

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Tales Bergmeyer Morigi

**ALTERNATIVAS PARA EVITAR ACIDENTES
FERROVIÁRIOS POR QUEDA DE BLOCOS E
DESLIZAMENTOS DE TALUDES NO TRECHO
ROCA SALES-VACARIA**

Porto Alegre
novembro 2007

TALES BERGMAYER MORIGI

**ALTERNATIVAS PARA EVITAR ACIDENTES
FERROVIÁRIOS POR QUEDA DE BLOCOS E
DESLIZAMENTOS DE TALUDES NO TRECHO
ROCA SALES-VACARIA**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos
para obtenção o título de Engenheiro Civil

Orientador: Luiz Antônio Bressani

Porto Alegre
novembro 2007

TALES BERGMAYER MORIGI

**ALTERNATIVAS PARA EVITAR ACIDENTES
FERROVIÁRIOS POR QUEDAS DE BLOCOS E
DESLIZAMENTOS DE TALUDES NO TRECHO
ROCA SALES-VACARIA**

Porto Alegre, novembro de 2007

Prof. Luiz Antônio Bressani
PhD, Imperial College, London University
Orientador

Prof. Inácio Benvegnu Morsch
Chefe do DECIV

BANCA EXAMINADORA

Prof. Karla Salvagni Heineck (UFRGS)
DSc, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS

Prof. Felipe Gobbi (UFRGS)
MSc, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS

Prof. Luiz A. Bressani (UFRGS)
PhD, Imperial College, University of London

Dedico este trabalho a meus pais, Toninho e Rosana, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, professor Luiz Antônio Bressani, PhD, sempre disposto a compartilhar seus vastos conhecimentos de engenharia, pela amizade e apoio incondicionais.

À professora Carin Maria Schmitt, DSc, pela inestimável aprendizagem, sem a qual não seria possível a execução do presente trabalho científico.

À empresa América Latina Logística, que me depositou seu voto de confiança ao me inserir no seu quadro de engenheiros civis, por todos os ensinamentos técnicos adquiridos e pelo crescimento pessoal diário.

Aos meus pais, fiéis incentivadores, sempre presentes e dispostos a dispensar todos os seus esforços em prol da minha realização pessoal. Essa vitória também é de vocês!

À minha filha Laura, razão do meu viver, que com seu sorriso e alegria contagiantes tornou doces os mais árduos momentos acadêmicos. Agradeço também sua compreensão quando privados nossos momentos de convivência em prol dos estudos paternos.

À minha irmã Tássia, minha melhor amiga, que sempre me apoiou para que eu realizasse meus objetivos acadêmicos.

Aos meus queridos avós Alice, José (*in memoriam*), Amanda e Leopoldo (*in memoriam*), que em minha criação dispensaram todo o carinho e atenção que lhes era possível, a fim de que eu pudesse com êxito atingir meus objetivos.

Aos meus estimados colegas de trabalho Daniel F. Afonso, José F. Colla e Rudinei Barcellos, grandes amigos, pela paciência, companheirismo e ensinamentos diariamente dispensados em nossa rotina ferroviária.

A todos os laços de amizades firmados com os colegas de graduação, que certamente não de persistir por todas nossas vidas. Agradeço pelos estudos, frustrações e festas compartilhadas.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que gratuitamente cedeu seu espaço físico e disponibilizou seu excelente quadro docente, pela oportunidade concedida.

À Deus, pela vida e por me proporcionar a necessária coragem para lutar por meus objetivos.

Talentos encontram soluções. Gênios encontram problemas.
Hans Klailsheimer.

RESUMO

MORIGI, T. B. **Alternativas para evitar acidentes ferroviários por quedas de blocos e deslizamentos de taludes no trecho Roca Sales-Vacaria**. 2007. 41 fls. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Este trabalho visou realizar um estudo exploratório em um trecho da linha férrea, situado entre os municípios de Vacaria e Roca Sales, denominado Tronco Sul. O estudo propõe levantar possíveis causas e soluções no que tange o deslizamento de barreiras e quedas de blocos ao longo dessa via. Isso foi embasado a partir da revisão na literatura que aborda diagnóstico e soluções dos escorregamentos e quedas. O levantamento de dados em campo e dos arquivos da companhia indicou a caracterização do trecho crítico de forma precisa. A pesquisa bibliográfica levantou alternativas de intervenção ou solução para as instabilidades de taludes em cortes observados.

Palavras-chave: barreiras; taludes; linha férrea; queda de blocos.

ABSTRACT

MORIGI, T. B. Alternatives to avoid railway accidents connected to block falls and slope failures on Roca Sales-Vacaria segment. 2007. 41 fls. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

This work is an exploratory study in the railway segment between Vacaria and Roca Sales, called Tronco Sul. The study proposes to investigate the possible causes and solutions on problems related to slope instabilities and falling blocks along the railway line. This work was based on a literature review on diagnosis and solutions of soil and rock slides and falls. The field inspections and data survey on archives of the railway operator allowed the accurate characterization of the critical segment. The bibliographic review indicated alternative solutions or interventions for the cut slope instabilities observed.

Key-words: rock falls; slopes; railway; blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tronco Sul	15
Figura 2: etapas do trabalho	16
Figura 3: gabiões	21
Figura 4: cortina cravada	22
Figura 5: tirantes	23
Figura 6: microestacas	24
Figura 7: drenagem superficial	26
Figura 8: km 151+100	28
Figura 9: estrada no topo do corte- km 151+100	29
Figura 10: km 155+900	30
Figura 11: km 165+000	31
Figura 12: acidente km 165+000	31
Figura 13: km 171+900	32
Figura 14: km 207+000	33
Figura 15: km 211+100	34
Figura 16: km 151+000	39
Figura 17: estrada no topo do corte- km 151+100	39
Figura 18: pluviômetro agrícola	41
Figura 19: detector de barreira	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: ocorrências de acidentes infra-estrutura	27
Gráfico 2: relação chuva x barreira	36
Gráfico 3: relação chuva x barreira – out/2005	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 METODOLOGIA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 DELIMITAÇÃO	15
2.4 LIMITAÇÕES	15
2.5 ETAPAS DA PESQUISA	16
2.5.1 Desenho da Pesquisa	16
3 ESTABILIDADE DE TALUDES	17
3.1 DESLIZAMENTOS	17
3.1.1 Deslizamentos em cortes	18
3.2 QUEDA DE BLOCOS	20
4 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	21
4.1 GABIÕES	21
4.2 CORTINA CRAVADA	22
4.3 CHUMBADORES	22
4.4 TIRANTES	23
4.5 MICROESTACAS (ESTACA INJETADA)	24
4.6 DRENAGEM PROFUNDA	25
4.7 DRENAGEM SUPERFICIAL	25
5 ACIDENTES OCACIONADOS POR PROBLEMAS DE INFRA-ESTRUTURA	27
6 PONTOS CRÍTICOS DA TRONCO SUL	28
6.1 Km 151 + 100	28
6.2 Km 155 + 900	29
6.3 Km 165 + 000	30
6.4 Km 171 + 900	32
6.5 Km 207 + 000	32
6.6 Km 211 + 100	33
7 RELAÇÃO DE CHUVAS X QUEDAS DE BARREIRAS	34
7.1 ANÁLISE DOS GRÁFICOS	38

