

## BACIA DO CAPIM / AFLUENTE DO QUEBRA-COCO

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

O segmento geológico-geotécnico Japonês é caracterizado por seção meia encosta executada em morro (Figura 91), com áreas de intervenções antrópicas (Figura 92). O segmento envolve duas bacias de drenagem, a do rio do Capim e do afluente do córrego do Quebra-Coco. Tem-se corte para o lado esquerdo (pista 2) e talude de aterro ou natural para o lado direito (pista 2). No ponto alto do greide a seção é de corte pleno. Ocorrem duas fontes importantes de infiltração de água no terreno: área de plantio no topo do morro e represamento de água (lagoa) situado na contra encosta em cota superior ao greide da rodovia (Figura 93). Verificam-se diversas tipologias de ruptura e processos erosivos (Figuras 94, 95 e 96) associados à ação da água, principalmente subterrânea. No morro também se instalou voçoroca de grandes proporções em evolução.

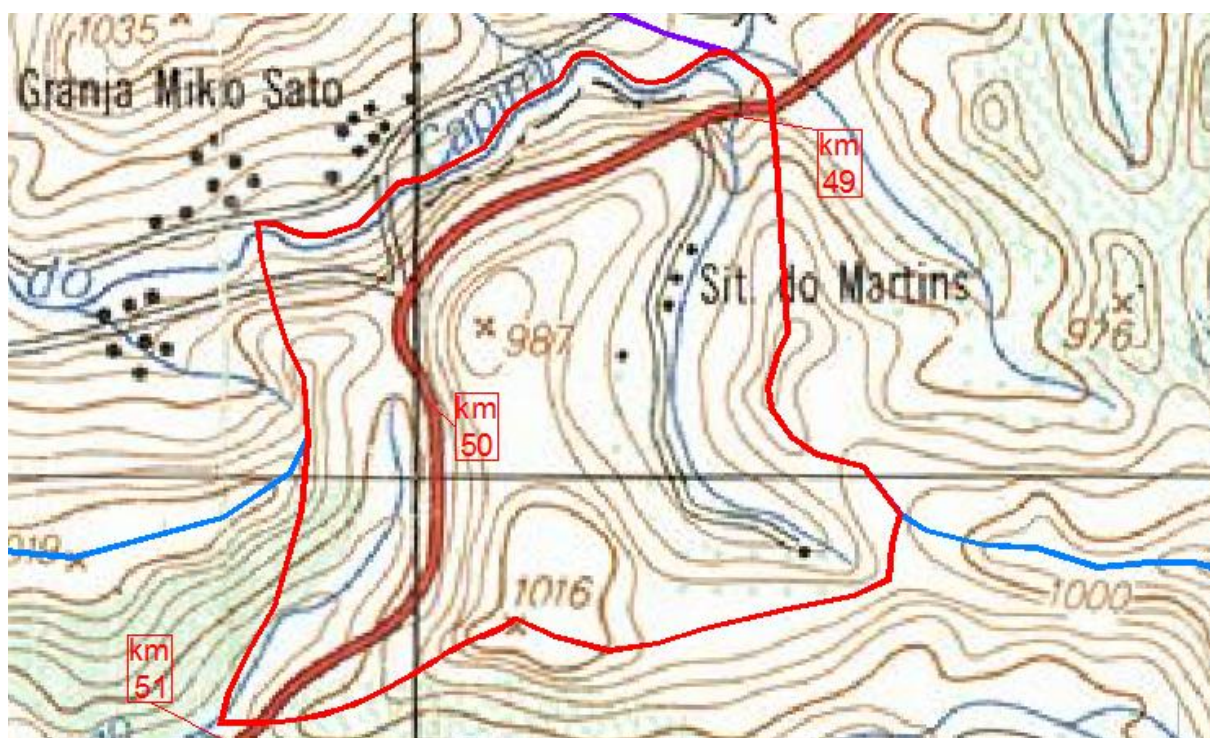


Figura 91 – Morfologia do segmento geológico-geotécnico Japonês.



Figura 92 – 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.





Figura 93 – Talude de corte composto por silte argiloso susceptível a erosões com afloramento de material em alteração na base. Plantio agrícola no topo de morro e armazenamento de água na contra encosta contribuem com a infiltração de água nos taludes de montante e jusante da rodovia.



Figura 94 – No trecho de seção meia encosta verificam-se diversas tipologias de ruptura e processos erosivos nos taludes de montante e jusante.





Figura 95 – Vista frontal dos taludes de montante e jusante do trecho pertencente à bacia de contribuição do rio do Capim o Pião.



Figura 96 – Vista lateral dos taludes de montante e jusante com destaque para os processos erosivos e rupturas mobilizadas (bacia do rio do Capim o Pião).



Os taludes de jusante apresentam elevada altura e não são escalonados, havendo pontos com sobrecarga de bota-fora de rocha e solo. No pé do talude de jusante há estrada de chão em planície aluvionar do rio do Capim ou Pião (Figura 97). Na bacia do afluente do córrego Quebra-Coco o talude de jusante também é alto sem escalonamento e as surgências de água são observadas no talude de montante, pavimento (bombeamento) e nas lâminas de água represadas no pé do talude (Figura 98). Para o lado da bacia do rio Capim as rupturas nos taludes de jusante assumem dimensões que envolvem volumes significativos de solo (Figura 99).



Figura 97 – Vistas laterais dos taludes, com destaque para o lado de jusante, bacia do rio do Capim.

