-Geotécnico Santo Antônio (km 97+675 ao km 100+300)**

**Segmento Geológico-Geotécnico Monte Olivette (km 100+300 ao km 101+700)**

**Segmento Geológico-Geotécnico Bananal (km 101+700 ao 106+570)**

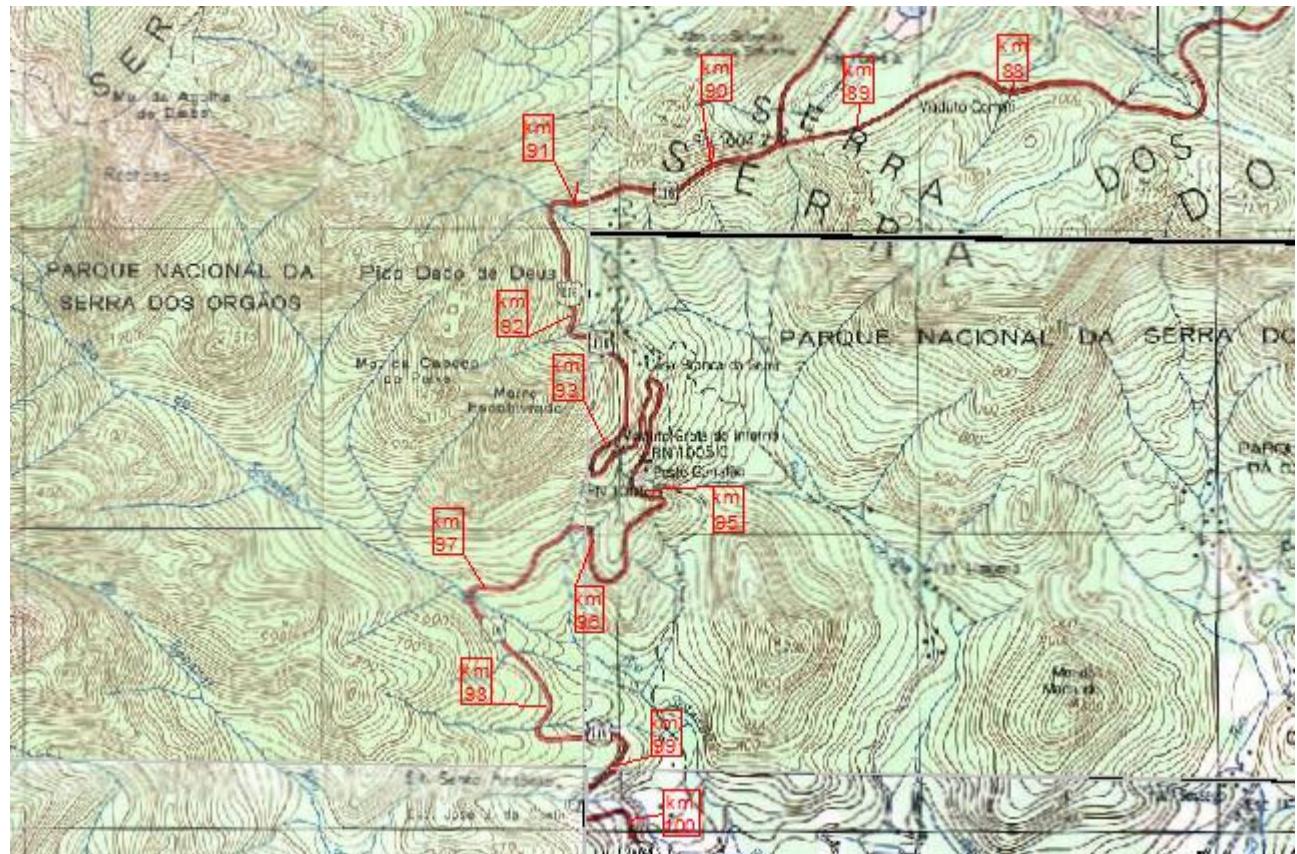


Figura 53 – Trecho da rodovia englobando alguns segmentos geológico-geotécnicos da Serra dos Órgãos: Dedo de Deus, Santo Antônio e Monte Olivette (parcial).

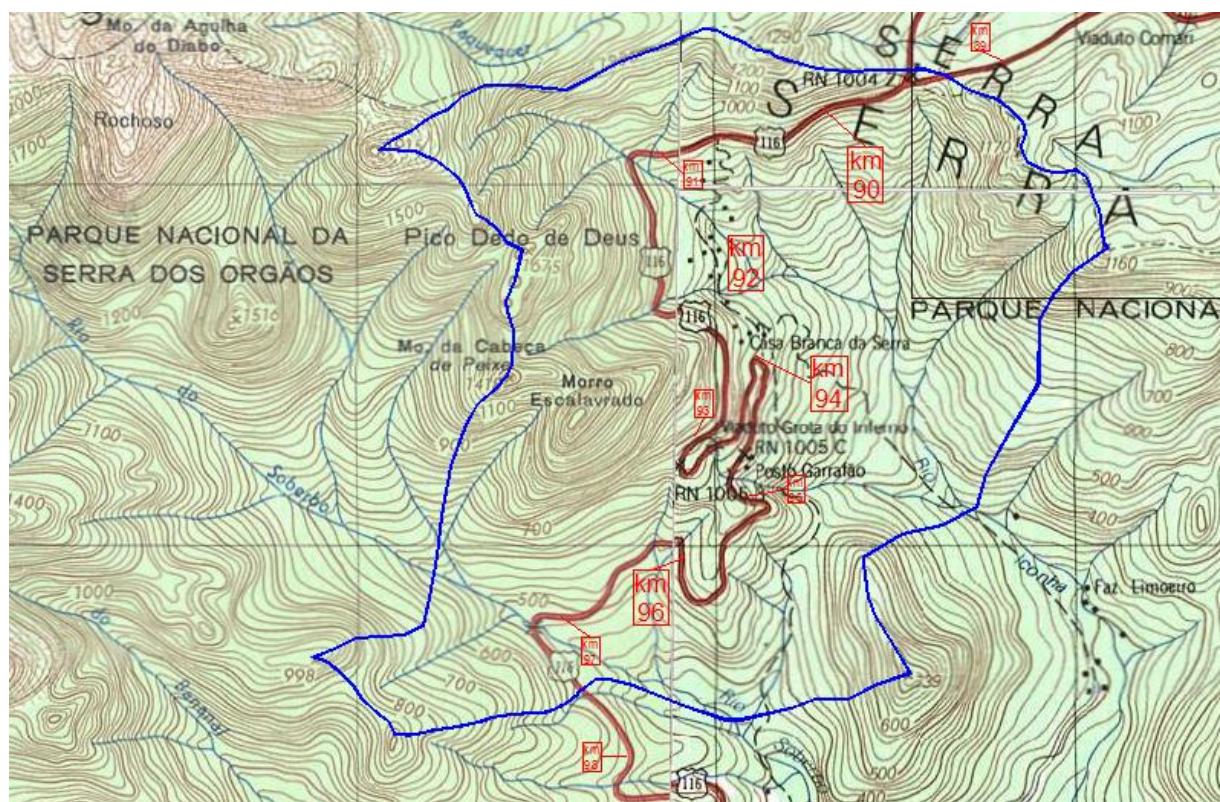


Figura 54 - Segmento geológico-geotécnico Dedo de Deus (km 89+370 ao km 97+675).

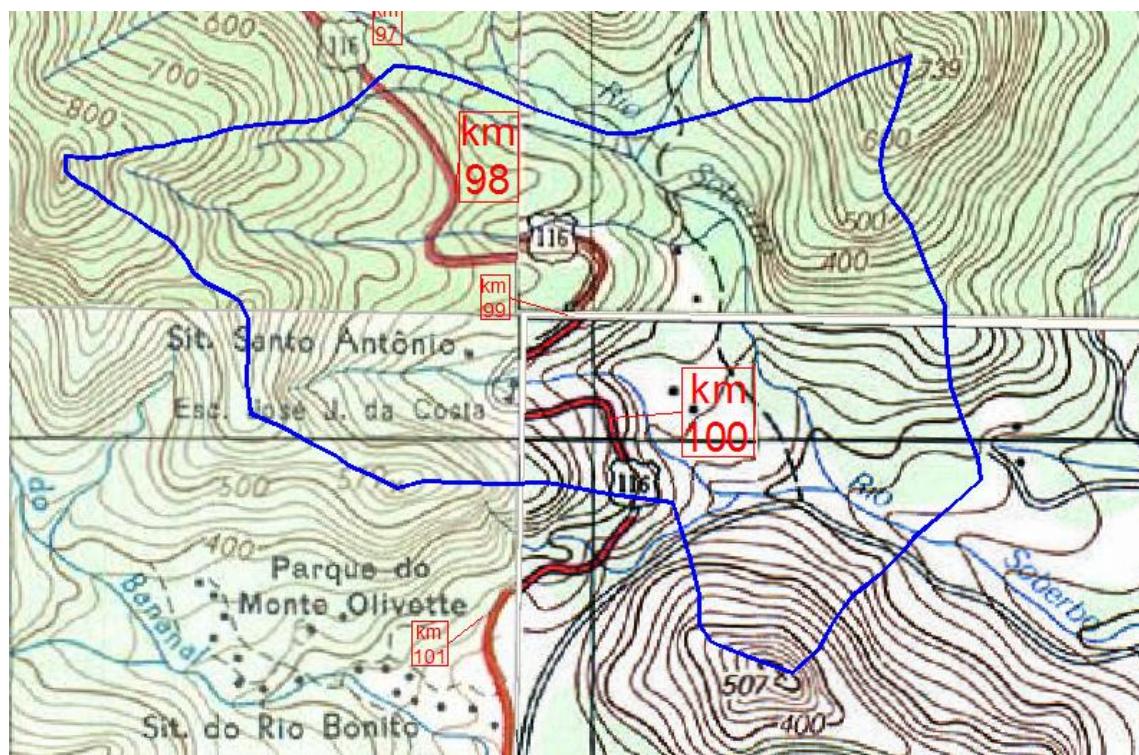


Figura 55 - Segmento geológico-geotécnico Santo Antônio (km 97+675 ao km 100+300).

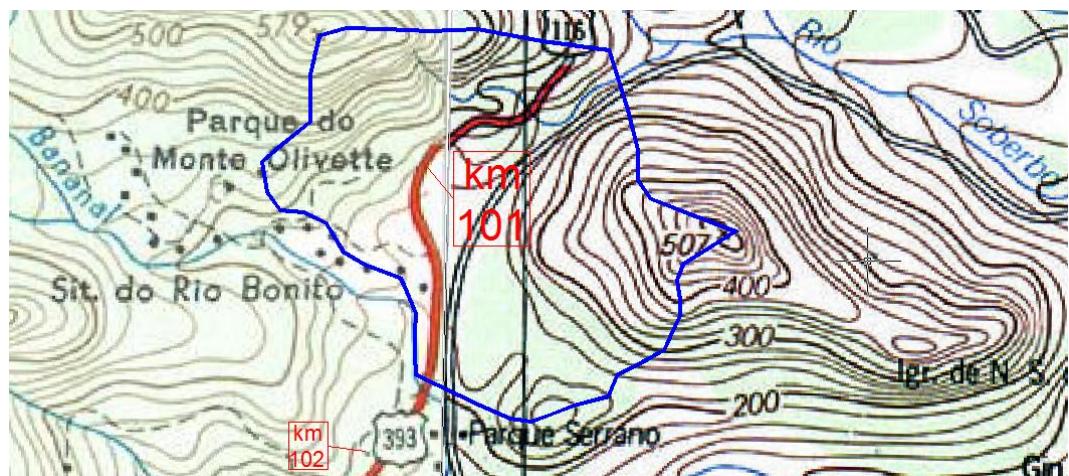


Figura 56 - Segmento geológico-geotécnico Monte Olivette (km 100+300 ao km 101+700).