8 ALTERNATIVAS PARA EVITAR ACIDENTES POR QUEDAS DE BARREIRAS	38
8.1 DESLIZAMENTOS	38
8.2 PONTOS COM QUEDAS DE BLOCOS	40
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo levantar possíveis alternativas para evitar acidentes por quedas de blocos e deslizamentos de cortes ao longo da via férrea. Esta instabilidade nos taludes tem sido objeto de estudo devido à quantidade de acidentes que ocasionaram nos últimos anos. Além de impedir o fluxo comercial, o custo na manutenção de uma locomotiva ou vagão é muito alto. Através de levantamento de dados históricos com relação à queda de barreiras, definiram-se os pontos críticos, locais onde os deslizamentos e quedas são mais freqüentes. Os pontos em questão pertencem ao trecho da linha chamado Tronco Sul e estão situados entre os municípios de Roca Sales e Vacaria, no Rio Grande do Sul. A partir da revisão da literatura que aborda diagnóstico e soluções dos escorregamentos, sabe-se que esses ocorrem devido a diversos fatores, tendo a água como principal agente deflagrador. Durante esse estudo outras características determinantes para os deslizamentos de taludes serão observadas *in loco*, tais como: inclinação acentuada de cortes, descontinuidades entre os maciços, influência do crescimento da vegetação (raízes) e intemperismo dos materiais. A partir da realização do levantamento de campo foi caracterizada a região onde se localiza o trecho crítico de forma precisa a fim de encontrar alternativas de intervenção ou soluções pontuais para o deslizamento de barreiras.

2 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho é baseada no estudo exploratório da linha Tronco Sul. Em um segundo momento serão relacionados os dados do levantamento de campo (realizados através de planilhas) com a pesquisa bibliográfica para determinação das causas e possíveis alternativas para evitar acidentes ferroviários.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Este estudo tem por questão de pesquisa apresentar quais são as principais alternativas para redução de acidentes em cortes da ferrovia, que apresentam queda de blocos e deslizamentos, no Tronco Sul.

2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a proposição de alternativas para redução de acidente por queda de blocos e deslizamentos no Tronco Sul.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários são:

- a) Caracterização da região onde se localiza a via para identificar áreas críticas e tipos de movimentos;

- b) Correlação entre a precipitação e a queda de barreiras que ocorrem (dados da empresa);

2.3 DELIMITAÇÃO

O trecho a ser analisado está delimitado entre os km 151 e 222, entre os municípios de Roca Sales e Vacaria, pertencendo à linha férrea Tronco Sul (FIGURA 1).

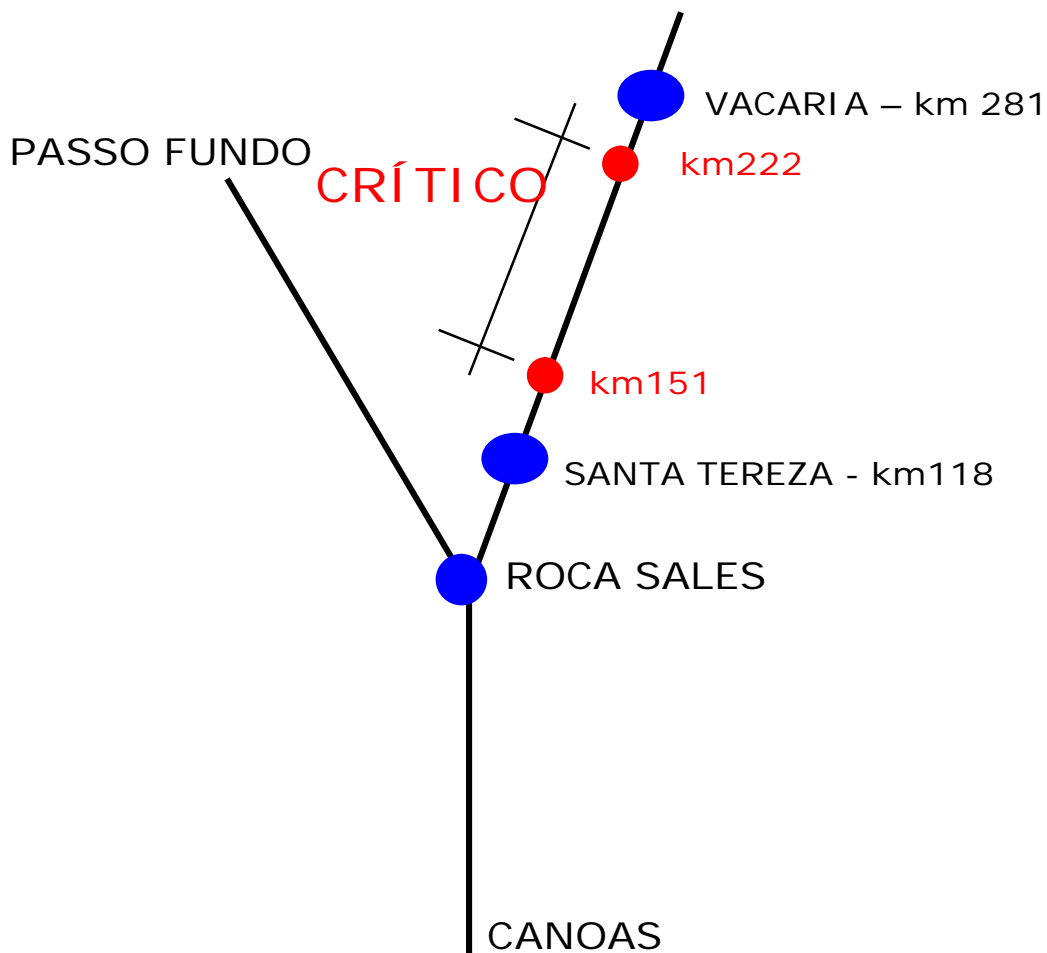


Figura 1: Tronco Sul

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações deste trabalho:

- a) Dificuldade de acesso aos locais;
- b) Inexistência de registros sistemáticos das características gerais da via e incidentes (tipos de materiais, geometria, drenagem/água, valeta, vegetação).

2.5 ETAPAS DA PESQUISA

Para se alcançar o objetivo deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica: através da revisão bibliográfica, que esteve presente em todas etapas ao longo do trabalho, foram feitas considerações sobre as quedas de blocos e deslizamentos, suas principais causas e possíveis alternativas para que não atinjam a linha férrea;
- b) estudo exploratório: através desta etapa foi possível detectar, baseado em dados cedidos pela ALL - América Latina Logística, em qual trecho e extensão se localizavam os maiores problemas por quedas de barreiras e quais eram os pontos críticos;
- c) levantamento de campo: nos locais que apresentaram um maior histórico de ocorrências e acidentes, por quedas de barreiras, foram analisadas as características dos locais;
- d) análise de dados: as principais causas dos incidentes com barreiras foram analisadas;
- e) redação do relatório e conclusão.

2.5.1 Desenho da pesquisa

Estas etapas relacionam-se entre si, conforme apresentado na figura 2.