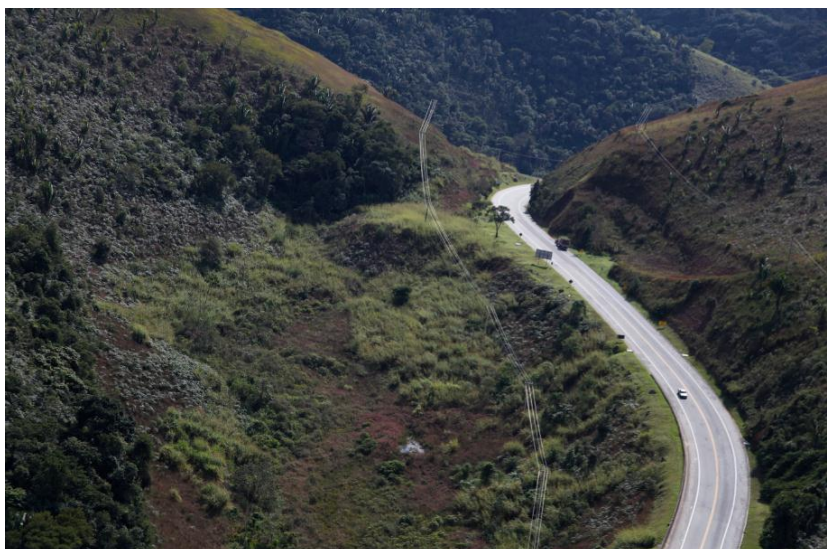


Figura 98 – Corte pleno no ponto alto do greide da rodovia e vista lateral dos taludes da bacia do córrego Quebra-Coco.

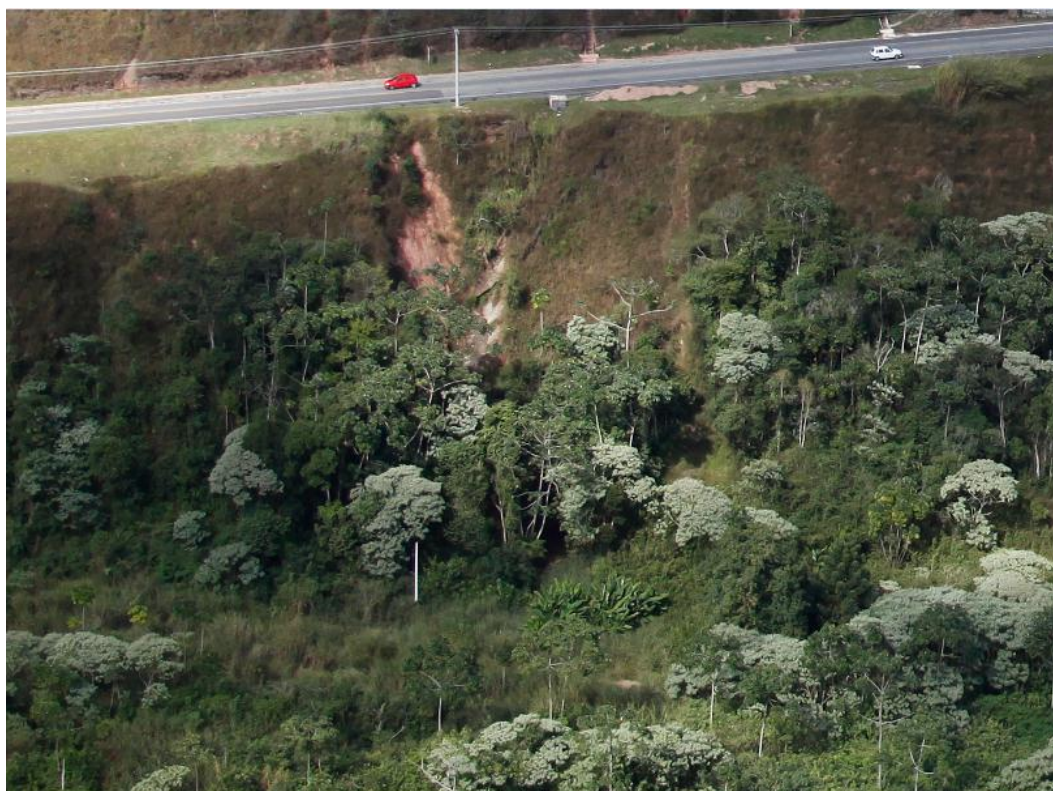


Figura 99 – Vista aérea da erosão/ruptura de grandes proporções avançando na direção da plataforma rodoviária (km 49+415).

Para montante observam-se alguns afloramentos de rocha alterada a pouco alterada fraturada na base do talude de corte com surgência de água. Ocorrem rupturas nos maciços adjacentes aos afloramentos de rocha fraturada que evoluem por ação da água subterrânea (Figura 100).



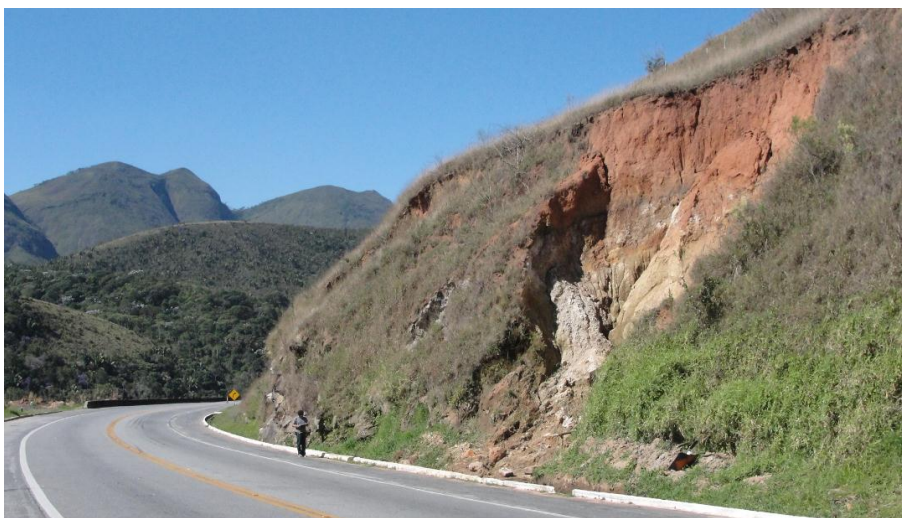
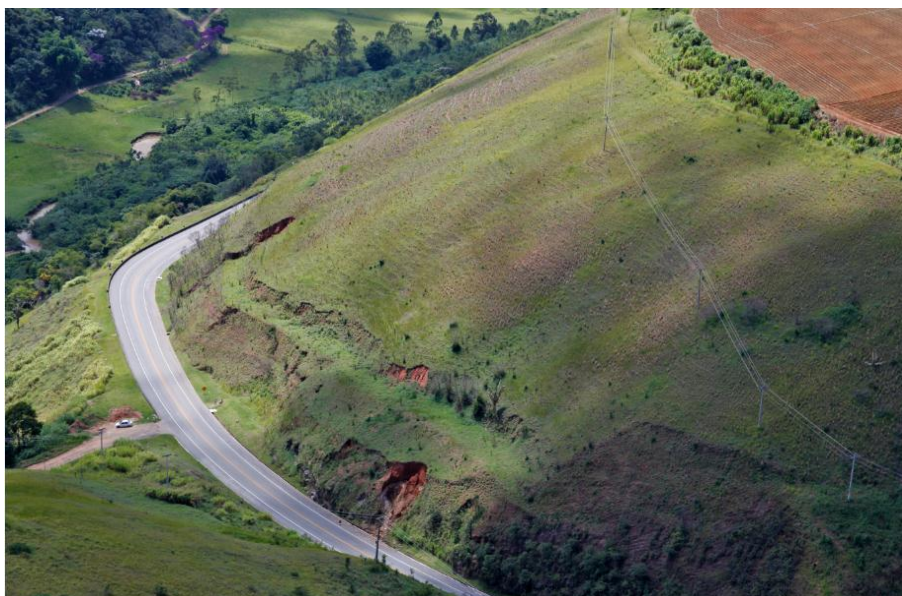