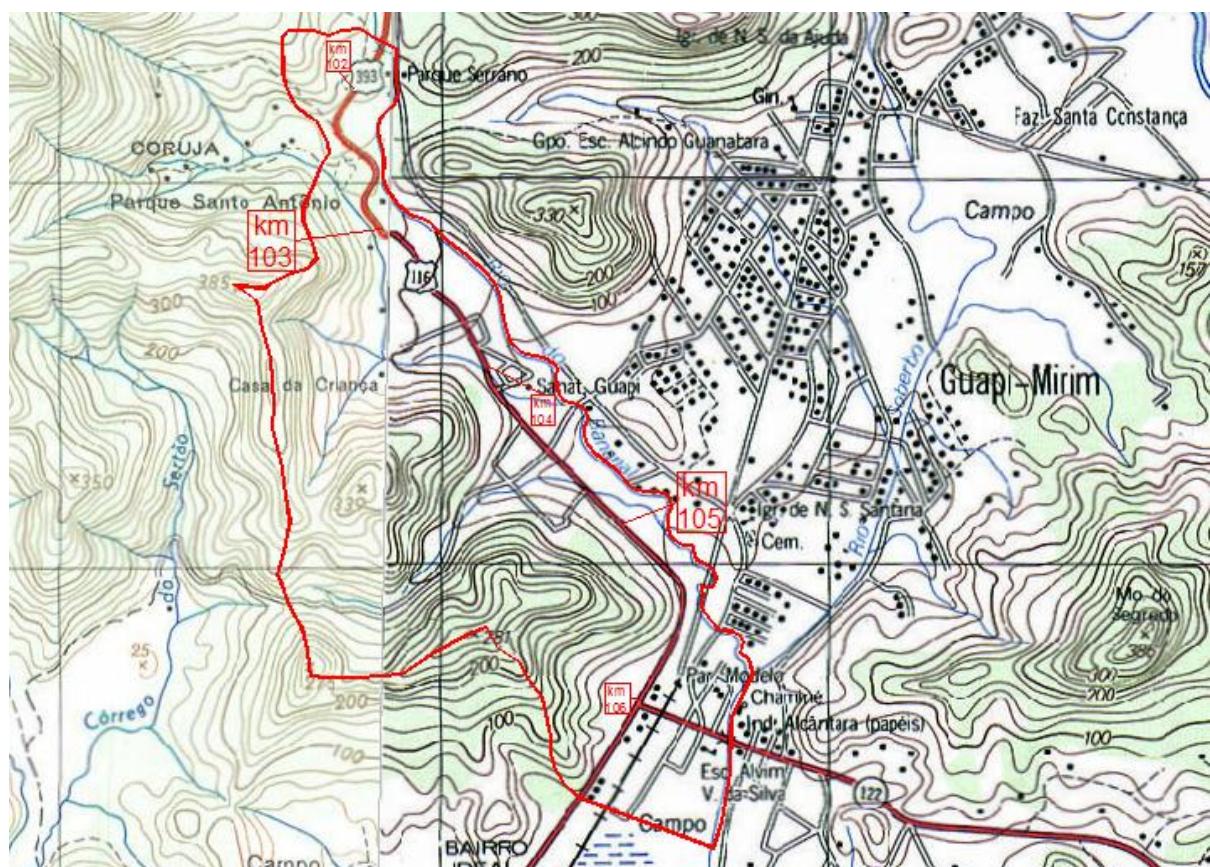


Figura 57 - Segmento geológico-geotécnico Bananal (km 101+700 ao 106+570).

## PÉ DA SERRA E BAIXADA

## Segmento Geológico-Geotécnico Ideal (km 106+570 ao km 110+900)

## Segmento Geológico-Geotécnico Citrolândia (km 110+900 ao km 116+115)

## Segmento Geológico-Geotécnico Prazeres (km 116+115 ao km 118+600)

## Segmento Geológico-Geotécnico São Bento (km 118+600 ao km 122+145)

## Segmento Geológico-Geotécnico Suruí Mirim (km 122+145 ao km 126+235)

## Segmento Geológico-Geotécnico Suruí (km 126+235 ao km 132+000)

## Segmento Geológico-Geotécnico Imbariê (km 132+000 ao km 139+979)

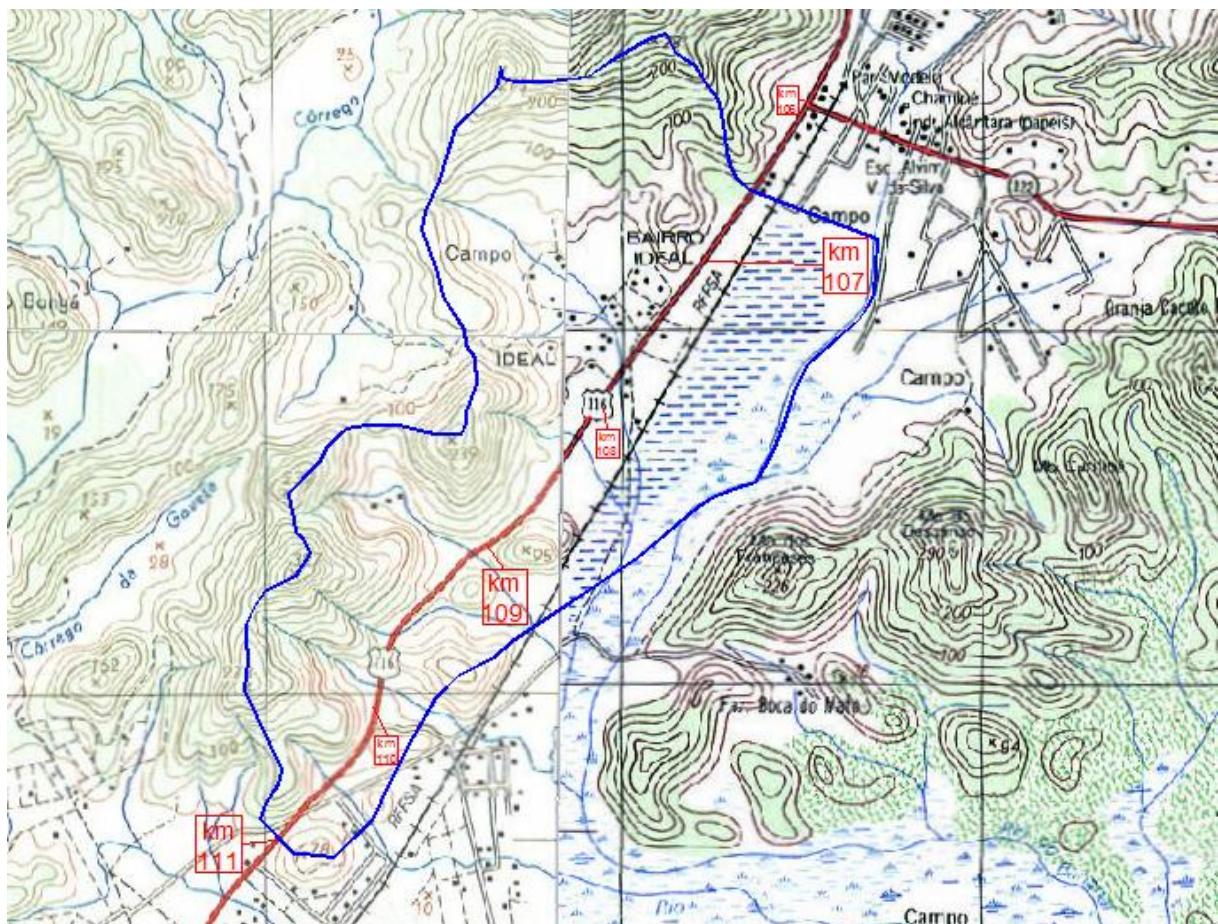


Figura 58 – Segmento geológico-geotécnico Ideal (km 106+570 ao km 110+900).

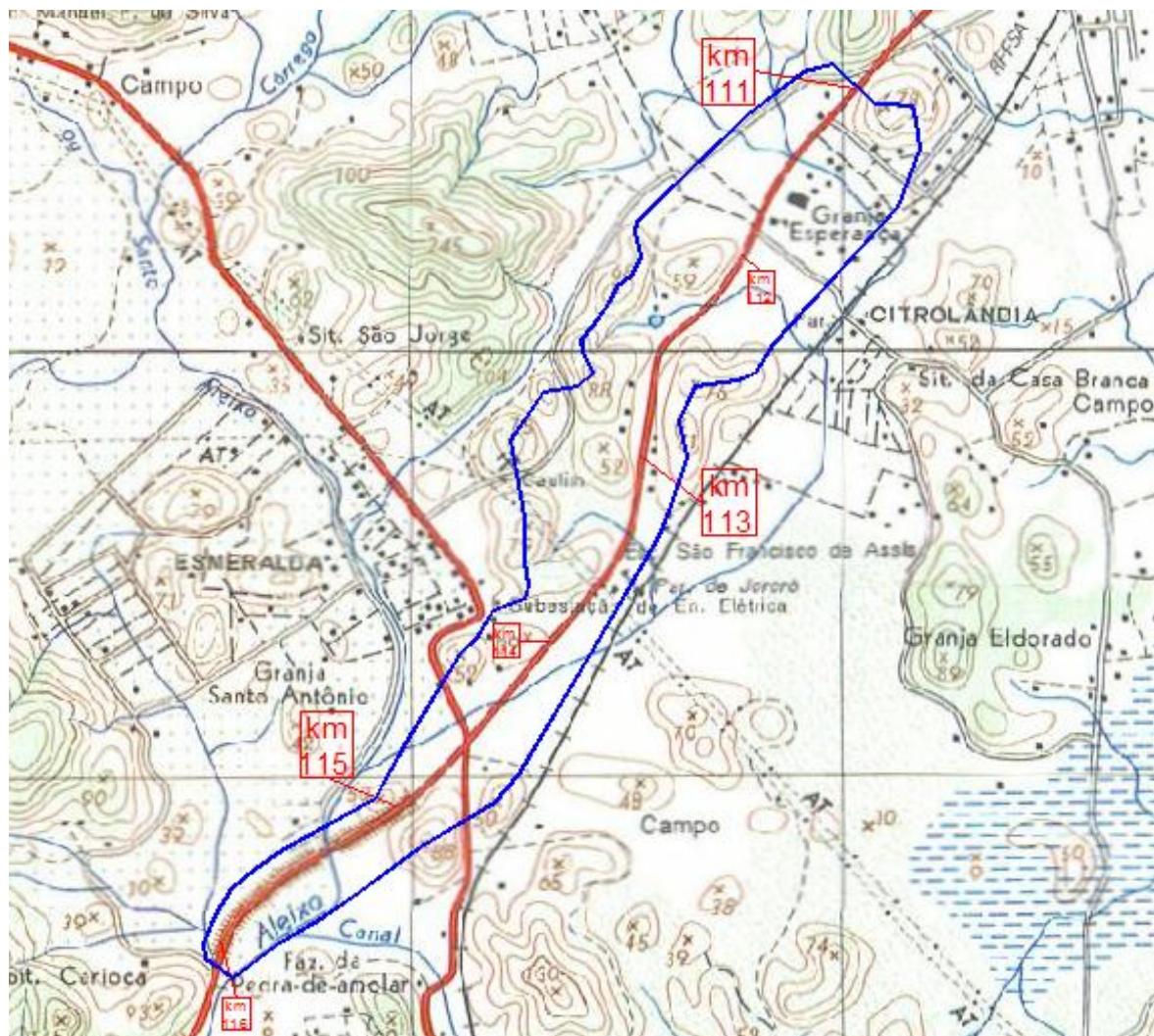


Figura 59 – Segmento Geológico-Geotécnico Citrolândia (km 110+900 ao km 116+115).

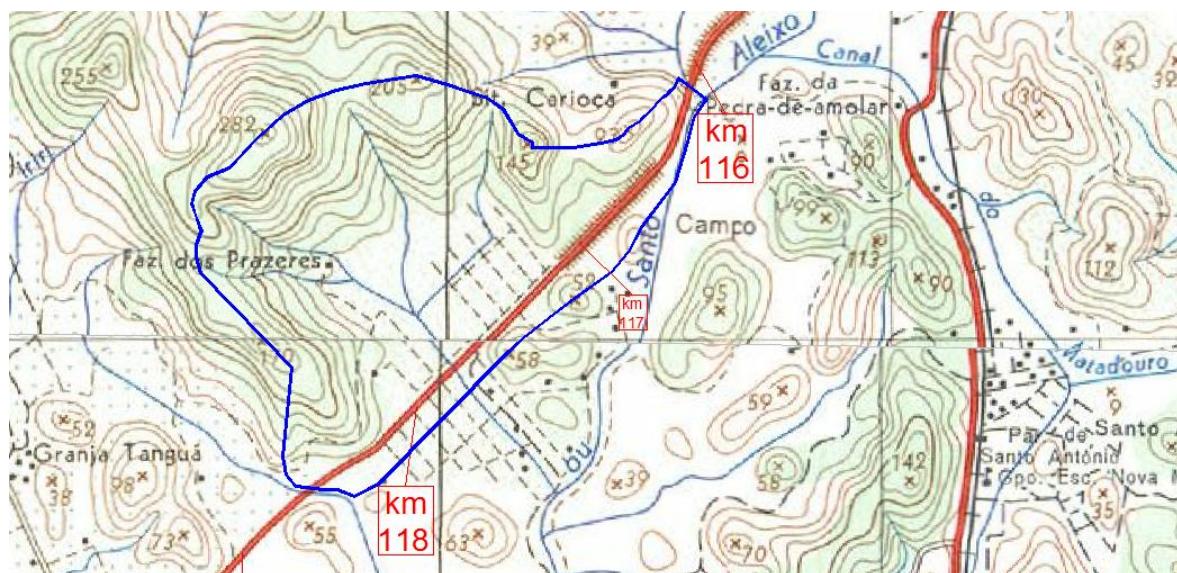


Figura 60 – Segmento Geológico-Geotécnico Prazeres (km 116+115 ao km 118+600).