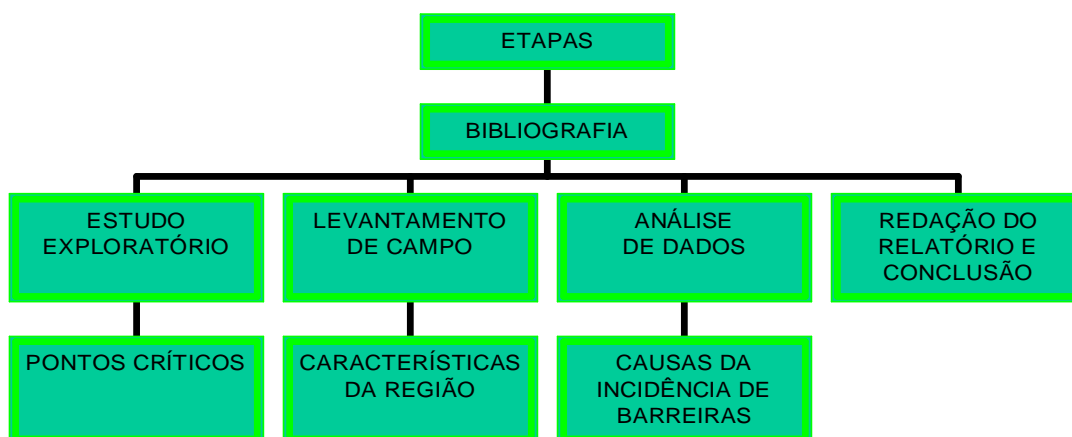


Figura 2: etapas do trabalho

3 ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Augusto Filho (1995), o estudo sistemático de reconhecimento e identificação de escorregamentos se intensificou nas últimas cinco décadas. Costa Nunes(apud Augusto Filho, 1995) relata que grande parte dessa intensificação foi resultante da necessidade de corrigir problemas de taludes associados à implantação das grandes ferrovias e rodovias modernas.

A importância da análise e controle de escorregamentos está diretamente relacionada à demanda sócio-econômica oriunda de acidentes e problemas diversos concernentes a instabilizações de encostas (AUGUSTO FILHO, 1995).

Segundo Virgili (apud Carvalho, 1991), a pesquisa voltada à estabilidade de taludes em encostas naturais acumula extenso desenvolvimento técnico-científico. Os taludes ou as encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos. Podem apresentar modificações antrópicas, tais como cortes, desmatamentos, introdução de cargas, etc. O termo encosta é mais empregado em estudo de caráter regional. Talude de corte é entendido como um talude originado de escavações antrópicas diversas. Talude artificial refere-se ao declive de aterros construídos a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens, incluindo rejeitos industriais, urbanos ou de mineração.

3.1 DESLIZAMENTOS

A obra bibliográfica de referência para diagnóstico e soluções de problemas de talude de rodovias e ferrovias (CARVALHO, 1991), diz que os escorregamentos são movimentos rápidos de porção de taludes naturais, de cortes ou aterros. Apresentam superfície de ruptura bem definida, que é função do tipo de solo ou rocha, da geometria do talude e das condições de fluxo d'água. Ocorrem devido a diversos fatores tendo a água como principal agente deflagrador. Por esse motivo, são observados com maior frequência em períodos chuvosos, sendo que uma das condições mais críticas é caracterizada por um período contínuo de chuvas de alguns dias, seguido de uma precipitação mais intensa.

Embora seja geralmente considerado que os diversos tipos de instabilização ocorram por falta do necessário conhecimento do meio físico, levando a projetos inadequados e construções ineficientes (OLIVEIRA; BRITO, 1998), em obras de grande extensão muitas vezes é preciso conviver com um certo grau de incerteza.

3.1.1 Deslizamentos em cortes

A execução de cortes em uma encosta provoca alterações no estado de tensões atuantes no maciço, que tende a instabilizar a região a montante do talude. As tensões de tração que venham a ocorrer poderão provocar o aparecimento de trincas. Durante a ocorrência de chuvas estas trincas podem ser preenchidas por água, fato ao qual estão associados inúmeros escorregamentos (CARVALHO, 1991).

Segundo Carvalho (1991) além das alterações nos estados das tensões, as modificações na geometria dos taludes alteram as condições de drenagem e cobertura vegetal, que podem facilitar a infiltração da água e conseqüente saturação do maciço, reduzindo a resistência dos materiais envolvidos, assim como a ocorrência de diversos processos erosivos.

Os escorregamentos em corte foram classificados em função da sua principal causa, ou seja:

a) Deslizamentos em cortes devido à mudança na geometria do talude

Segundo Guidicini; Nieble (1976), mudar a geometria do talude significa reduzir a altura do talude ou reduzir seu ângulo, e, quando for possível implantar essa medida, ela se constituirá no meio mais barato de melhorar a estabilidade do talude. No entanto, nem sempre é a medida mais efetiva, pois a redução da altura, ou ângulo do talude, não só reduz as forças solicitantes que tendem a induzir a ruptura, mas também reduz a tensão normal e a força de atrito resistente, que depende da tensão normal atuante na superfície considerada.

Este tipo de deslizamento é causado principalmente pela não compatibilidade das inclinações dos taludes com as resistências dos solos (CARVALHO, 1991).

Segundo Santos (2007), as encostas começam a se mostrar mais susceptíveis a escorregamentos a partir de inclinações em torno de 35°, mas este é um valor dependente do tipo de material do corte, como pode ser visto no trecho estudado.

b) Deslizamentos em cortes devido à descontinuidade do maciço

Nestes tipos de escorregamentos Carvalho (1991) explica que ocorrem tendo como superfície principal de ruptura uma descontinuidade do material, que pode ser resultante de estruturas residuais ou do contato solo/rocha.

c) Deslizamentos em cortes devido à saturação/aumento da poro-pressão

Segundo Santos (2007), a saturação dos solos superficiais é uma conseqüência decorrente da infiltração durante períodos de precipitação. Mais importante que o total de chuvas em um determinado período, ou mesmo que a intensidade de um episódio isolado de chuva torrencial, é o histórico pluviométrico acumulado em um determinado número de dias. A maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos, tanto os naturais como os induzidos, se dá quando de um histórico pluviométrico caracterizado por 3 ou 4 dias de chuvas intensas de saturação, culminado por um episódio de chuva torrencial de grande intensidade. É nessa situação que os solos superficiais sofrem saturação com conseqüente enfraquecimento de suas propriedades geotécnicas.

d) Deslizamentos em cortes devido à evolução da erosão

A erosão resulta da remoção e transporte de partículas do solo, sedimentos ou outros materiais friáveis, provocados pela ação de um fluido (água, vento, neve), sendo, por isso, classificada como um processo de transporte de massa (ALHEIROS, 2007).

A evolução dos processos erosivos, em sulcos ou diferenciada, altera a forma do talude, formando paredes subverticais, geralmente incompatíveis com a resistência do solo (CARVALHO, 1991).