Figura 100 – No corte pleno (ou caixaão) situado no ponto alto do greide da rodovia ocorre muita surgência d'água subterrânea nas fraturas da rocha e no solo. Como consequência tem-se a deflagração de rupturas.

No manto de alteração superior ao afloramento de alteração e rocha alterada fraturada com surgência d'água desenvolvem-se processos erosivos, ravinamentos e rupturas (Figura 101). Esses processos são contínuos e, normalmente, realizam-se operações de terraplenagem em formato de um arco de circunferência (talude escalonado – Figuras 94 e 96) para estabilização do talude. Essas operações envolvem volume significativo de solo e caso não interceptem o horizonte de solo residual jovem pode não ter se garantido a condição de estabilidade do talude.



Figura 101 – Erosões e ravinamentos em talude de montante com base composta por alteração e rocha alterada fraturada com surgência d'água (km 49+310).



Figura 102 – Observam-se sinais de movimentação (paliçadas no pé do talude de montante, trincas e abatimento no pavimento) na seção meia encosta da bacia do afluente do córrego Quebra-Coco. Verificam-se também pontos de surgência d'água e bombeamento de água subterrânea no pavimento.



## BACIA DO CÓRREGO DA CORRENTEZA

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

O segmento geológico-geotécnico Quebra-Coco é caracterizado como seção meia encosta com taludes de corte para o lado esquerdo, pista 2 (morros côncavos-convexos com gradiente médio), e talude de aterro ou natural para o lado do córrego Quebra-Coco e da Correnteza (pista 1) que passam na base das formas residuais proeminentes e gradientes com elevados (Figuras 103 e 104). A densidade de drenagem é média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a retangular. Predominam amplitudes topográficas entre 100m e 300m.

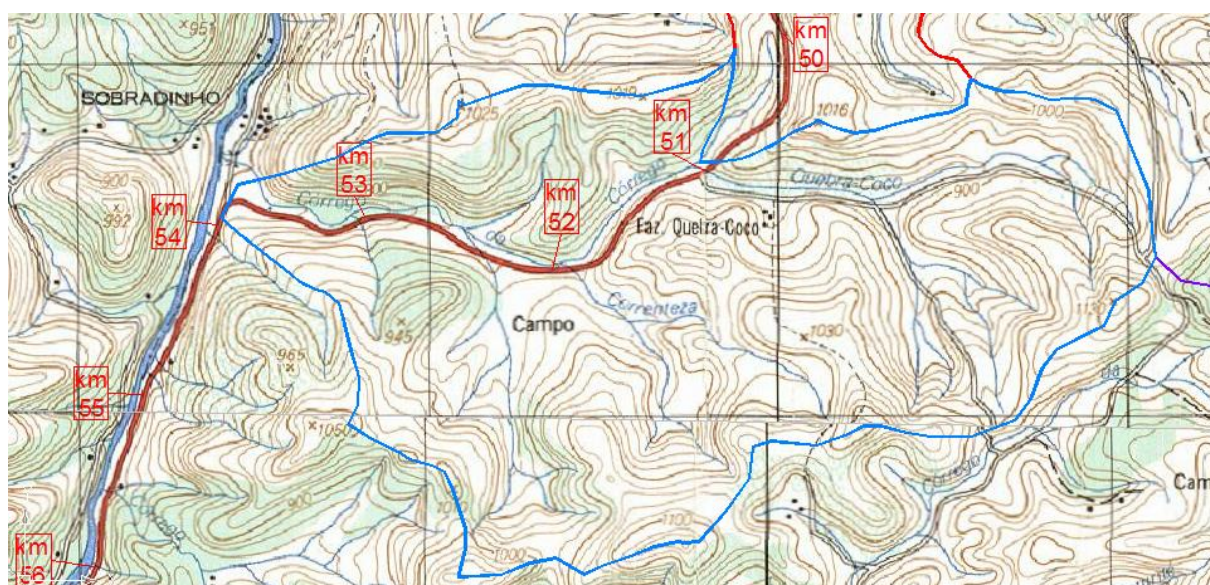


Figura 103 – Morfologia bacia de contribuição do córrego Correnteza – afluente do rio Preto.



Figura 104 – Visão do relevo do segmento geológico-geotécnico Quebra-Coco.



Para o lado de montante, os taludes de corte ocorrem em pacotes espessos de solo residual de morros convexos-côncavos com gradientes médios (Figura 103). Ocorrências de deslizamento são associadas à ação de água subterrânea, que surgem em locais que a morfologia não indicaria tal possibilidade (Figura 105). Essas rupturas normalmente são mobilizadas na interface do solo residual maduro (argila pouco permeável) com o solo residual jovem (mais permeável). Ou seja, o colapso ocorre por descontinuidade hidráulica mecânica associada à pressão da água subterrânea.