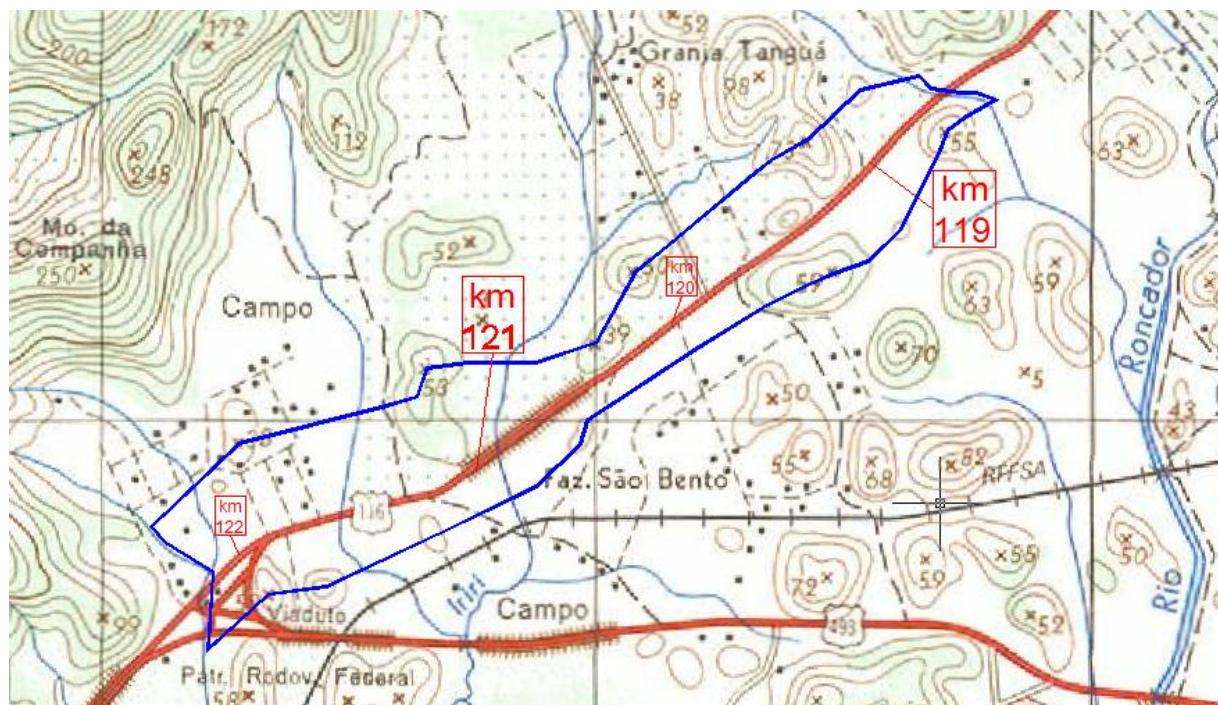


Figura 61 – Segmento Geológico-Geotécnico São Bento (km 118+600 ao km 122+145).

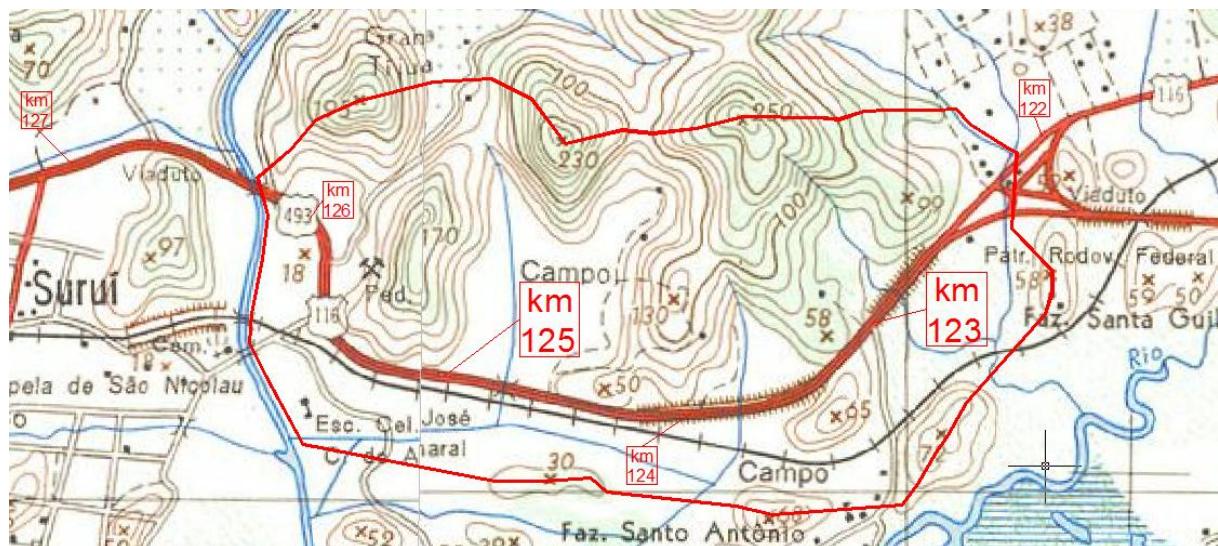


Figura 62 – Segmento Geológico-Geotécnico Suruí Mirim (km 122+145 ao km 126+235).

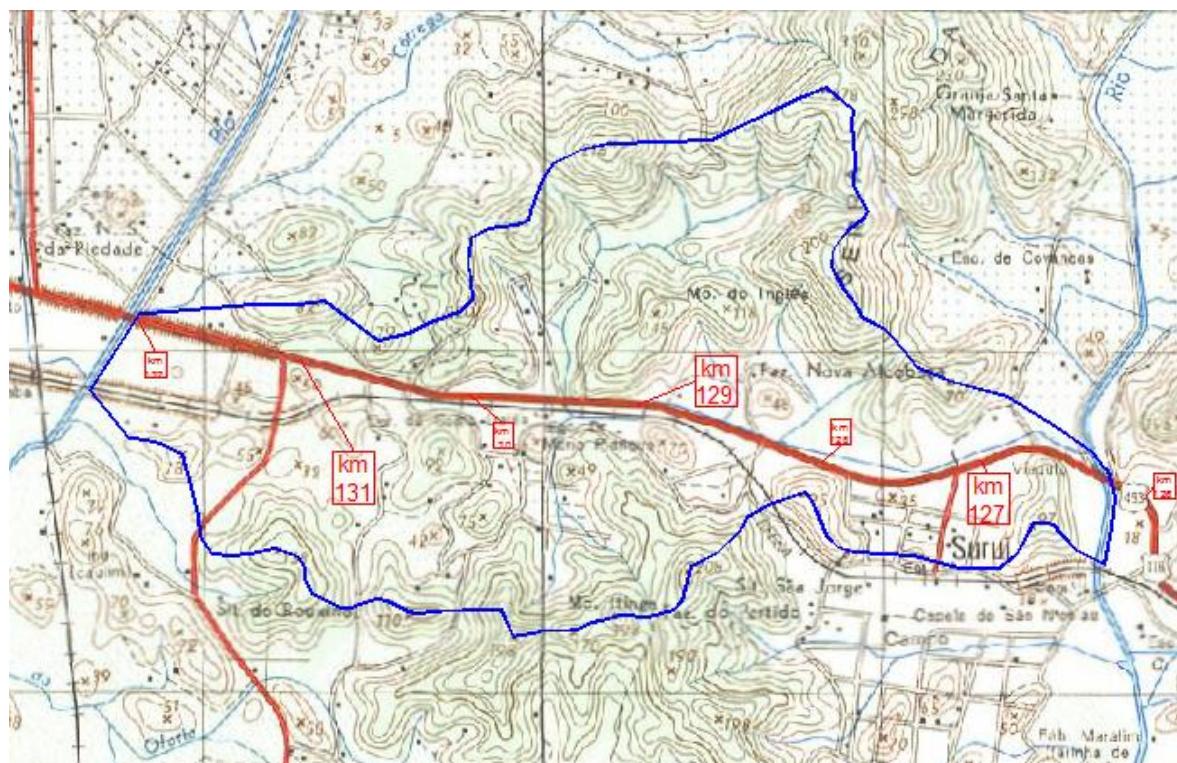


Figura 63 – Segmento Geológico-Geotécnico Suruí (km 126+235 ao km 132+000).

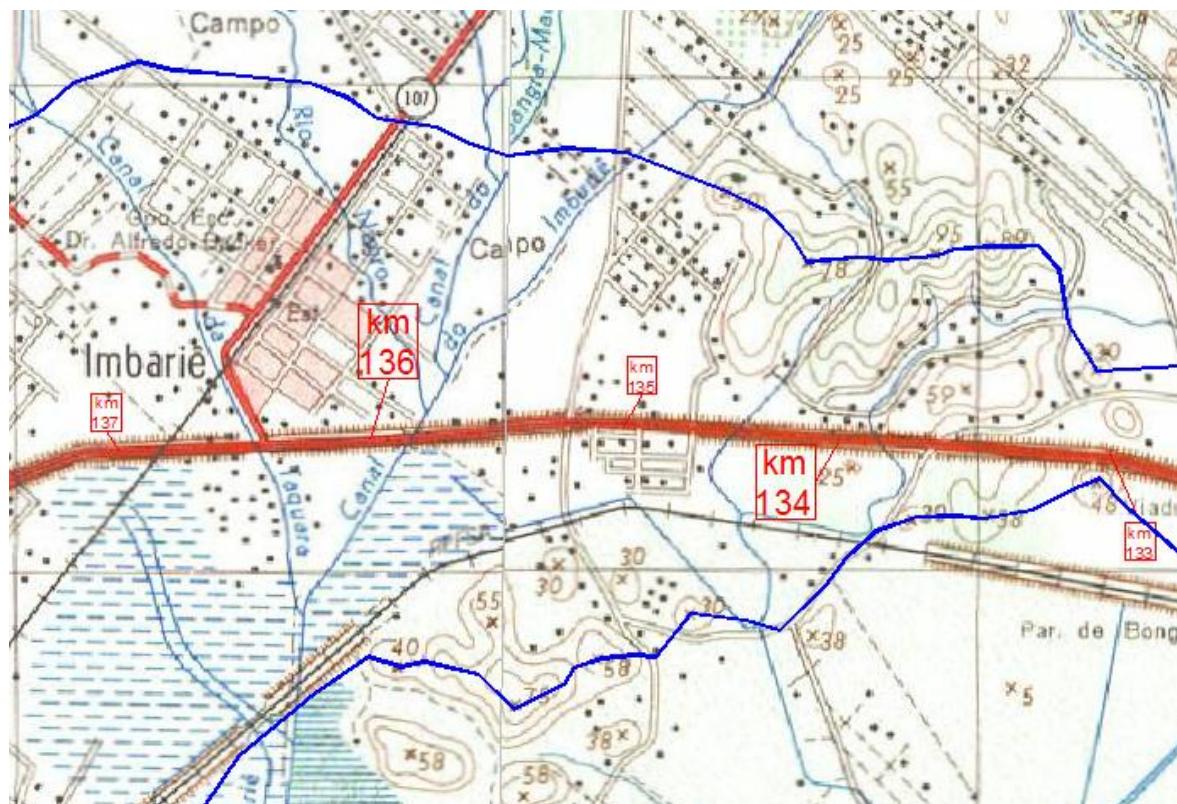


Figura 64 – Segmento Geológico-Geotécnico Imbariê (km 132+000 ao km 144+000).

Tabela 1 – Zoneamento dos Segmentos Geológico-Geotécnicos da rodovia BR-116/RJ.