Conforme Carvalho (1991), tal situação associada ou não a fatores como descontinuidades, provoca rupturas que costumam ser pequenas individualmente, porém, por serem remontantes, acabam por comprometer, com o tempo, a estabilidade de todo o talude.

e) Instabilidade em corpo de tálus

De acordo com Carvalho (1991, p.119):

Os corpos de tálus são constituídos por uma grande heterogeneidade de materiais e apresentam, freqüentemente elevada porosidade, encontrando-se nos anfiteatros das encostas, em áreas de baixa declividade. São geralmente muito instáveis frente a modificações de sua geometria, quando submetidos a cortes ou aterros, e alterações no sistema de infiltração e circulação de água, pela implantação de rodovias.

3.2 QUEDA DE BLOCOS

Conforme Carvalho, (1991), a queda de blocos caracteriza-se por movimentos rápidos, geralmente em queda livre mobilizando volumes de rocha relativamente pequenos. Este processo está associado a encostas rochosas abruptas, ou a taludes de corte em rocha sã ou pouco alterada. Este fenômeno pode ser dar em duas situações:

- a) na primeira, as causas básicas são as descontinuidades do maciço rochoso, que propiciam o isolamento de blocos unitários de rocha, a pressão através do acúmulo de água nestas descontinuidades, ou a penetração e o crescimento de raízes nas mesmas. A ocorrência deste fenômeno é generalizada em cortes em rocha, onde o faturamento do maciço é desfavorável à estabilidade. Sua consequência pode ser grave, pois os blocos podem atingir a pista com facilidade. Quando o fraturamento do maciço é intenso, pode-se ter a ocorrência de fragmentos menores (aproximadamente 10 a 30 cm), neste caso com consequências de menor gravidade;
- b) a segunda situação de queda de blocos ocorre em rochas sedimentares, quando camadas de arenito, siltito e argilito estão intercaladas. Neste caso, as camadas de siltito e argilito sofrem o fenômeno de desagregação, provocando o descalçamento de blocos de arenitos da camada superior. As consequências deste fenômeno podem ser graves, pois originam blocos de grandes dimensões que freqüentemente atingem a pista.

Segundo Costa Nunes (1992), é muito comum a ocorrência de grandes matacões, que assentam, em geral, sobre a rocha sã ou pouco acima desta, podendo ficar ocultos na massa de solo e virem a ser descobertos apenas quando da execução de obras ou serem postos a descoberto pela erosão.

Os dois fenômenos são acentuados em períodos chuvosos por aumento da erosão e poropressão.

4 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Existem, na Engenharia Civil, diversos métodos de estabilização de taludes para evitar os desmoronamentos ou quedas de blocos.

4.1 GABIÕES

Os gabiões apresentam as seguintes características:

- a) são caixas ou gaiolas de arame galvanizado, preenchidas com pedra britada ou amarrada, que são colocadas justapostas e costuradas umas às outras com arame;
- b) responsáveis pela proteção superficial de encostas;
- c) estruturas drenadas e bastante deformáveis;
- d) tem simplicidade construtiva e baixo custo.

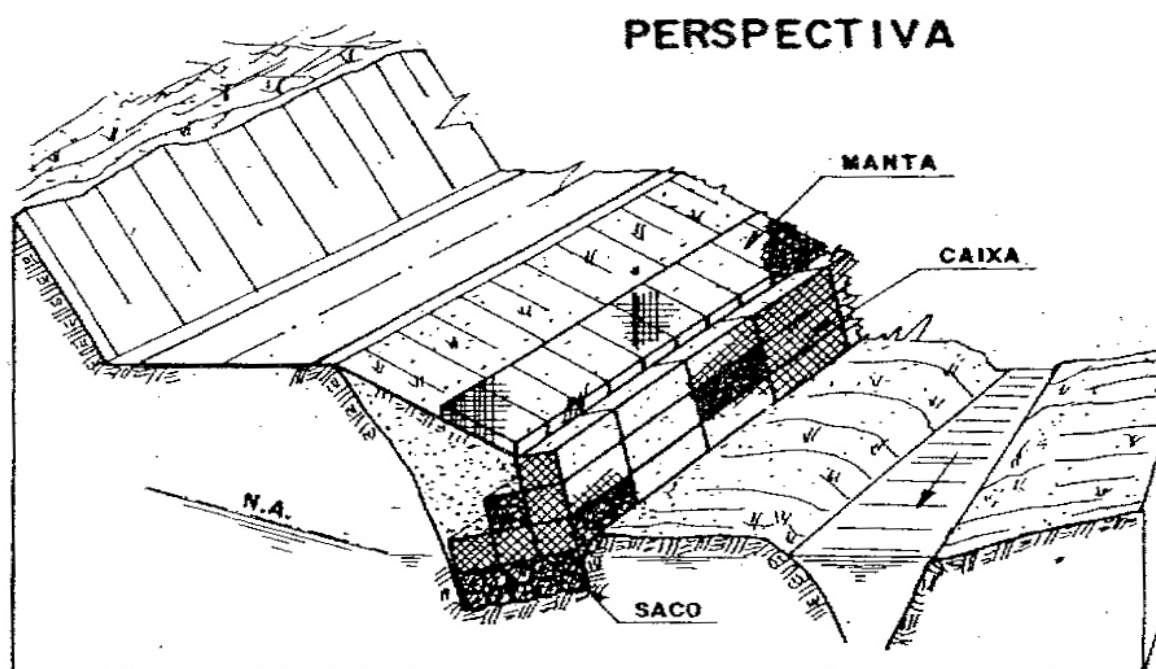


Figura 3: Gabiões (CARVALHO, 1991)

4.2 CORTINA CRAVADA

São características das cortinas cravadas:

- a) estacas ou perfis cravados no terreno;
- b) possuem um painel em concreto armado;
- c) são estruturas pouco deformáveis.