Figura 105 – Colapso em talude de corte resultante da combinação entre descontinuidade hidráulica-mecânica e pressões de água. Os drenos instalados drenam a água subterrânea, entretanto, a superfície exposta (solo residual jovem) apresenta dificuldade para a vegetação se estabelecer, sofrendo, portanto, ravinamentos contínuos (km 51+800, pista 2).

O córrego com leito em assoalhos rochoso é pouco sinuoso e apresenta variações de declividade, prevalecendo trechos de correnteza (declividade elevada). Por essa razão quando o córrego se aproxima do pé do talude ocorrem rupturas mobilizadas pela erosão fluvial, principalmente nos trechos em que a curvatura externa da calha do curso d'água intercepta o pé do talude (Figura 106). Desenvolvem-se deslizamentos retrogressivos iniciado com o solopamento da base do talude. A superfície de ruptura praticamente verticalizada fica exposta a processos erosivos e a mobilização de rupturas superficiais por perda de coesão no solo. Novos solopamentos na base do talude deflagram rupturas remontantes. A execução de enrocamento é uma medida preventiva e, também, corretiva para evitar tal mecanismo de ruptura.





Figura 106 – Ruptura em talude de jusante resultante de erosão fluvial resultante da força da água atuante na curvatura externa do córrego da Correnteza (km 53+605, pista 1).



## BACIA DO RIO PRETO

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

O segmento geológico-geotécnico Grama é caracterizado como seção meia encosta com taludes de corte para o lado esquerdo, pista 2 (morros predominantemente convexos com gradiente médio a elevado, predominando amplitudes topográficas entre 100m e 300m), e talude de margem do rio Preto (Figuras 107 e 108) para o lado direito, pista 1. Nesse segmento o rio Preto é pouco sinuoso e por vezes avança mais em direção ao pé do talude nos trechos curvos da calha fluvial. A montante das encostas interceptadas pela rodovia, entre as cotas 880 e 820, o córrego Grama apresenta vales com terraços aluvio-coluvionares (baixa declividade) que formam importantes fontes de infiltração de água que percolação na direção do rio Preto.

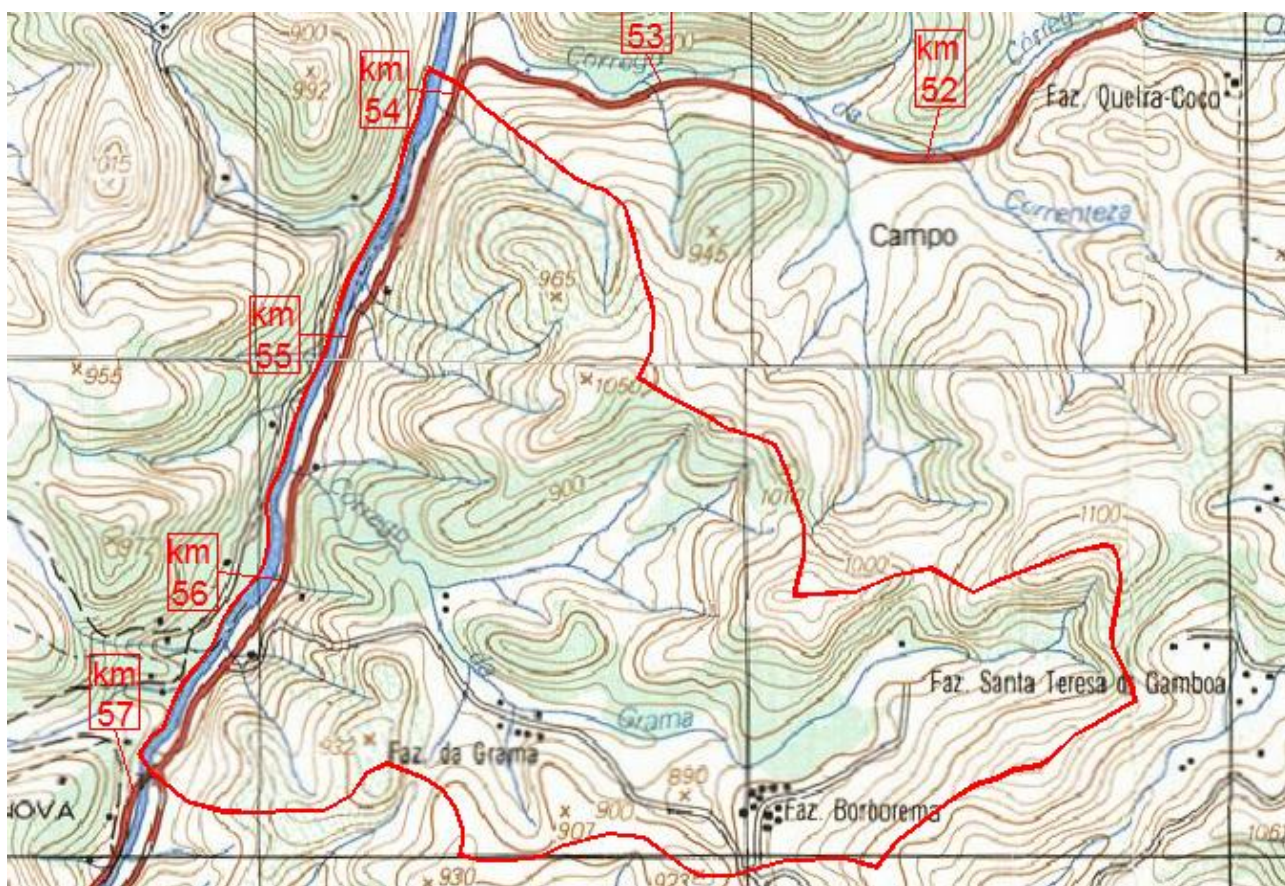


Figura 107 – Aspectos morfológicos do relevo do segmento geológico-geotécnico Grama. Observam-se vales de terraços aluvio-coluvionar a montante dos taludes de corte da rodovia. Verifica-se que a rodovia apresenta traçado praticamente paralelo à calha fluvial, em que os taludes de jusante constituem a margem do rio Preto.