N.	UNIDADE	SEGMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	LOCALIZAÇÃO	ZONA
1	BACIA DO RETIRO	Retiro	(km 2+000 ao km 4+000)	
2	BACIA DO CORTIÇO	Cortiço 01	(km 4+000 ao km 11+500)	1
3		Cortiço 02	(km 11+500 ao km 16+000)	
4	BACIA DO SÃO FRANCISCO	Bacia do Manso	(km 16+000 a km 19+800)	3
5		Bacia do Monte Café	(km 19+800 ao km 22+245 - OAE)	
6		Vertente Direita VD-1 do rio São Francisco	(OAE km 22+245- ao km 27+930)	4
7		Vertente Direita VD-2 do rio São Francisco	(km 27+930 ao km 31+120)	5
8		Vertente Direita VD-3 do rio São Francisco	(km 31+120 ao km 33+800 OAE)	6
9		Volta do Pião	(OAE km 33+800 ao km 37+000)	7
10	BACIA DO CAPIM	Capim	(km 37+000 ao km 48+850)	8
11	BACIA DO CAPIM / AFLUENTE DO QUEBRA-COCO	Japonês	(km 48+850 ao km 51+000)	9
12	BACIA DO CÓRREGO DA CORRENTEZA	Quebra-Coco	(km 51+000 ao km 53+950)	10
13	BACIA DO RIO PRETO	Grama	(km 53+950 ao km 56+945 OAE rio Preto)	11
14		Ponte Nova	(OAE rio Preto km 56+945 ao km 59+300)	
15	BACIA DO RIO PAQUEQUER	Barra do Paquequer	(km 59+300 ao 60+1.040 OAE ribeirão dos Andradas)	11
16		Andradas	(OAE ribeirão dos Andradas 60+1.040 ao km 64+925 OAE ribeirão Santa Rita)	
17		Biquinha	(OAE ribeirão Santa Rita 64+925 ao km 71+075 OAE rio Paquequer)	
18		Poço do Peixe	(OAE rio Paquequer km 71+075 ao km 73+560)	13
19	BACIA DO RIO FISCHER	Fischer 01	(km 73+560 ao km 76+510)	
20		Fischer 02	(km 76+510 ao km 80+150)	
21	BACIA DO CÓRREGO MEUDON	Meudon	(km 80+150 ao km 83+050 / km 84+200)	14
22	BACIA DO RIO PAQUEQUER	Serra do Cavalo	(km 84+200 ao km 85+950 OAE Represa Guinle)	
23	BACIA DO LAGO COMARI	Comari	(OAE Represa Guinle km 85+950 ao km 89+370)	15
24	SERRA DOS ÓRGÃOS	Dedo de Deus	(km 89+370 ao km 97+675)	
25		Santo Antônio	(km 97+675 ao km 100+300)	17
26		Monte Olivette	(km 100+300 ao km 101+700)	2
27		Bananal	(km 101+700 ao 106+570)	18
28	PÉ DA SERRA E BAIXADA	Ideal	(km 106+570 ao km 110+900)	19
29		Citrolândia	(km 110+900 ao km 116+115)	
30		Prazeres	(km 116+115 ao km 118+600)	20
31		São Bento	(km 118+600 ao km 122+145)	
32		Suruí Mirim	(km 122+145 ao km 126+235)	
33		Suruí	(km 126+235 ao km 132+000)	
34		Imbariê	(km 132+000 ao km 139+979)	21

## 5 – Conclusão

De forma a reduzir custos e estabelecer padrões adequados de segurança ao usuário, a CRT busca a mitigação dos riscos geotécnicos envolvendo encostas e taludes. A rodovia BR-116/RJ vem sendo investigada desde o início de sua construção, havendo uma quantidade significativa de informações geológico-geotécnicas. O sistema SGGR116 foi desenvolvido com base nos moldes de uma WebGIS para melhor organizar e estruturar esses dados. Os cenários espaço-temporais proporcionados facilitarão o entendimento fenomenológico dos mecanismos de ruptura que ocorrem nas áreas de influência da rodovia e auxiliarão nas mitigações de riscos, gerência dos problemas encontrados, tomadas de decisão, redução de custos, estabelecimento de padrões adequados de segurança e elaboração de cartas temáticas.

Os estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos no Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT entre os meses de março de 2013 e fevereiro de 2014 permitiu uma melhor compreensão dos mecanismos que controlam o comportamento das encostas e taludes interceptados pela rodovia BR-116/RJ. Elementos de superfície até o horizonte rochoso sob o manto de alteração, variações do lençol freático, eventos meteorológicos, deslizamentos pretéritos entre outras informações encontram-se arquivadas no banco de dados da CRT e no Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ (SGGR116). Pela forma como o sistema SGGR116 foi concebido, com base nos moldes de um SIG, pode-se realizar análises espaço-temporais que permitem a continuidade dos estudos e, por consequência, a elaboração de modelos de previsão de desempenho das encostas. Essa visão espaço-temporal facilita o entendimento fenomenológico dos mecanismos de ruptura que ocorrem nas áreas de influência da rodovia e auxiliará na tomada de decisão e gerência dos problemas encontrados.

O zoneamento geológico-geotécnico indicou segmentos da rodovia com similaridade geomorfológica, geológica e comportamental em termos de mecanismos de instabilidade. Os segmentos geológico-geotécnicos são compostos por unidades que possuem uma série de variáveis contínuas num determinado espaço, tais como tipo de solo, profundidade, inclinação do talude, presença e tipo de vegetação, mecanismo de ruptura observado (deslizamentos pretéritos) etc. Em função das variáveis, podem-se inferir comportamentos previstos para cada unidade. Tais comportamentos influenciarão nas tomadas de decisão e, por consequência, na redução de riscos.

A delimitação das áreas do zoneamento geotécnico é importante no processo de decisão, pois através do conceito da similaridade geotécnica aumenta-se a probabilidade de dados de um ponto investigado serem representativos para outro ponto que se deseja intervir. Ao atribuir as características de um local investigado a outro local distante deste, pode-se fazer uso das informações existentes para planejamentos ou estudos e projetos básicos. O mesmo é válido para as experiências adquiridas - soluções bem sucedidas podem ser aplicadas e os insucessos evitados. Além disso, o zoneamento é fundamental para a elaboração de cartogramas geotécnicos, sendo de grande valia para análises de riscos de deslizamentos em escala macro.

## **5.1 – Continuidade do SGGR116: Evolução e Aplicação**

### **5.1.1 – Evolução do SGGR116**

Será criada nova camada (layer) denominada de Segmentos Geológico-Geotécnicos e caracterizada por um polígono fechado (polyline ou polilinha). Cada polígono fechado poderá ser inserido desenhando a polilinha diretamente no sistema SGGR116 ou poderá ser importada a partir de um arquivo universal de CAD (extensão dxf). Cada polígono correspondente a um segmento será associado ao banco de dados, podendo-se inserir e consultar informações sobre essa entidade composta por linhas (upload e download de arquivos). Por se tratar de um layer, poderá ser habilitado para visualização ou não, conforme interesse do usuário.

O módulo de entrada de dados do sistema SGGR116 será pré-definido para carregar arquivos somente identificados com o local, assunto e data (km\_Assunto\_Mês/Ano). Isso disciplinará e forçará o usuário a respeitar essa padronização imposta para que se possam realizar pesquisas/filtros por localização, tipo de assunto e data. Através da observação da evolução do comportamento das encostas e taludes ao longo do tempo, ou seja, da resposta dos agentes predisponentes frente aos agentes efetivos, as análises espaço-temporais serão facilitadas. Além disso, para cada arquivo inserido, o sistema criará e vinculará um arquivo de texto com limite de caracteres para descrição sucinta do conteúdo do arquivo inserido.

Novos campos serão criados na aba superior ou inferior do sistema, objetivando a consulta de dados da rodovia que não se referem a um ponto (ou ocorrência) específico. Como, por exemplo, os mapas topográficos e geológicos contendo o eixo estakeado da rodovia (incluindo os marcos quilométricos), as imagens das filmagens aéreas e do vídeo registro.

Será aumentada a capacidade do servidor em nuvem para disponibilizar o conteúdo da WebGIS para usuários com perfis distintos.

### **5.1.2 – Aplicação do SGGR116**

Tem-se como aplicação direta do SGGR116 o desenvolvimento de Cartas Temáticas das Áreas de Influência dos Segmentos Geológico-Geotécnicos para fins de análise e previsão de desempenho das encostas ao longo da rodovia BR-116/RJ, através de uma abordagem cuja metodologia faz uso do Sistema de Informações Geográficas SIG. O uso dessa ferramenta permite realizar análises com base na sobreposição de cartas temáticas, dividindo-se uma dada região em zonas com diferentes atributos. Serão elaboradas cartas topográficas, de declividades, geológico-geotécnicas, hidro-geológicas, de deslizamentos pretéritos, de uso e cobertura do solo, para confecção de Cartas de Susceptibilidade de Deslizamento, através do uso de um SIG.

## 5.2 – Aplicações dos Resultados do RDT-2013

Entre as aplicações dos resultados e do SGGR116, destacam-se: (i) Mapeamento das Áreas de Influência dos Segmentos Geológico-Geotécnicos e (ii) Análise do Comportamento das Encostas através de Metodologia com Aplicação de Sistema de Informações Geográficas SIG. O uso dessa ferramenta permite criar mapas com índices de segurança baseados na sobreposição de cartas temáticas, dividindo-se uma dada região em zonas com diferentes hierarquias de instabilidade.

### *Elaboração de Cartas Temáticas das Áreas de Influência dos Segmentos Geológico-Geotécnicos*

- Carta Topográfica, com curvas de nível com equidistância máxima de 10m.
- Carta de Declividade.
- Carta Geológico-Geotécnica.
- Carta Hidro-Geológica.
- Carta de Deslizamentos Pretéritos.
- Carta de Uso e Cobertura do Solo.

### *Estudos e Análises com uso de SIG*

- Carta de Susceptibilidade de Deslizamento.

Ao longo do trecho de concessão da BR-116/RJ têm-se três grandes compartimentos geomorfológicos contrastantes (Figura 2) - Baixada da Baía de Guanabara (km 104 ao 144); Escarpa da Serra dos Órgãos (km 89 ao 104); e Escarpa Reversa do Planalto da Região Serrana (km 2 ao 89). Entretanto, observa-se em campo que dentro de cada um desses segmentos há diferentes unidades geológicas-geotécnicas e tipologias de mecanismos de ruptura. As condições locais geológico-geotécnicas associadas a eventos meteorológicos que se manifestam por faixa mobilizam distintos mecanismos de ruptura em uma mesma unidade geomorfológica, variando significativamente de local para local. Observa-se pelo mapa da Figura 2 que a divisão do trecho da rodovia em apenas 3 compartimentos geomorfológicos não reproduz, com precisão necessária ao gerenciamento de riscos, as características que influenciam nos processos de instabilização das encostas e taludes ao longo da BR-116/RJ. O mesmo comentário é válido para o mapa geológico do estado do Rio de Janeiro (Figura 65).

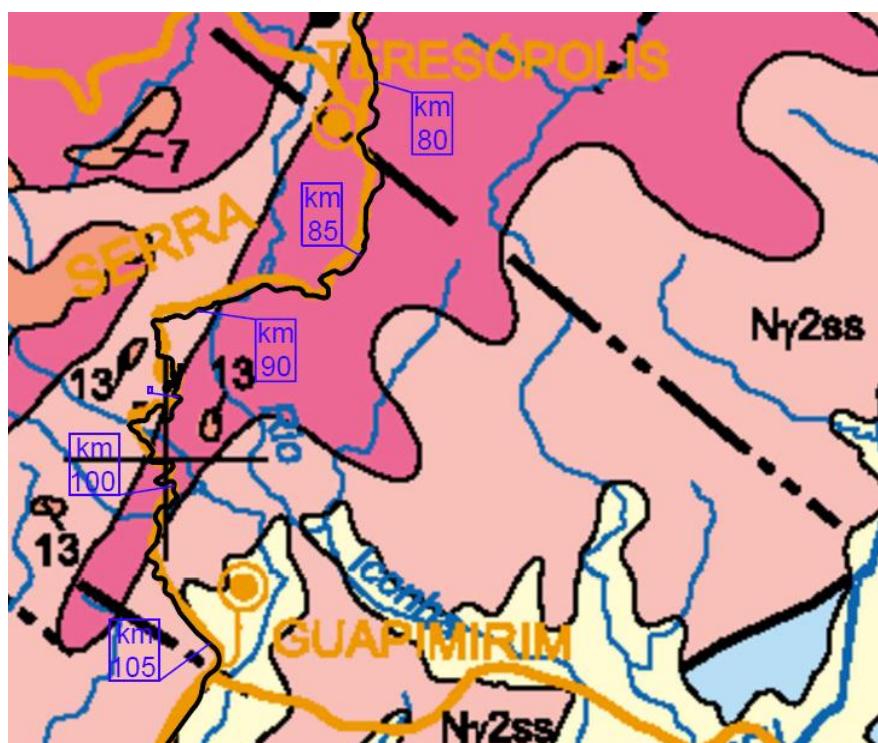


Figura 65 – Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000). Ilustra-se o trecho da Serra dos Órgãos, cuja geologia não apresenta informações suficientes para elaboração de análises de riscos de deslizamento.

No Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT de 2013 foi possível através da base de dados georreferenciada, carta topográfica (escala 1:50.000) e inspeções de campo segmentar o conjunto de encostas e taludes da rodovia que apresentaram características e comportamentos similares (segmentos geológico-geotécnicos). Nos segmentos, delimitados por micro-bacias de drenagem, foram definidas as áreas de influência – áreas com potencial de movimentação de massa na direção da rodovia, seja de montante ou jusante (Figura 66).