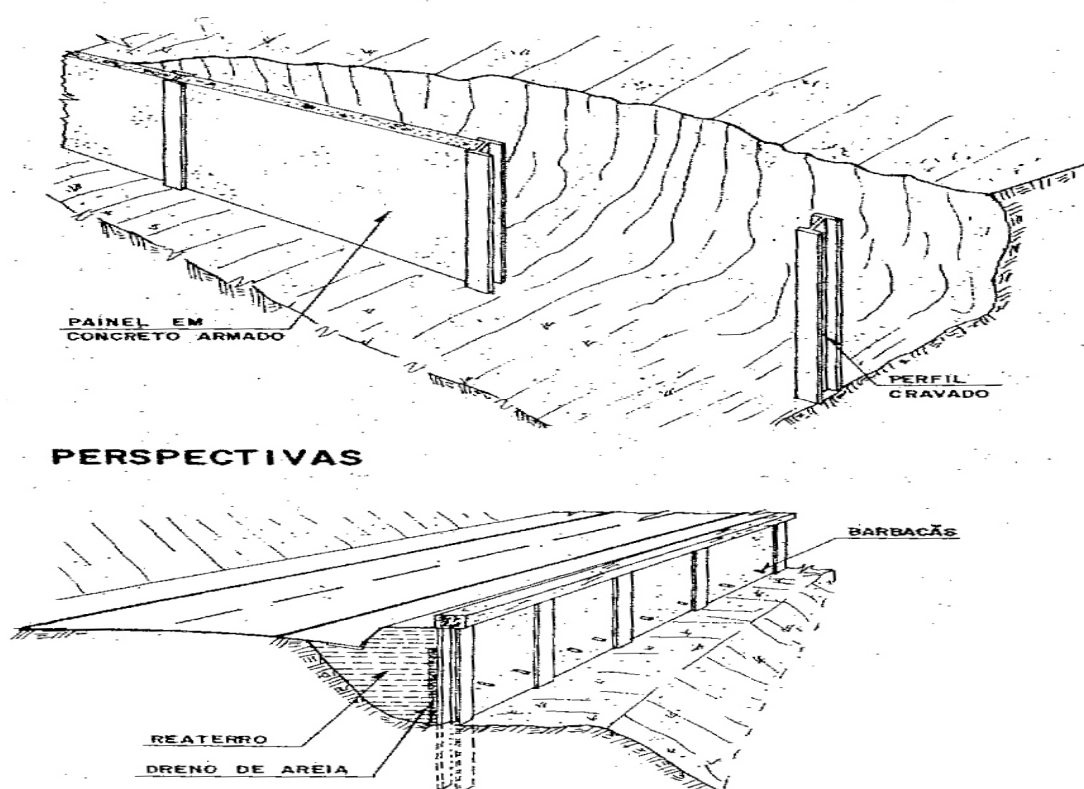


Figura 4: Cortina cravada (CARVALHO, 1991)

4.3 CHUMBADORES

Os chumbadores apresentam as seguintes características:

- a) são barras de aço fixados com cimento ou resina;
- b) tem o objetivo de conter blocos isolados.

4.4 TIRANTES

Os tirantes tem a seguinte função:

- Ancorar massas de solo ou blocos de rocha, pela força gerada pela protensão desse elemento;
- Transmitir os esforços em uma zona mais resistente do maciço através de fios, barras ou cordoalhas de aço.

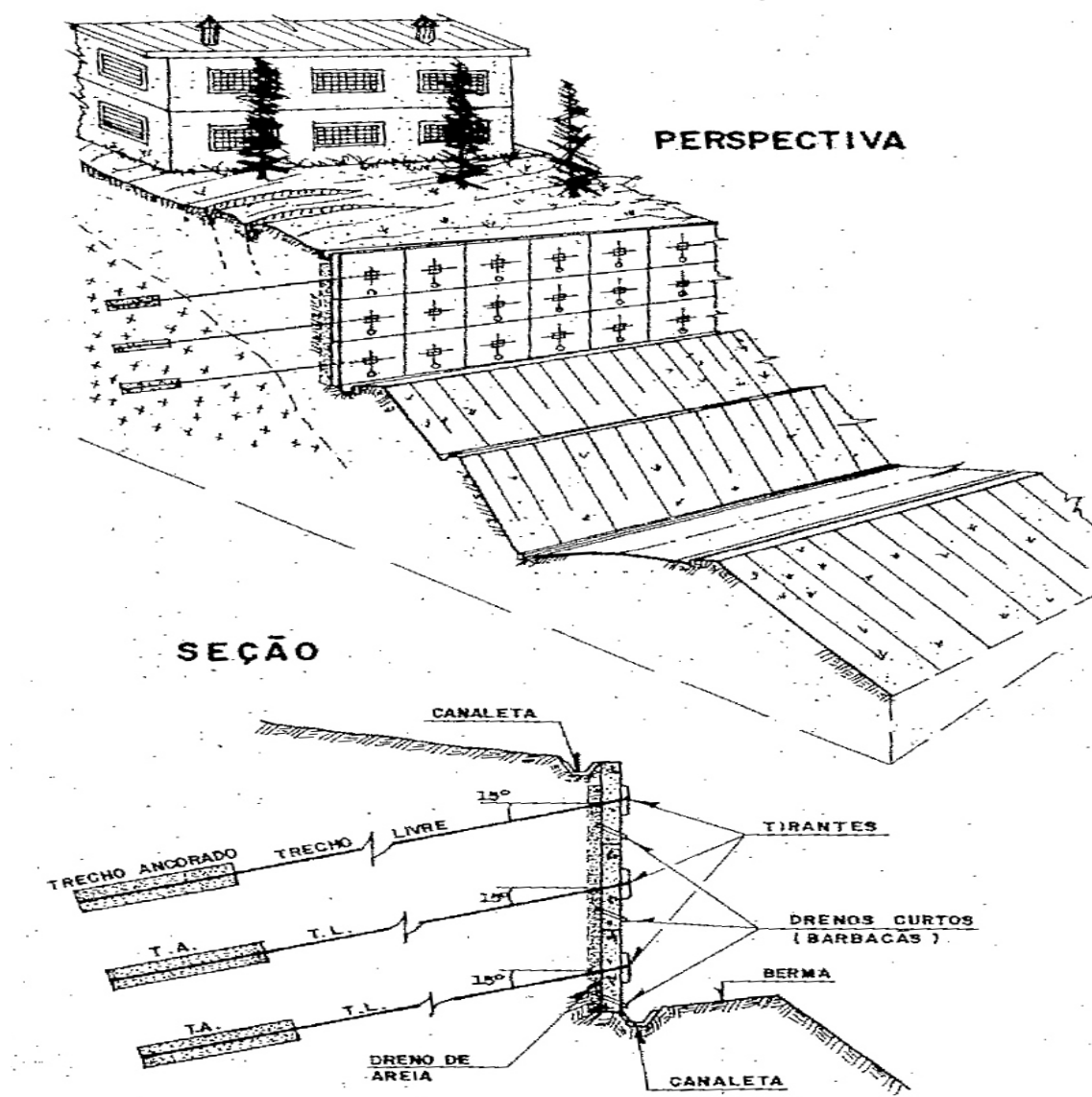


Figura 5: Tirantes (CARVALHO, 1991)

4.5 MICROESTACAS (ESTACA INJETADA)

São características das microestacas:

- Introdução de estacas-perfuradas, armadas e injetadas sob pressão;
- A armadura das estacas e a cobertura de cimento ou argamassa funcionam como reforço ao maciço;
- Alto custo.