Figura 108 – Visão aérea do trecho em seção meia encosta do segmento Gramma: morros predominantemente convexos para o lado esquerdo (pista 2) e para o lado direito (pista 1) têm-se taludes de margem do rio Preto.

Em linhas gerais, os morros que interceptados pela escavação da rodovia apresentam camada espessa de solo e pode haver eventuais afloramentos rochosos fraturados (Figura 109). O sistema de fraturas dos maciços rochosos apresenta planos sub-horizontais e surgência de água. Escorregamento no contato da rocha com solo residual jovem é menos provável por conta da inclinação da laje rochosa. Entretanto, escorregamentos translacionais no contato do solo residual jovem com o solo residual maduro predominam no segmento geológico-geotécnico Gramma (Figura 110).



Figura 109 – Afloramento de rocha fraturada com mergulho sub-horizontal com formação de lajes e lascas de rocha com surgência d'água (km 54+460, pista 2).





Figura 110 – Diversas rupturas mobilizadas nas encostas situadas na margem direita do rio Preto. Predominam os escorregamentos translacionais.

Conforme mostrado nas Figuras 111 e 112 os escorregamentos translacionais resultam das pressões de água na interface do solo residual jovem (mais permeável) com a capa de argila (solo residual maduro - menos permeável). A ruptura é mobilizada pela base do talude, região em que as pressões de água são mais elevadas. O descalçamento da base ocasiona o deslizamento da porção superior.



Figura 111 – Escorregamento translacional resultante das pressões de água associadas ao perfil geotécnico e à descontinuidade hidráulica-mecânica dos materiais (capa de argila sobre solo residual jovem).





Figura 112 – Rupturas translacionais são pouco profundas, mas devido a altura do talude mobiliza volume significativo de solo.



Se o perfil geológico-geotécnico apresentar um horizonte de solo com granulometria mais grosseira (solo residual jovem) mais profundo na porção superior do talude de corte pode ser deflagrado um escorregamento múltiplo retrogressivo translacional rotacional (Figura 113). O mesmo poderia ocorrer no manto de alteração situado acima de afloramentos rochosos. Entretanto, esses casos são menos comum no segmento Grama.



Figura 113 – Por vezes, dependendo do perfil geológico pode ocorrer deslizamento múltiplo retrogressivo translacional rotacional. Esta tipologia de talude no segmento forma uma superfície de ruptura mais profunda.

Na pista 1 os talude de jusante são severamente afetados pela erosão fluvial do rio Preto. Durante o evento chuvoso de 2011 houve diversas rupturas nesses taludes que fazem parte da margem do rio (Figura 114). Tais escorregamentos resultaram do desequilíbrio entre o nível d'água N.A. do rio Preto e o lençol freático do terreno (rebaixamento rápido), associado aos processos erosivos mobilizados pela força da água. Essa situação é agravada nos trechos em que a curvatura externa do rio intercepta o pé do talude. Nesses casos a implantação de muro de peso em gabião com enrocamento na base e reaterro reforçado com faceamento em colchão reno apresenta-se com uma solução bem sucedida e de custo mais baixo em relação à outras obras de estabilização (Figura 115). Quanto aos aspectos ambientais deve-se atentar para não haja redução na seção hidráulica do rio.





Figura 114 – Rupturas nos taludes de jusante resultante da associação do efeito do rebaixamento rápido com erosões fluviais do rio Preto.





Figura 116 – Taludes de jusante situados na margem da curvatura externa do rio são mais afetados pela erosão fluvial. No segmento uma solução adotada com sucesso refere-se à execução de gabião e enrocamento na base do talude com reaterro reforçado com faceamento em colchão reno. Com o tempo a vegetação se estabelece e oculta o sistema de contenção.



## BACIA DO RIO PRETO

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

O segmento geológico-geotécnico Grama situa-se entre transposição do rio Preto sobre a rodovia e o encontro com o rio Paquequer, sendo caracterizado como seção meia encosta e composto por um único maciço (Figura 117). O segmento fica entre a transposição do rio Preto sob a rodovia (OAE) e o encontro do rio Preto com o rio Paquequer. Para o lado direito, pista 1, têm-se taludes de corte em morro residual convexo-retilíneo com gradiente médio a elevado e amplitudes topográficas entre 150m e 350m, com forma residual rochosa proeminente de gradiente elevado. No sopé da escarpa rochosa tem-se depósito de tálus-colúvio (Figura 118), que manifesta movimentações de rastejo nos quilômetros km 57+355 e km 58+480 (Figura 119). No trecho próximo ao km 59 nota-se a presença de um derrame de colúvio pouco espesso, que não influencia de maneira importante a estabilidade do talude de corte. Para o lado de jusante, os taludes de aterro ou natural pertencem à margem do rio Preto. Nesse segmento o rio Preto é pouco sinuoso e por vezes avança mais em direção ao pé do talude nos trechos curvos da calha fluvial. O rio Preto apresenta encontro perpendicular com o rio Paquequer (Figura 120). No encontro o rio também apresenta curvatura externa interceptando o talude de jusante (km 59+285), cuja altura é superior da ordem de 20m.