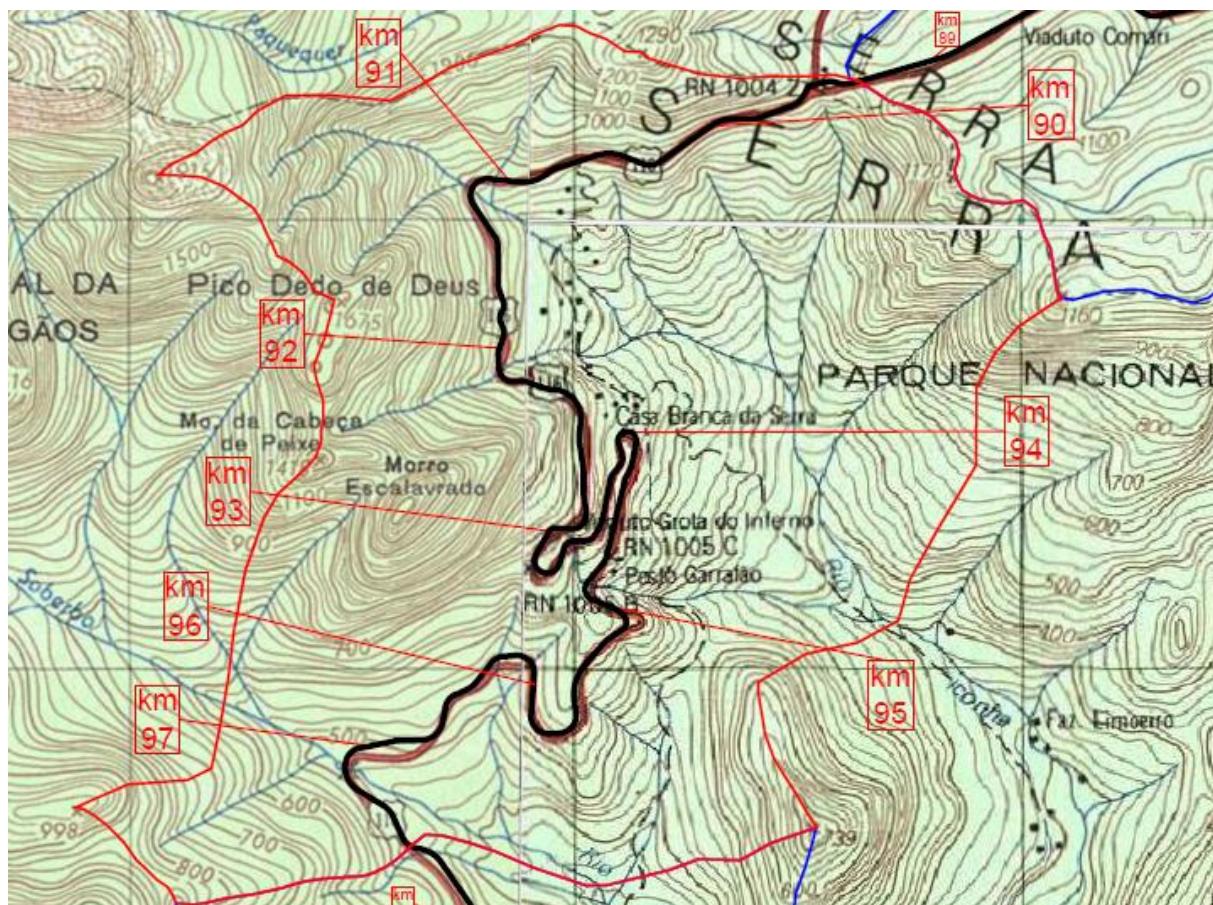


Figura 66 – Segmento Geológico-Geotécnico Dedo de Deus, situado na Serra dos Órgãos.

Em linhas gerais, verifica-se que os problemas de instabilização estão associados às condições locais topográficas, geológico-geotécnicas, hidro-geológicas e de cobertura e uso do solo das áreas de influência. A alimentação de um banco de dados georeferenciado com as informações geológico-geotécnicas dos maciços interceptados pela rodovia permite, em conjunto com inspeções de campo e aéreas, a elaboração de Mapas Temáticos capazes de realizar análises de risco de deslizamentos através do uso de SIG. A Figura 67 apresenta um exemplo da melhoria da escala de informações geológico-geotécnicas para fins de análise de risco de deslizamento com uso de SIG.

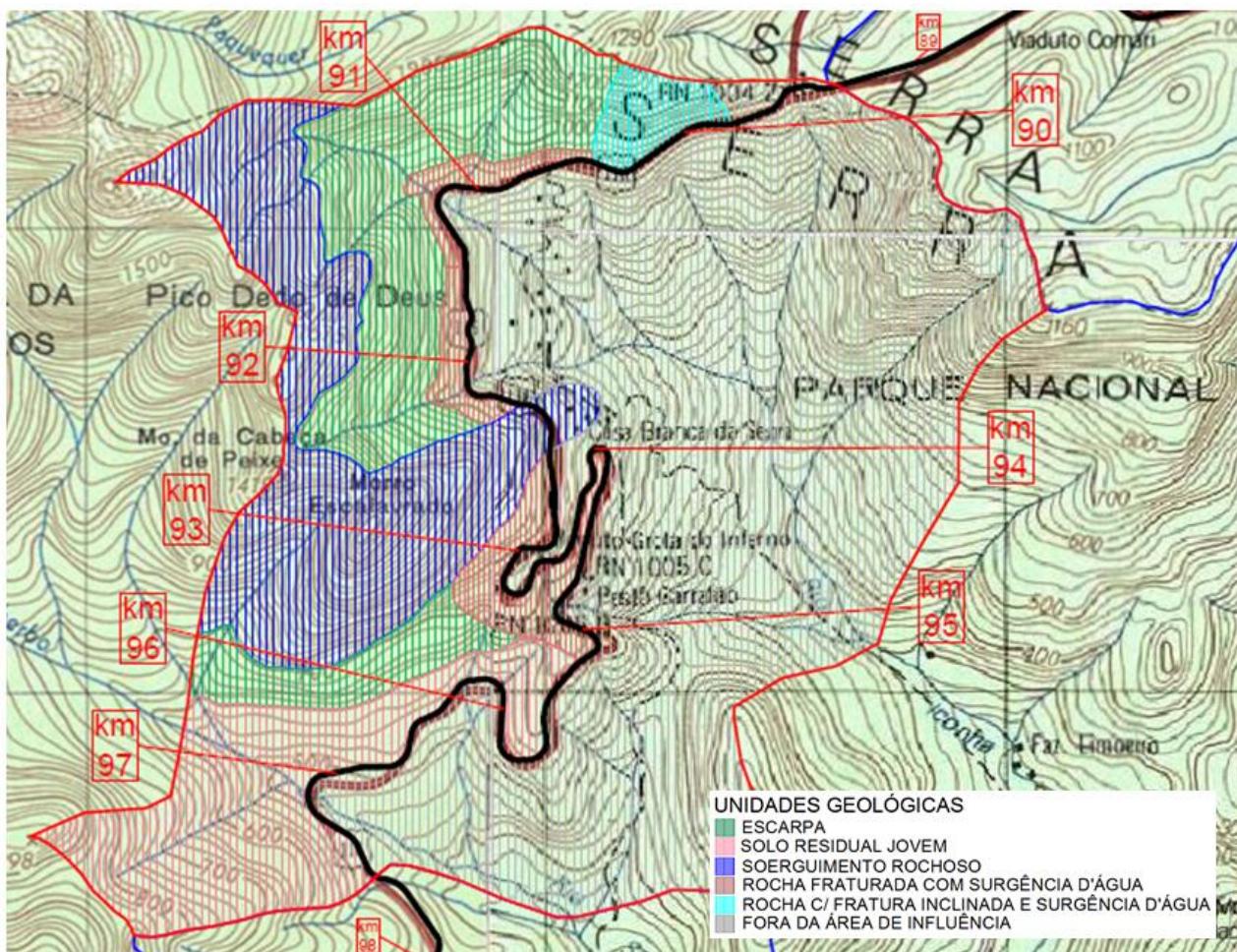


Figura 67 – Melhoria da geologia (em relação ao mapa apresentado na Figura 60) do trecho da Serra dos Órgãos com base nas informações do SGGR116 e das imagens fornecidas pelo vídeo registro terrestre e pelas imagens aéreas (vídeo e fotos).

A montagem de Cartas Temáticas a partir dos dados geotécnicos organizados no SGGR116, das inspeções de campo (aéreas e terrestres) e das experiências e conhecimentos adquiridos pela CRT e COPPETEC sobre os tipos de materiais (solo e rocha) e mecanismos que governam a instabilidade de encostas ao longo da BR-116/RJ é possível elaborar análises de risco de deslizamento com uso de Sistema de Informações Geográficas SIG. Como resultado as Cartas de Susceptibilidade de Deslizamento servirão como instrumento para orientar as tomadas de decisão de forma estruturada e segura. Tal fundamentará as intervenções de melhoria das condições de estabilidade de encostas e taludes ao longo do trecho concedido à CRT da Rodovia BR-116.

Considerando que a Concessionária deve promover as melhores condições de segurança, trafegabilidade e conforto aos usuários, o trabalho em questão fornece elementos fundamentais ao gerenciamento da Rodovia. O acesso a informações de campo é de grande relevância para o desenvolvimento de modelos mais realistas representativos das condições particulares brasileiras, que variam significativamente de local para local. Os resultados contribuirão com a política de minimização dos riscos de acidentes, redução de custos e estabelecimento padrões adequados de

segurança. Isso possibilitará a concentração de esforços de investigação e investimento em áreas com maior potencial de deslizamento. Também haverá aprimoramento da compreensão das manifestações geotécnicas.

### **5.2.1 – Metodologia e Técnicas**

O mapeamento dos Segmentos Geológico-Geotécnicos deve ser limitado às Áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AII). As AID são aquelas cuja movimentação de massa pode afetar ou atingir o corpo estradal e, por consequência, oferecer riscos aos usuários e equipamentos existentes. Também serão considerados todos os escorregamentos que podem afetar a rodovia incluindo escorregamentos acima da mesma, mas que podem se deslocar sobre esta, e escorregamentos abaixo da área de estudo que podem regressivamente comprometer o corpo estradal. As AII são aquelas que estão inseridas dentro da área do segmento geológico-geotécnico, que mesmo a montante ou jusante da rodovia não mobilizarão deslizamentos na sua direção, mas influenciam a rede de fluxo de água subterrânea que afetam diretamente a estabilidade das encostas e taludes da rodovia. A AID e AII permitem a elaboração das cartas geológico-geotécnicas e hidro-geológicas, respectivamente.

A escala selecionada deve levar em consideração os objetivos dos mapas almejados, sendo definida pela escala dos Modelos Digitais de Elevação disponíveis. As Cartas Topográficas devem ser elaboradas a partir do Modelo Digital de Elevação obtido através de processamento fotogramétrico analítico, que integra o projeto RJ-25 (escala 1:25.000) e representa o modelo numérico das características altimétricas da superfície, articuladas por folhas segundo o recorte do mapeamento sistemático brasileiro. A carta topográfica representará através de um modelo numérico, as características altimétricas da superfície. A resolução do modelo permite a geração de curvas de nível equidistantes de 10m. Na Figura 68 apresenta-se uma comparação entre as bases do IBGE nas escalas 1:50.000 e 1:25.000, com curvas de nível equidistantes de 20m e 10m, respectivamente.