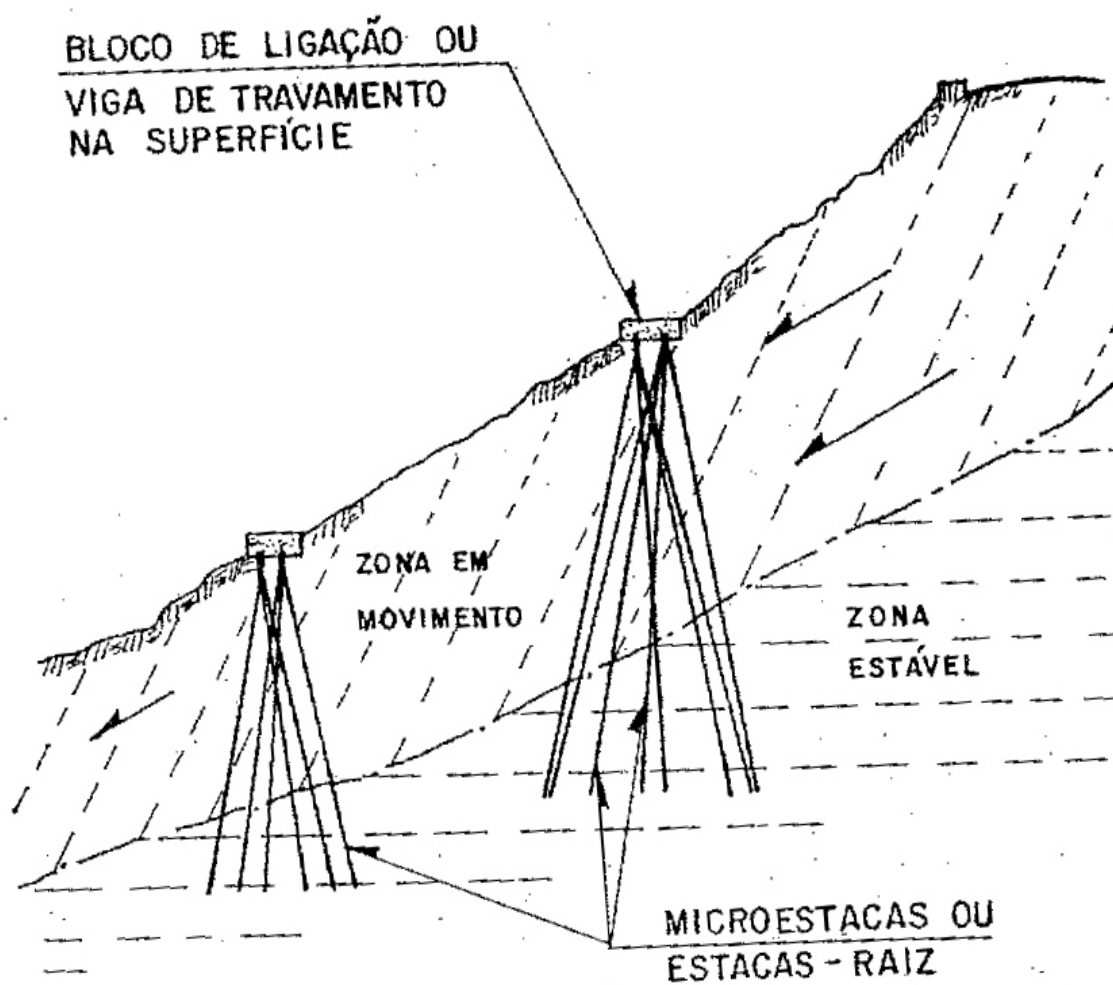


Figura 6: Microestacas (CARVALHO, 1991)

4.6 DRENAGEM PROFUNDA

Podem-se associar à drenagem profunda os seguintes tópicos:

- a) retirada de água da percolação interna dos maciços (do fluxo através dos poros de um maciço terroso ou através de fendas e fissuras de um maciço rochoso);
- b) à retirada de água do maciço estarão associadas obras de drenagem superficial, para coletar e direcionar esse fluxo de água drenado no interior do maciço;
- c) em taludes de cortes os processos mais utilizados são drenos sub-horizontais (tubos de drenagem), cujo funcionamento se dá por fluxo gravitacional.

4.7 DRENAGEM SUPERFICIAL

Relacionam-se à drenagem superficial (figura 7):

- a) captação do escoamento das águas superficiais através de canaletas, valetas, sarjetas ou caixa de captação;
- b) tem como objetivo conduzir as águas para um local conveniente;
- c) reduzir a infiltração da água nos maciços;
- d) evitar fenômenos de erosão na superfície dos taludes.

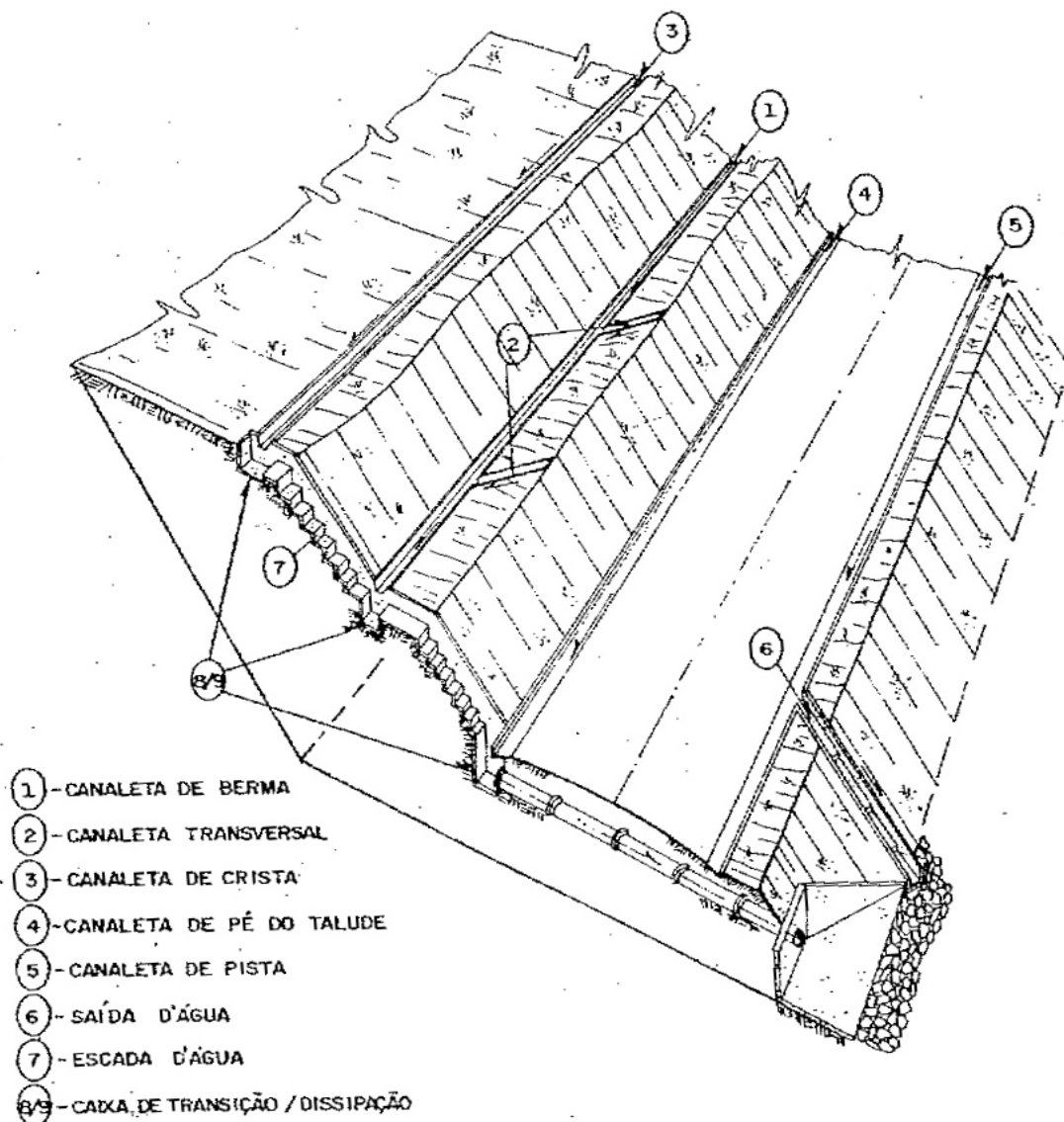


Figura 7: Drenagem superficial (CARVALHO, 1991)

5 ACIDENTES OCACIONADOS POR PROBLEMAS DE INFRA-ESTRUTURA

A partir do cadastro de ocorrências de acidentes por motivos de infra-estrutura, de janeiro de 2002 a agosto de 2007, da empresa América Latina Logística, foi obtido o gráfico 1. Observou-se que as quedas de barreiras são responsáveis por 56 % das ocorrências de infra-estrutura no Tronco Sul.