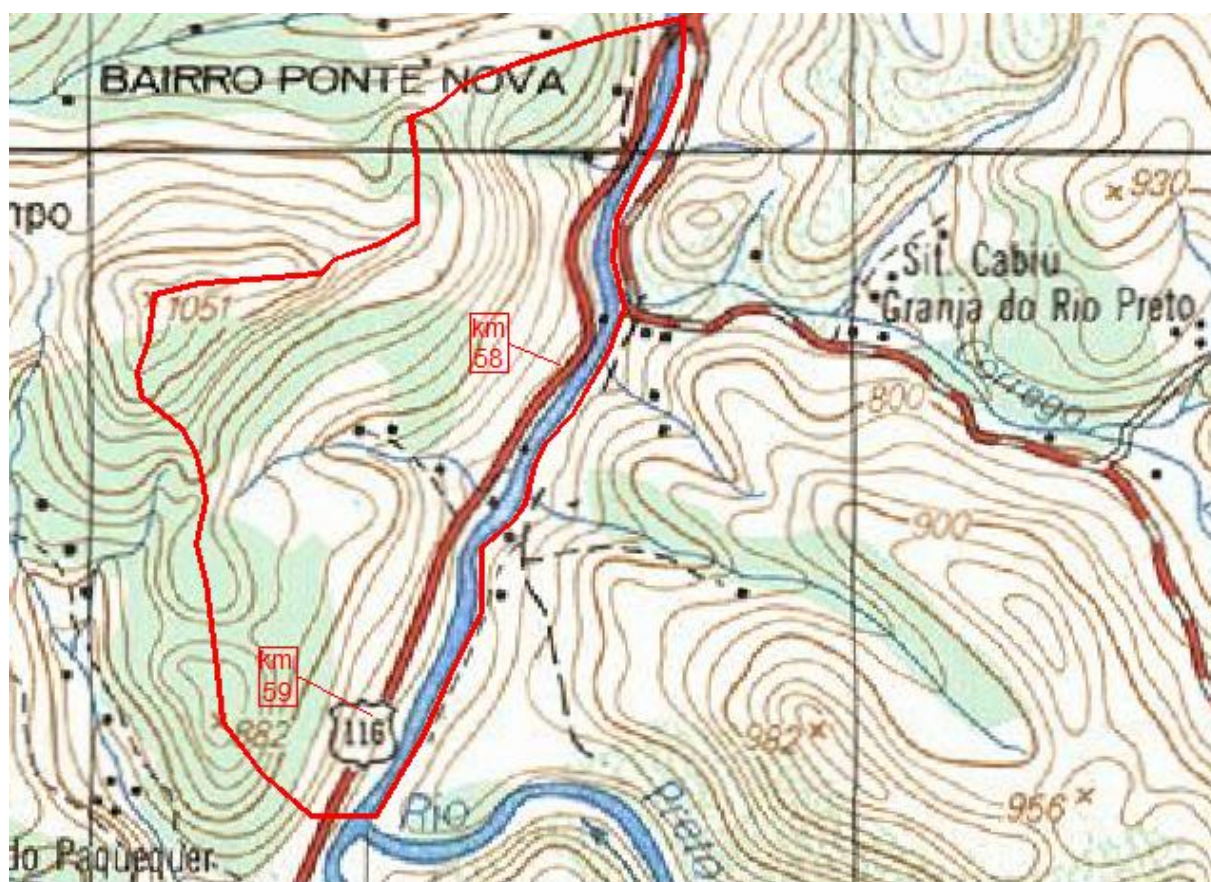


Figura 117 – Segmento geológico-geotécnico Ponte Nova é constituído de um único morro situado na pista 1 (lado direito). No lado esquerdo o talude de aterro ou natural pertence à margem esquerda do rio Preto que se desenvolve com geometria pouco sinuosa, que por vezes se aproxima da base do talude da plataforma rodoviária.





Figura 118 – Depósitos de tálus-colúvio em sopé de soerguimentos rochosos.



Figura 119 – Movimentação lenta de rastejo nas línguas de tálus-colúvio (km 57+355 e km 58+480, pista 1).





Figura 120 – Encontro dos rios Paquequer e Preto com direção perpendicular ao eixo da rodovia, cujo pé do talude é interceptado e, por consequência, solicitado pela curvatura externa da calha fluvial.

Na base da encosta ocorre afloramento de rocha fraturada com mergulho inclinado ( $70^\circ$ ) na direção da rodovia. O afloramento rochoso com superfície inclinada é capeado por manto de alteração pouco espesso recoberto por derrame coluvionar que apresenta escorregamento retrogressivo múltiplo translacional e rotacional (Figura 121).



Figura 121 – Escorregamento múltiplo retrogressivo translacional rotacional em manto de alteração sob afloramento de rocha fraturada na base do talude (km 57+460, pista 1).



Nos maciços residuais verificam-se escorregamentos translacionais resultantes de pressões de água atuantes na interface de horizontes de solo com diferentes propriedades geotécnicas (descontinuidade hidráulica-mecânica). Ocorre a mobilização da camada de solo menos permeável (capa argilosa). A superfície de ruptura expõe o horizonte de solo residual jovem com presença de matacões. Esse mecanismo de ruptura é agravado quando há remoção do material na base do talude (escavação da base do talude para implantação de estrada de chão – Figura 122).



Figura 122 – Escorregamento translacional resultante de escavação na base do talude associada à presença de matérias com diferente propriedades mecânica e hidráulicas submetidos a pressões de água na interface do material mais permeável com menos permeável (km 57+080, pista 1, fora da faixa de domínio).



## BACIA DO RIO PAQUEQUER

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

O segmento geológico-geotécnico Grama caracterizado como seção meia encosta encontra-se em uma pequena bacia de drenagem contendo três cursos d'água, afluentes do rio Paquequer (Figura 123). Os dois de maior extensão nascem na Serra do Taquaruçu (altitude de 1.432m) e apresentam declividade muito elevada. A topografia desse segmento tem relação com o padrão de drenagem variável, de dendrítico a retangular com densidade de drenagem média a alta. O sistema de drenagem é responsável pelo formato de vales fechados em “V”, que pode intemperismo diferencial houve o entalhamento até o assoalho rochoso observado nos canais fluviais. Predominam amplitudes topográficas entre 150m e 700m, de gradiente de médio a elevado. Para o lado direito, pista 1, têm-se taludes de corte em morros residuais convexos. Para o lado de jusante, os taludes de aterro ou natural fazem parte da margem do rio Paquequer ou de sua planície aluvionar.