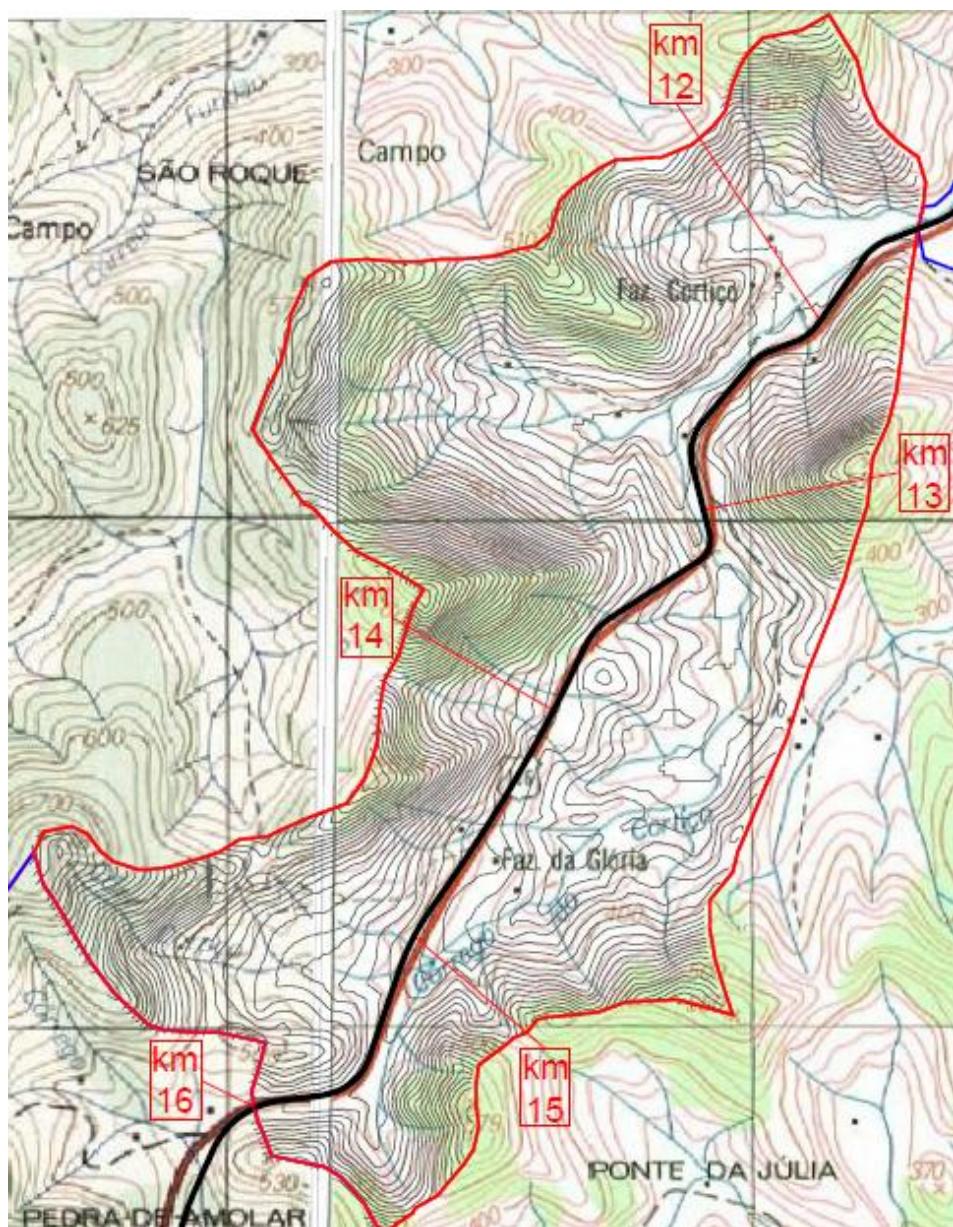


Figura 68 – Curvas de nível equidistante de 10m obtidas pelo tratamento dos Metadados do produto Modelo Digital de Elevação 1:25.000 do Projeto RJ-25 sobre a carta topográfica do IBGE na escala 1:50.000 (curvas de nível a cada 20m) – Segmento Cortiço 02.

O modelo Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado com resolução espacial de 20m x 20m, a partir do qual será extraída a base topográfica com intervalos das curvas de nível de 10 m. Para o geoprocessamento foram utilizados os softwares ArcMap 9.3 e ArcView GIS 3.3. Com base nessas cartas serão elaboradas as Cartas de Declividade (Figura 69). Mapas de zoneamento de escorregamentos devem ser preparados em escala apropriada para mostrar a informação necessária em um nível de zoneamento específico. Pela Tabela 2 apresentada pelo Comitê Técnico de Escorregamentos e Encostas Artificiais das Associações Internacionais ISSMGE, IAEG e ISRM (Fell *et al.*, 2008) tem-se que a escala do Mapa Topográfico a ser preparado pelo tratamento dos

Metadados do produto Modelo Digital de Elevação 1:25.000 do Projeto RJ-25 atende aos objetivos da proposta apresentada.

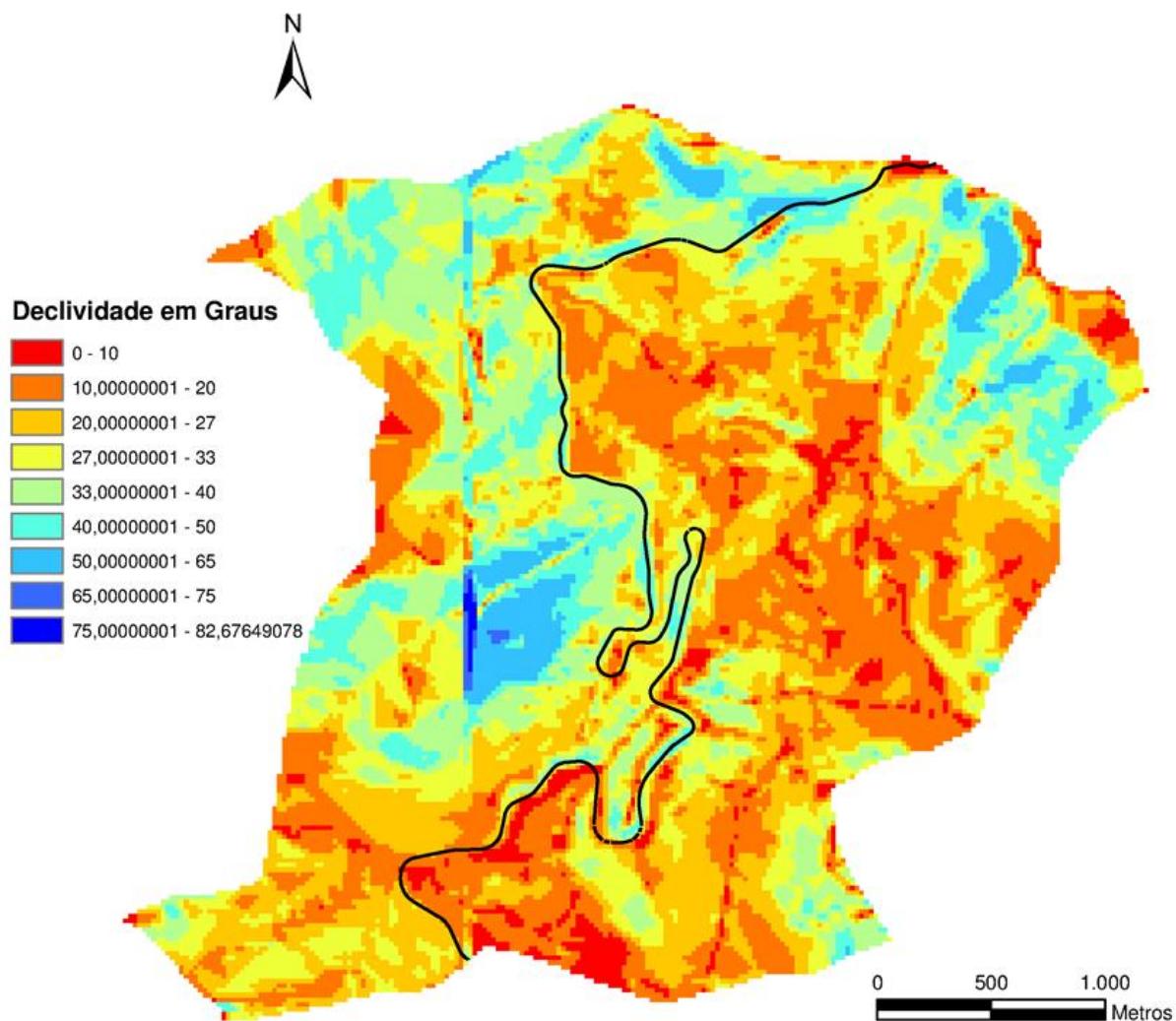


Figura 69 – Carta de Declividades do Segmento Geológico-Geotécnico do Cortiço 02.

A carta de declividade de cada segmento geológico-geotécnico pode ser elaborada com base na metodologia descrita por Coelho Netto *et al.* (2013). Nessa metodologia as declividades foram agrupadas em quatro classes ( $0^\circ - 10^\circ$ ,  $10^\circ - 20^\circ$ ,  $20^\circ - 35^\circ$ , e  $> 35^\circ$ ), levando em conta os tipos de deslizamentos ora considerados. As áreas com declividade inferior a  $10^\circ$  foram assumidas como sendo favoráveis a deposição e, de modo geral, estáveis; porém, quando associadas com os depósitos coluviais, estas áreas de baixa declividade foram consideradas como favoráveis ao movimento lento de rastejo como sugerido por Lacerda (1997). Este autor, assim como Lacerda e Avelar (2004) também indicam uma certa criticidade das encostas em torno de  $17^\circ$  de declividade, particularmente associada com a geometria côncava das encostas. A convergência e concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais para estes fundos de vales favorece o movimento lento do tipo rastejo (creep), e/ou detonação de rápidos fluxos detriticos (debris flows) com o prolongamento das chuvas (Avelar, 2003). A classe entre  $20^\circ$  e  $35^\circ$  apenas intermediou o destaque maior para as áreas com declives superiores a  $35^\circ$  que se aproximam do ângulo critico de ruptura ( $38^\circ$ ) dos materiais de encostas no sudeste e sul do Brasil.

Tabela 2 - Escalas de mapeamento de zoneamento de escorregamentos e sua aplicação (Comitê Técnico de Escorregamentos e Encostas Artificiais das Associações Internacionais ISSMGE, IAEG e ISRM – Fell *et al.*, 2008).

Descrição da Escala	Variação Indicativa das Escalas	Exemplos da Aplicação do Zoneamento	Área Típica de Zoneamento
<b>Pequena</b>	<1:100.000	Inventários de deslizamentos e susceptibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral	>10.000 quilômetros quadrados
<b>Média</b>	1:100.000 a 1:25.000	Inventário de deslizamento e zoneamento de susceptibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais.	1.000 - 10.000 quilômetros quadrados
<b>Grande</b>	1:25.000 a 1:5.000	Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e susceptibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	10 - 1.000 quilômetros quadrados
<b>Detalhada</b>	>5.000	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	Muitos hectares ou dezenas de quilômetros quadrados

Os pontos de surgência d'água e sinais de umidade observados em campo, as características da rede de drenagem do segmento geológico-geotécnico e as atitudes do sistema de faturamento das rochas podem ser os elementos utilizados para elaboração da Carta Hidro-geológica que concentrará informações nos polígonos das áreas de influência direta. Em resumo, pode-se mapear os pontos de surgência e bombeamento de água subterrânea que venham reduzir a condição de estabilidade das encostas. Para tanto, análises morfométricas auxiliam no entendimento do comportamento hidrológico. Pela sobreposição visual das cartas topográficas e geológicas podem ser pesquisadas as fontes de infiltração de água no maciço, objetivando melhores intervenções de drenagem subterrânea, que venham reduzir poro-pressões indesejáveis à estabilidade das encostas.

É essencial para todos os níveis zoneamento de susceptibilidade, que se tenha um estudo dos processos em encostas que mobilizam os escorregamentos. Também é fundamental que haja informação geotécnica suficiente sobre as encostas para permitir um entendimento do solo e mecânica das rochas no processo de deslizamento da encosta. Pode-se ter um zoneamento elaborado com base nas informações do banco de dados georeferenciado da BR-116/RJ (SGGR116: RDT-2013) e na experiência e conhecimento adquiridos pelos profissionais da CRT e COPPETEC ao longo de anos de inspeções e estudos sobre as características geotécnicas dos maciços interceptados pela rodovia. A delimitação das unidades geológico-geotécnicas deve ser complementada e validada

através de inspeções in loco auxiliadas por imagens (vídeos e fotos) terrestres e aéreas. Vale ressaltar que nas cartas a unidades geológico-geotécnicas não contemplarão toda área do segmento geológico-geotécnico, mas apenas as Áreas de Influência Direta (AID), conforme apresentado na Figura 70.

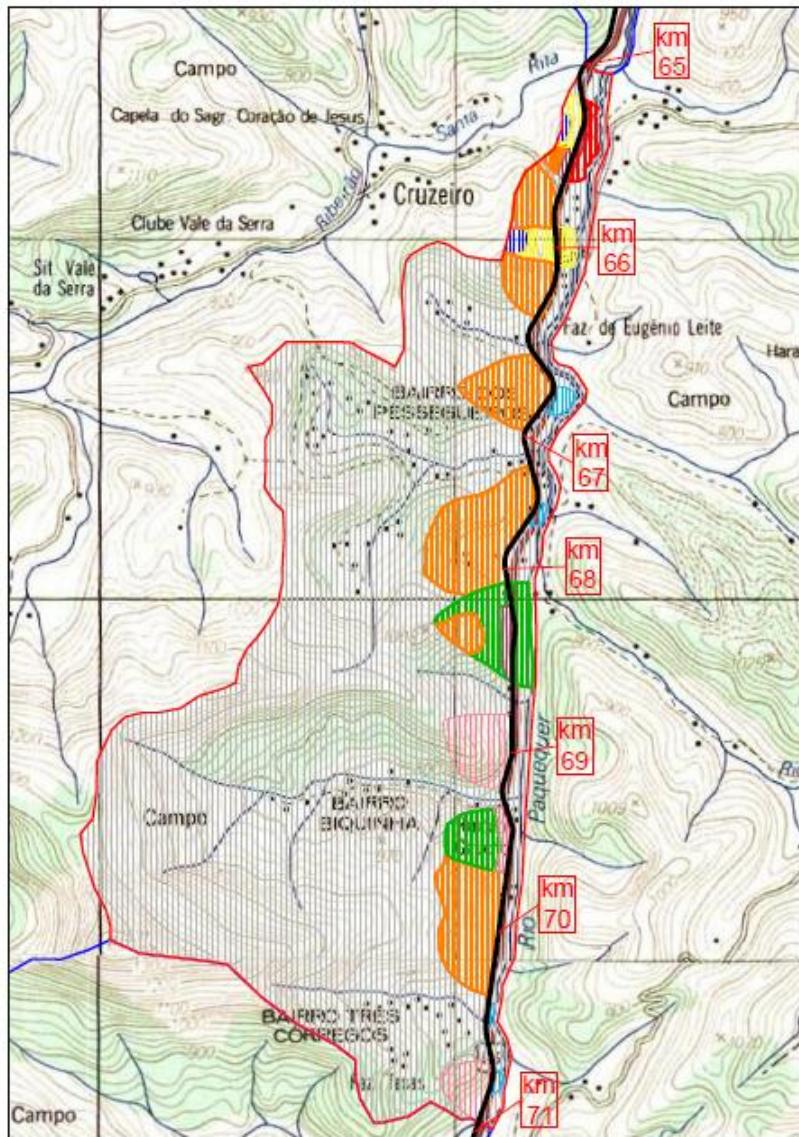


Figura 70 – Mapeamento geológico-geotécnico do segmento biquinha com destaque para as Áreas de Influência Direta (AID) objeto da concentração dos esforços de levantamento de dados para montagem do Mapa.