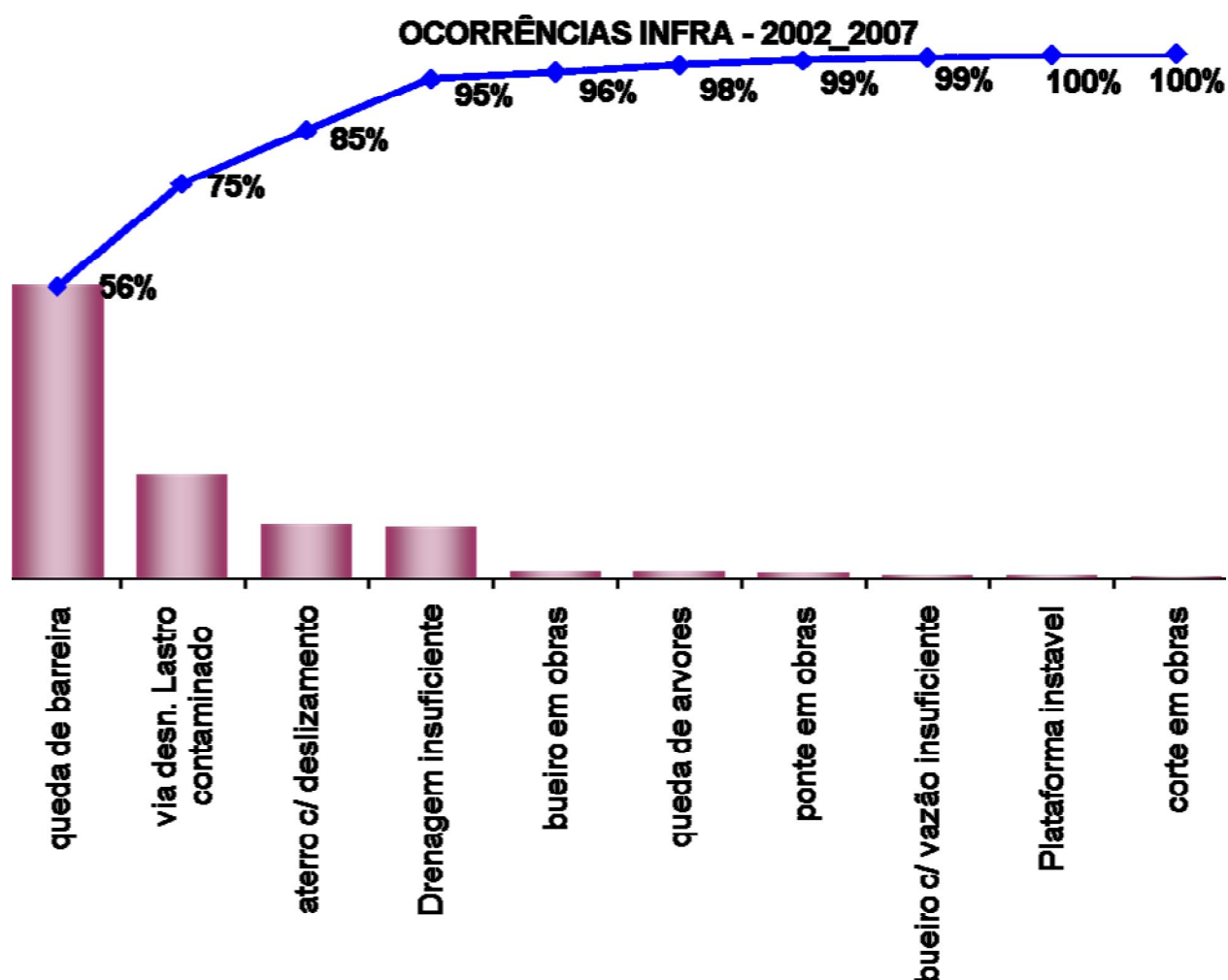


Gráfico 1: ocorrências de infra-estrutura

6 PONTOS CRÍTICOS DA TRONCO SUL

Verificou-se em inspeções detalhadas no trecho os locais com maior incidência de quedas de blocos e deslizamentos.

6.1 km 151 + 100

Caracteriza-se por conter corte em um lado, presença de solo/rocha e muitas raízes em sua extensão. Geralmente, ocorrem deslizamentos de grandes massas apresentando um elevado risco de interrupção da via férrea e dificuldade para restabelecimento do tráfego. Como existe descontinuidade do maciço, e nenhum sistema de drenagem, quando chove a água infiltra fazendo com que a terra, sob influência de poro- pressão, deslize sobre as rochas (figura 8).

Esta situação é agravada pela existência de uma estrada municipal no topo do corte (figura 9), pois não existe nenhum tipo de drenagem no local. Quando chove a água infiltra em fissuras abertas na estrada e sai no meio do corte, gerando instabilidade em todo talude.

Desde 2002, a via já ficou interrompida mais de vinte vezes nesse km e se observou que os escorregamentos ocorreram com precipitações a partir de 30 mm.



Figura 8: Km 151 +100



Figura 9: estrada no topo do corte- km 151 +100

6.2 km 155 + 900

Esse ponto apresenta o problema de quedas de blocos. Possui corte em um lado da linha, terreno predominantemente rochoso com diversas trincas pré-existentes que abriram mais com a presença de raízes (figura 10). Possui canaletas revestidas na crista do corte, no entanto estão completamente obstruídas por falta de limpeza. Isso faz com que a água das chuvas não dê escoamento e penetre nas fissuras, desestabilizando os blocos.

Desde julho de 2005 já ocorreram cinco quedas, sendo que em uma delas ocorreu um acidente que interrompeu durante seis horas o tráfego ferroviário.



Figura 10: Km 155 + 900

6.3 km 165 + 000

Um dos grandes problemas desse corte é sua inclinação muito acentuada. Fato agravado pela vegetação densa existente e a grande presença de trincas nas rochas. Não existe nenhum tipo de drenagem, portanto a água das chuvas vai abrindo caminho pelo meio do corte, fazendo com que grandes blocos se soltem podendo atingir a linha(figura 11).

Em julho de 2006, uma locomotiva bateu em pedras que desmoronaram do talude, causando grave acidente ferroviário (figura 12). Calculou-se que o custo dos danos provocados foi de R\$ 90.000,00.



Figura 11: Km 165 + 000



Figura 12: acidente Km 165 + 000

6.4 km 171 + 900

Esse talude (figura 13) apresenta corte em caixão, vegetação densa com presença de raízes e rochas com muitas trincas. Não possui sistema de drenagem, fazendo com que toda água da chuva percole nas fendas abertas na rocha. Quando ocorrem quedas de blocos, possui grande risco de atingir a linha. Fato ocorrido por três vezes no ano de 2006.