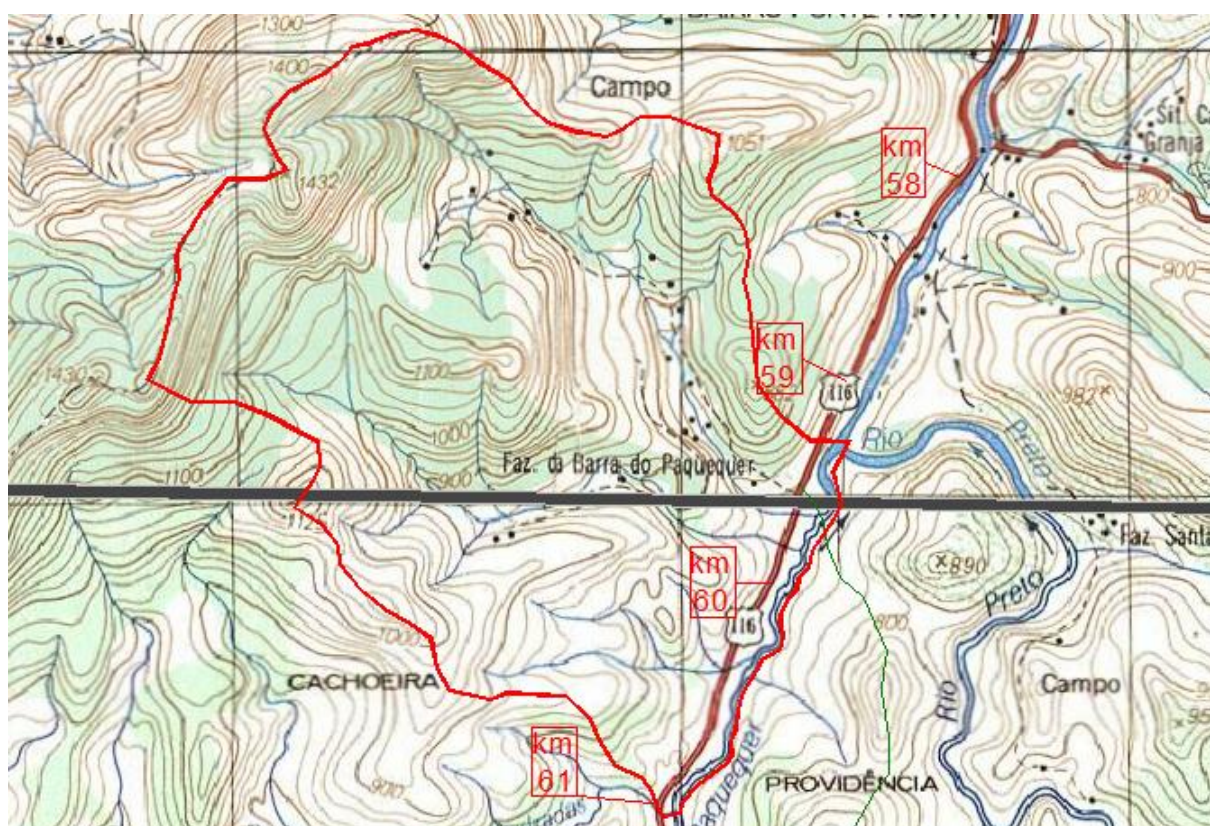


Figura 123 – Topografia do segmento geológico-geotécnico Barra do Paquequer moldada pelo sistema de drenagem, que por intemperismo diferencial apresenta vales com formação em “V” com exposição de assoalho rochoso no leito dos canais fluviais, destacando as escarpas da Serra do Taquaruçu (cota 1.432) e do soerguimento rochoso (cota 1.120) associado.

Problemas relacionados com os taludes de jusante são raros, devida distância do rio em relação ao talude de jusante. Para o lado de montante os pacotes de solo residual escavados pela implantação da rodovia tendem a mobilizar deslizamento rotacional pouco profundo (Figura 124). Nos taludes



de corte em alteração e solo saprolítico os escorregamentos também são rasos, entretanto, do tipo translacional (Figura 125).



Figura 124 – Cicatriz de ruptura rotacional pouco profunda em talude de corte em solo (km 60+240, pista 1).



Figura 125 – Escorregamento do tipo translacional em alteração e saprólito (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)

O segmento geológico-geotécnico Andradas envolve toda área da bacia de contribuição do ribeirão dos Andradas (Figura 126), cuja sua nascente e de seus afluentes encontra-se na Serra do Taquaruçu (altitude de 1.270m). Os cursos d'água apresentam elevadas declividades, moldando vales fechados encaixados em forma de "V". Somente próximo ao encontro com o rio Paquequer é que a calha fluvial assume uma declividade menos acentuada. O padrão de drenagem variável, de dendrítico a retangular com densidade de drenagem média a alta influencia na formação topográfica. Domínio de morros convexos e formas residuais proeminentes com amplitudes topográficas entre 150m e 700m, de gradiente de médio a elevado. Para o lado direito (pista 1) têm-se taludes de corte. O vale do rio Paquequer é 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 127). A calha fluvial do Paquequer é sinuosa e suas margens envolvem os taludes de jusante da rodovia (pista 2). Por vezes o rio avança muito na direção do pé do talude. As erosões promovidas nas curvaturas externas da calha fluvial deflagram rupturas remontantes que iniciam por solopamento da base do talude, podendo atingir a plataforma rodoviária (Figuras 128 e 129).