As imagens de satélite (sensoriamento remoto) em conjunto com as inspeções in loco permitirão a elaboração das Cartas de Uso e Cobertura do Solo. Pode-se simplificar a cartografia da vegetação em apenas quatro categorias: floresta conservada, floresta degradada, vegetação arbustiva e rasteira. Ainda serão incluídas nas cartas, as categorias: afloramento rochoso, solo exposto e áreas ocupadas por edificações (incluindo áreas de ocupação formal e informal). Segundo Coelho Netto *et al.* (2013) esta simplificação das classes favorece o destaque de categorias mais afins a regulação do comportamento hidrológico e dos tipos de deslizamentos em foco.

A preparação de um mapa de susceptibilidade de escorregamento é normalmente baseada em duas premissas: (i) que o passado é um guia para o futuro, de modo que existe a probabilidade de ocorrer escorregamentos no futuro em áreas que passaram por escorregamentos no passado; e (ii) em áreas com topografia, geologia ou geomorfologia similares a áreas onde ocorreram escorregamentos no passado também existe a probabilidade de ocorrer escorregamentos no futuro. Estas premissas são frequentemente generalizáveis, mas certamente existem exceções quando, por exemplo, a origem de escorregamentos é consumida por escorregamentos anteriores. Com base no cadastro de eventos de escorregamentos ao longo da rodovia e das informações do SGGR116 pode-se montar as Cartas de Deslizamentos Pretéritos. Trata-se de um mapa de inventário de escorregamentos com informações associadas sobre os mesmos, como tipologia, hora do escorregamento e precipitação antecedente e no momento da ocorrência (se disponíveis). Também serão materializadas nas Cartas as cicatrizes de ruptura identificadas em campo ou por imagens aéreas (vídeos e fotos).

Modelos de SIG deverão ser utilizados para combinar o conjunto de mapas (Figura 71) utilizando uma função para produzir os mapas resultantes - Cartas de Susceptibilidade de Deslizamentos. As cartas de susceptibilidade referem-se ao zoneamento de áreas com potencial de deslizamento. Na análise com uso de SIG serão sobrepostas as Cartas de Declividade, Geológico-Geotécnica, Hidro-Geológica, de Deslizamentos Pretéritos e Uso e Cobertura do Solo. A análise com base no SIG, além de orientar o planejamento de intervenções na rodovia, permite a atualização das bases, à medida que mais informações estejam disponíveis, podendo os resultados serem prontamente aplicados.

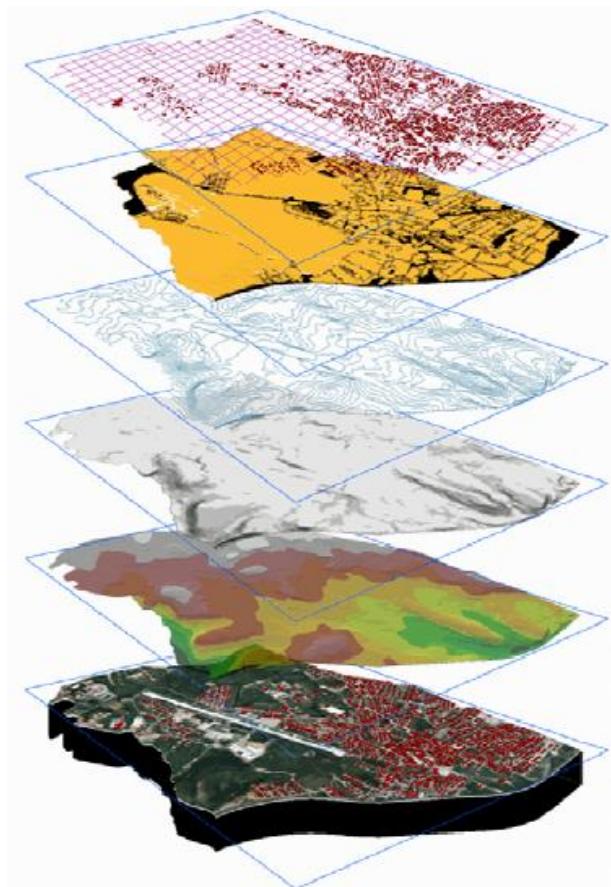


Figura 71 – Ilustração esquemática das análises com uso de SIG: sobreposição das cartas temáticas para obtenção das cartas de susceptibilidade e de risco de deslizamentos.

A necessidade de conferir iterações do modelo SIG em campo é essencial para produzir um mapa de zoneamento de alta qualidade que reflete, da melhor maneira possível, a realidade. A calibração deste modelo é essencial em qualquer projeto. O tempo e os recursos dedicados à reunião de dados precisos, abrangentes e de alta qualidade são considerados como uma tarefa muito importante em qualquer projeto de modelagem e compilação de inventário baseado em SIG. O uso de SIG não é um substituto para o envolvimento de profissionais geotécnicos com as habilidades necessárias para realizar o zoneamento de escorregamentos. O SIG é uma ferramenta para ajudá-los a fazer o zoneamento de modo eficiente.

Com a Carta de Susceptibilidade de Deslizamentos em mãos a equipe envolvida nas análises inspecionará in loco as áreas classificadas com potencial de deslizamento. Tal atividade tem a finalidade de conferir os resultados gerados para fins de calibração.

Na Figura 72 apresenta-se um estudo de caso simplificado realizado no segmento geológico-geotécnico do Cortiço 2. Obteve-se uma Carta de Susceptibilidade de Deslizamentos através da sobreposição das Cartas Geológico-Geotécnicas e de Declividade (gerada da base topográfica, Figura 68, obtida pelo tratamento do Modelo Digital de Elevação do Projeto RJ-25).

Mesmo se tratando de um estudo de caso simplificado nota-se que os resultados da análise (sobreposição das cartas de declividade e geológico-geotécnica) apresentam certa correspondência com o observado em campo (Figura 73). Outro estudo de caso simplificado revela que dependendo das características do segmento geológico-geotécnico devem-se modificar os pesos de cada carta. O estudo do segmento Dedo de Deus (Figura 74) demonstrou que a carta geológico-geotécnica deve ter maior peso que a de declividade, caso contrário os resultados não teriam consistência com aqueles observados em campo. Tais atividades correspondem à fase de calibração, em que os resultados são conferidos em campo e visualmente sobre imagens de satélite (Figuras 73 e 74). Os resultados da análise simplificada aplicada no segmento Biquinha (Figura 75) indicam que no km 69,5 haveria susceptibilidade de deslizamento em região fora da faixa de domínio, mas que afetaria a rodovia, como de fato aconteceu no período de chuvas intensas no início do ano de 2011 (Figura 76).

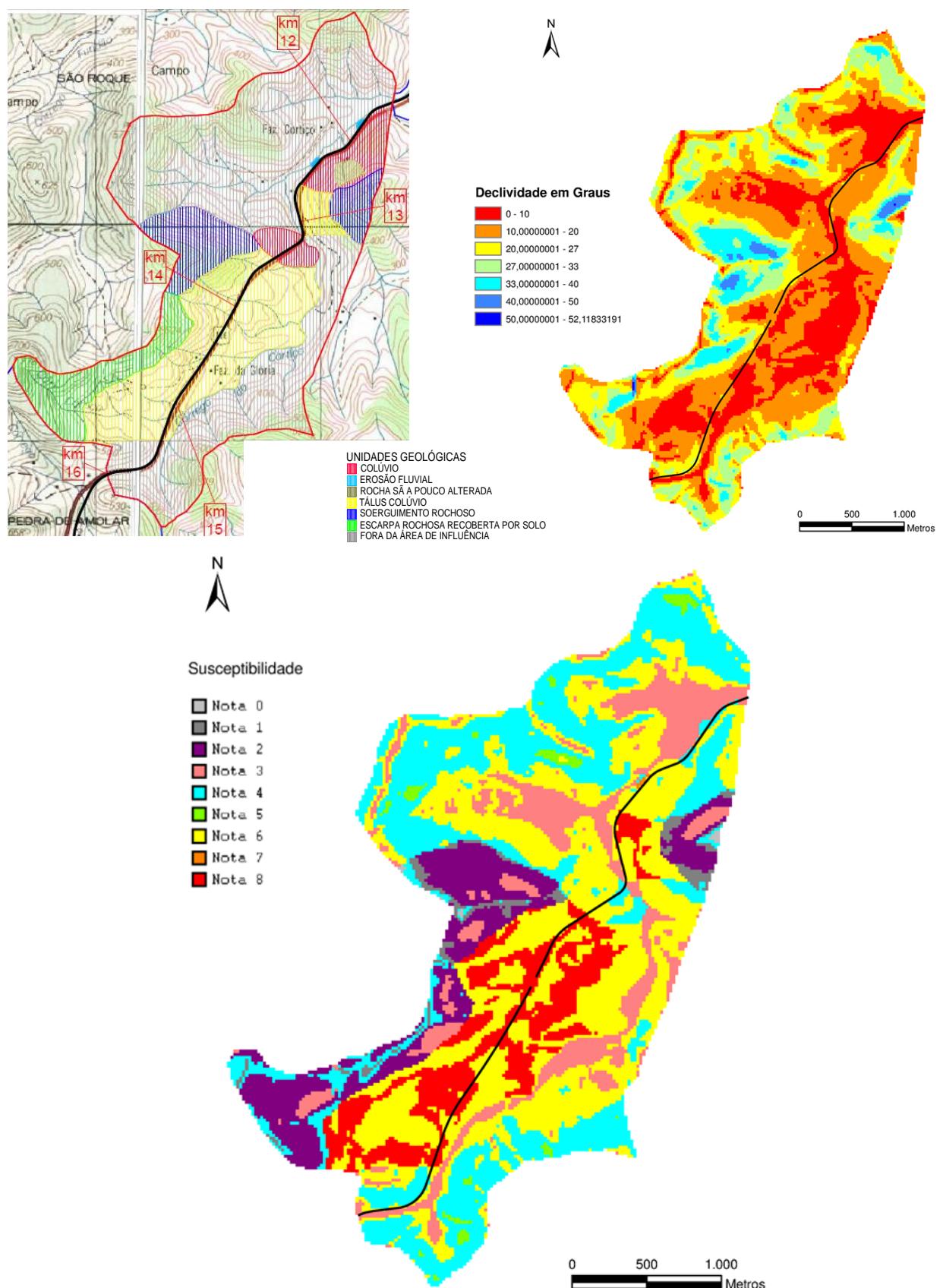


Figura 72 – Estudo de caso simplificado de análise de susceptibilidade com uso de SIG no segmento do Cortiço 2: Cartas Geológica-Geotécnica x Declividade = Susceptibilidade.

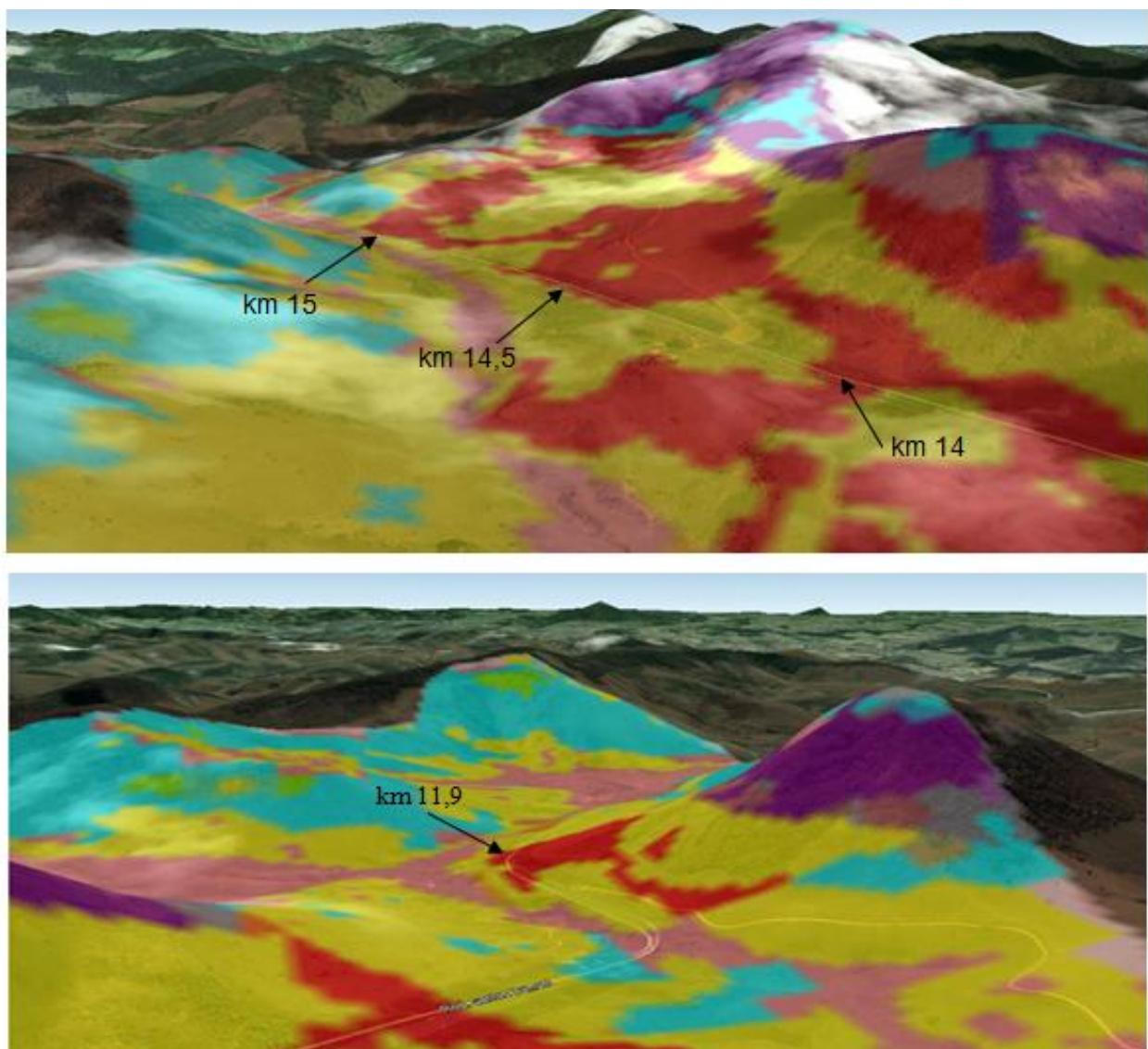


Figura 73 – Sobreposição da Carta de Susceptibilidade de Deslizamento no Segmento Geológico-Geotécnico do Cortiço 2 na imagem de satélite. As regiões identificadas com a cor vermelha correspondem às áreas com potencial de movimentação de massa. Os resultados obtidos pelo uso do SIG apresentam certa correspondência com o comportamento das encostas desse segmento. Nos quilômetros km14 e km 14,5 tem-se movimentação de rastejo. No km15 há histórico de ruptura e o canal fluvial do córrego do cortiço corresponde a um pâleo debri flow que pode ser reativado. No km11,9 também há movimentação de rastejo.

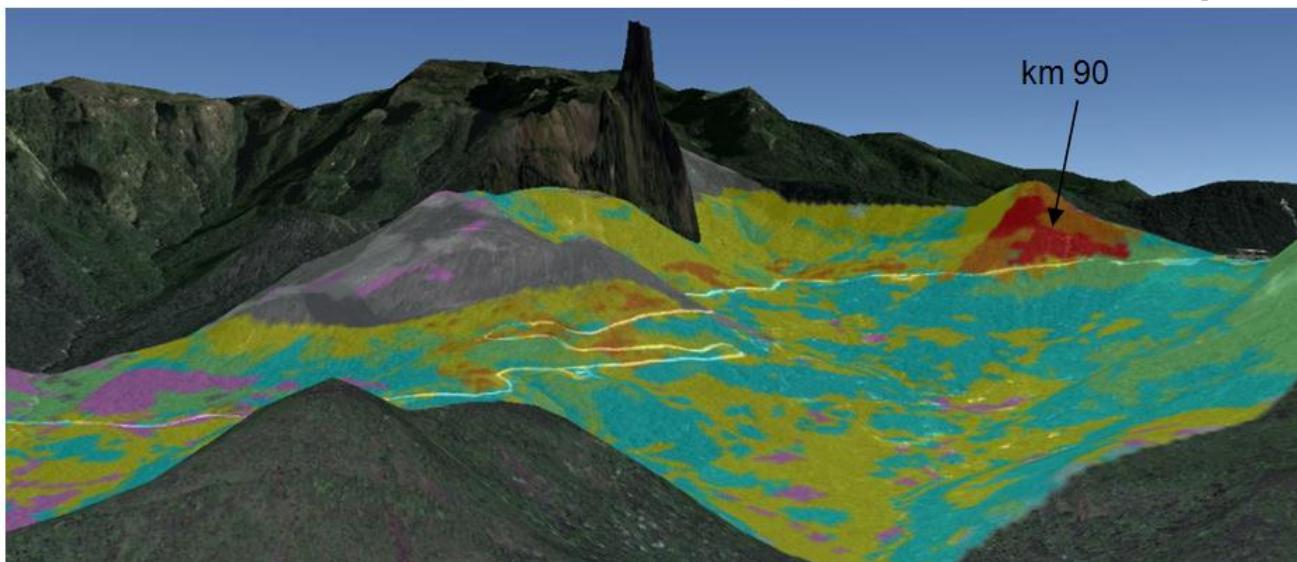


Figura 74 – A análise do segmento Dedo de Deus demonstrou a necessidade de ajuste no peso das cartas para reproduzir melhor a condição de campo. No estudo de caso simplificado verificou-se que a Carta Geológico-Geotécnica deve ter um peso maior que a de Declividade, em função das características desse segmento. As áreas vermelhas e laranjas indicam os locais susceptíveis a deslizamentos. Destaca-se a escarpa do km 90 em que eventos de deslizamentos e quedas de blocos de rocha são comuns. Na região do Garrafão as cores laranjas também indicam susceptibilidade de deslizamentos.

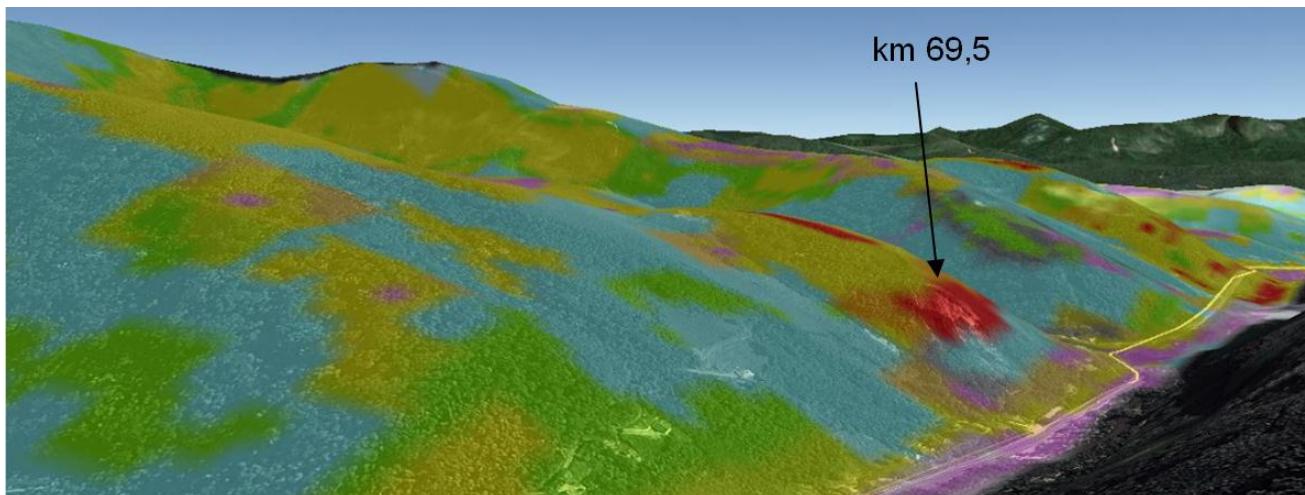


Figura 75 – As análises simplificadas realizadas no segmento geológico-geotécnico Biquinha revelam que haveria deslizamento fora da faixa de domínio, mas que atingiria a rodovia. De fato a ocorrência aconteceu. A susceptibilidade de deslizamento da massa de solo com blocos de rocha situada no topo da escarpa rochosa dificilmente seria identificada sem o uso de SIG.



Figura 76 – Deslizamento ocorrido no km 69,5 durante as chuvas intensas de 2011.

## Referência Bibliográfica

- AVELAR, A.S. (2003). “Iniciação e desenvolvimento de fluxos detriticos em encosta: ensaios triaxiais de choque e em caixa experimental abordando o caso do Soberbo (RJ)”. Tese de Doutorado, Prog. de Eng. Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 248 p.
- COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; SATO, A. M.; FERNANDES, M. C.; OLIVEIRA, R. R.; COSTA, R. V. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, P. H. M.; LACERDA, W. A. (2013). “Metodologia para elaboração de cartas de suscetibilidade e risco a movimentos de massa (escala 1:5.000): aplicação na área central de Angra dos Reis (RJ)”. In: VI Conferência Brasileira de Encostas COBRAE, 2013, Angra dos Reis/RJ. Encostas - Uso e Abuso, 2013.
- CPRM (2000). Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:500.000. Divisão de Geologia Básica do Departamento de Geologia da CPRM, Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro DRM-RJ.
- CPRM (2000). Mapa Geomofológico, SF.23-Z-B Folha Rio de Janeiro, escala 1:250.000. Projeto Rio de Janeiro. Serviço Geológico do Brasil.
- CPRM (2000). Mapa Geomorfológico, SF.23-X-B/D Folha Ponte Nova / Juiz de Fora, escala 1:250.000. Projeto Rio de Janeiro. Serviço Geológico do Brasil.
- EHRLICH, M.; FERRAZ, C. M. C.; UZEDA, L. A. P. G. (2012). “Critérios de alerta ao deslizamento e medidas estabilizadoras de encostas na BR-116/RJ”. VII Workshop Recursos de Desenvolvimento Tecnológico RDT nas Concessões Rodoviárias – Soluções Técnicas e Aplicadas, Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT, Brasília/DF, Agosto.
- EHRLICH, M.; SILVA, R. C. (2013). “Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ”. Plano de Trabalho para Recursos de Desenvolvimento Tecnológico RDT nas Concessões Rodoviárias, ANTT, CRT.
- EHRLICH, M.; SILVA, R. C. (2013). Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ, Relatório Trimestral RT-3 do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT, Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT e Concessionária Rio-Teresópolis CRT.
- EHRLICH, M.; SILVA, R. C. (2014). “Rupturas em Taludes Condicionadas por Descontinuidades Hidráulico-Mecânica”. In: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia/GO.
- ENGGEOOTECH (2003). Desenvolvimento de Sistema para Levantamento Visual Contínuo HoleHunter e Montagem do Laboratório Móvel Instrumentado. Enggeotech Consultores de Engenharia Ltda, Juiz de Fora/MG.
- FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L. LEROI, E., SAVAGE W. (2008). “Guidelines for landslides susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning”. Engineering Geology, 102: 83-84 pp.

IBGE (1974). Folha Topográfica Anta/RJ, SF-23-Z-B-II-1, escala 1:50.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

LACERDA W. A. (1997). “Stability of natural slopes along the tropical coast of Brazil”. Symp. on Recent Develop. In Soil and Pavement Mechanics, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Almeida, M.S.S. (ed), Balkema: 17-40 .

LACERDA, W. A.; AVELAR, A. S. (2004) “Flume tests on sand subjected to seepage with the influence of hidden barriers”. Proc. of the International Workshop on Occurrences and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfill, Sorrento, Italy, v.1: 136-144.

THALWEG (2011). Monitoramento Sazonal de Encostas e Taludes ao Longo da Rodovia BR-116/RJ. Concessionária Rio-Teresópolis CRT.

VAN ONSELEN, C. C.; EHRLICH, M.; BECKER, L. B. (2013). “Retroanálise da Ruptura de Talude de Solo Residual Situado na BR 116/RJ, Km 76,4”. In: VI Conferência Brasileira de Encostas COBRAE, 2013, Angra dos Reis/RJ. Encostas - Uso e Abuso, 2013.

## **ANEXO**

### **Características dos Segmentos Geológico-Geotécnicos**