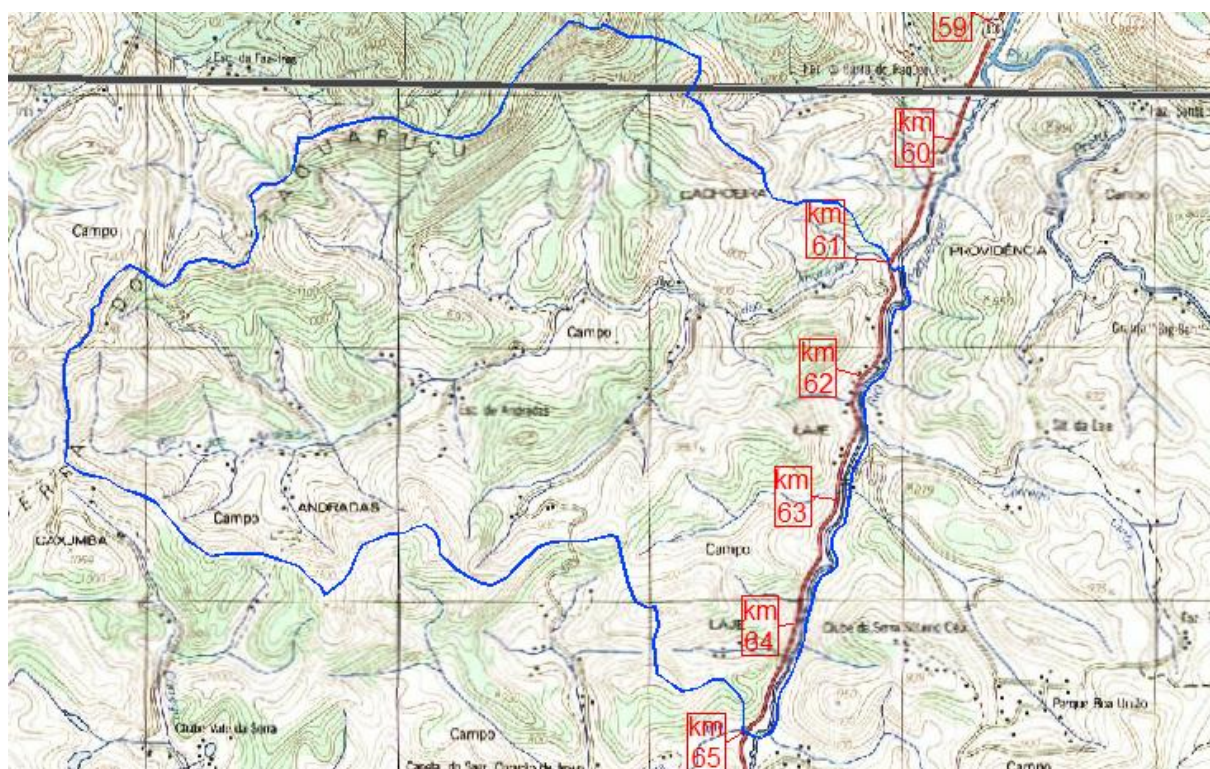


Figura 126 – Bacia hidrográfica do ribeirão dos Andradas limitada pelo divisor de águas dos contrafortes da Serra do Taquaruçu e pelo rio Paquequer. Segmento Andradas é influenciado pelo sistema de drenagem. O vale do rio Paquequer é fechado e encaixado em "V" formado por vertentes residuais, com predomínio de material de granulometria grosseira.





Figura 127 – 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 127).

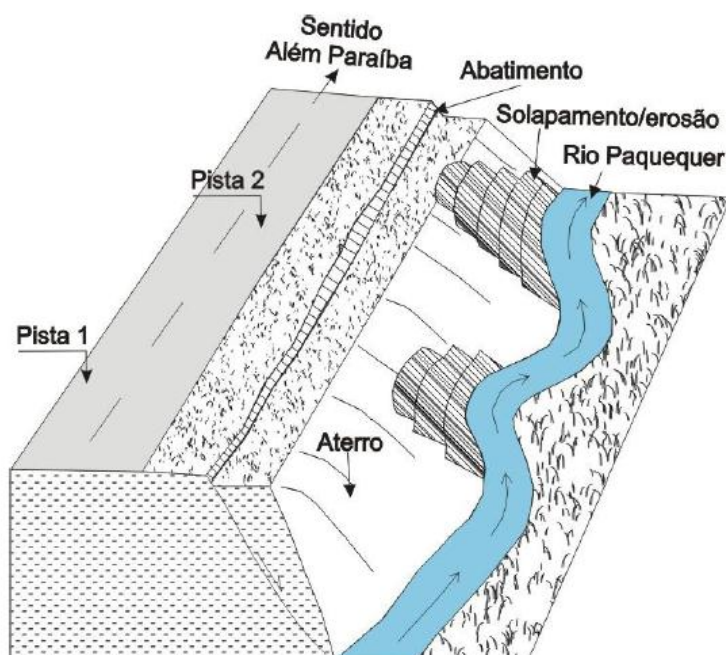


Figura 128 – Bloco diagrama ilustrando situações de solapamento e erosão nos taludes de aterro ou natural próximos a margem do rio Paquequer. Observa-se também trincas e abatimento formando uma possível cunha de escorregamento na lateral da rodovia (Thalweg, 2011).





Figura 129 – Curvatura externa do rio Paquequer mobilizando ruptura remontante no talude de jusante iniciada pelo solapamento ocasionado por erosão fluvial (foto 1 - Thalweg, 2011; foto 2 - CRT).

Durante o período prolongado de fortes chuvas que ocorreram em janeiro de 2011 ocorreram rupturas, tanto nos taludes de montante quanto nos de jusante (Figura 130). Conforme demonstrado na Figura 128 para o lado de jusante as rupturas tem origem em erosões fluviais que por solapamento da base mobilizam rupturas remontantes. Por outro lado, o mecanismo de ruptura observado nos taludes de montante tem relação direta com pressões de água subterrânea associadas à presença de descontinuidade hidráulica-mecânica. Trata-se de escorregamentos translacionais (Figura 131) resultantes das pressões de água na interface do solo residual jovem (mais permeável) com a capa de argila (solo residual maduro - menos permeável). A ruptura tem início na base do



talude, região em que as pressões de água são mais elevadas. O descalçamento da base ocasiona o deslizamento da porção superior. As cicatrizes de ruptura deixam exposta a camada de solo residual jovem caracterizado por silte arenoso pouco argiloso.



Figura 130 – Diversas rupturas nos taludes de montante e jusante no segmento Andradás (chuvas de 2011).



A compartimentação hidro-geológica favorece a infiltração de água no terreno e sua percolação na direção da face do talude. Nota-se muita umidade no solo e pontos de surgência de água. Entretanto, na região de montante dos taludes de corte têm-se outras fontes de infiltração de água oriundas de represas implantadas em cotas superiores ao greide da rodovia (Figura 131). A ação nociva da água subterrânea, sejam de fontes naturais ou não, é potencializada pelo perfil geotécnico, que proporciona elevadas pressões de água na interface dos materiais de diferentes permeabilidades, deflagrando rupturas, comumente, translacionais nos talude de corte (Figura 132).



Figura 131 – Fontes de infiltração de água oriundas de represas implantadas a montante do talude.



Figura 132 – Escorregamento translacional mobilizado pela associação do perfil geotécnico da encosta com elevadas pressões de água na interface de materiais com diferentes propriedades hidráulica e mecânica.