Figura 13: Km171 + 900

6.5 km 207 + 000

Nesse ponto (figura 14) verifica-se presença de muita vegetação e árvores com raízes profundas, responsáveis por aberturas de trincas em toda extensão do corte. Geralmente a chuva é o motivo das quedas, no entanto, em janeiro de 2006, após vários dias de estiagem ocorreu uma queda de blocos que descarrilou cinco vagões que colidiram com uma barreira de pedras.

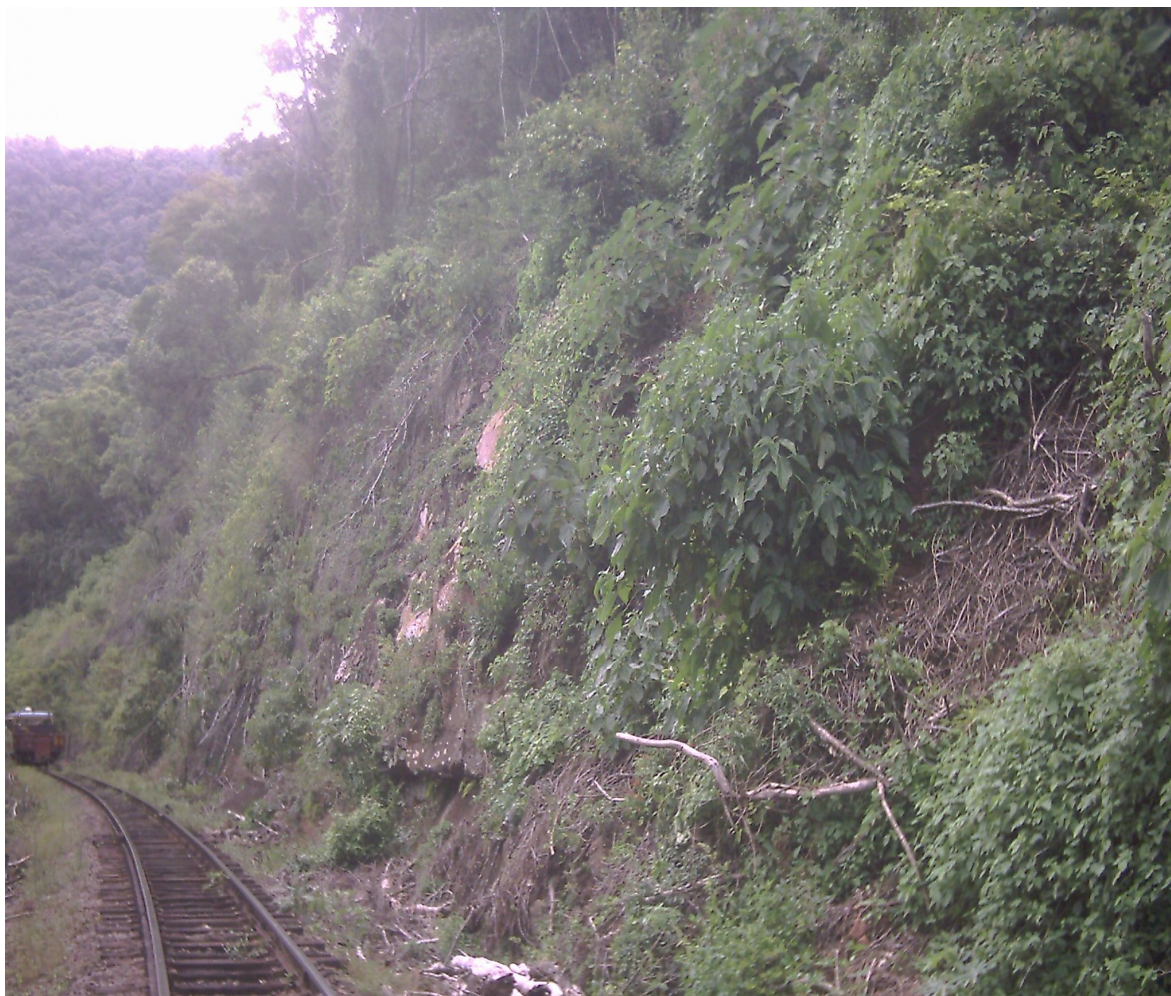


Figura 14: Km 207 + 000

6.6 Km 211 + 100

Trecho com uma inclinação muito acentuada, agravando a situação do corte que apresenta solo/rocha e muita vegetação. Apesar de haver uma boa drenagem superficial, com canaletas revestidas e bueiros desentupidos, em outubro de 2005, após uma precipitação de 87 mm, uma locomotiva tombou ao colidir com blocos que caíram sobre a linha. O trecho ficou interrompido por onze horas, devido à dificuldade de acesso ao local e retirada do material (figura 15).



Figura 15: Km 211 + 100

7 RELAÇÃO DE CHUVAS X QUEDAS DE BARREIRAS

“As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização de taludes e encostas (OLIVEIRA; BRITO, 1998, p.250).”

Conforme Augusto Filho (1995), as chuvas contribuem diretamente para as instabilizações de encostas através dos seguintes mecanismos:

- a) Alçamento do nível d`água e geração de forças de percolação;

- b) Preenchimento temporário de fendas, trincas e/ou estruturas em solos sapro- líticos e rochas (fraturas, juntas, etc.), com geração de pressões hidrostáticas;
- c) Formação de “frentes de saturação”, sem elevação/formação de N. A. (solos não- saturados), reduzindo a resistência dos solos pela perda de “coesão aparente”.

De acordo com Augusto Filho (1995, p.85):

A influência da distribuição da chuva no tempo correlaciona-se diretamente com o regime de infiltração que ocorre no terreno, que, por sua vez, determina a taxa com que a água das chuvas penetra no maciço terroso ou rochoso, diminuindo sua resistência e/ou aumentando as tensões nele atuantes.

Segundo Augusto Filho (1995), índices pluviométricos críticos para a deflagração dos escorregamentos dependem do tipo de processo de instabilização. Os escorregamentos induzidos são deflagrados por índices menores que os escorregamentos naturais. As corridas de massa, em geral, necessitam de índices maiores ainda.

Os escorregamentos em rocha, condicionados por planos de fraqueza, são mais suscetíveis a chuvas concentradas ou imediatas (geração de pressões hidrostáticas), sendo menos afetados pelos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores ao evento (AUGUSTO FILHO, 1995).

Conforme relatou Augusto Filho (1995, p.85):

Esta estreita relação entre a deflagração dos escorregamentos e os índices pluviométricos tem levado alguns pesquisadores a tentar estabelecer relações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas entre estes dois parâmetros. O objetivo maior destas correlações entre chuvas e escorregamentos é o de prever temporalmente a ocorrência destes eventos.

A partir dos gráficos realizados com os dados fornecidos pela empresa América Latina Logística (ALL), em que são relacionadas as chuvas do ano de 2005 com as barreiras no mesmo período, pode-se fazer relações empíricas entre quedas de blocos e deslizamentos e as pluviosidades (gráficos 2 e 3).

Precipitação (mm)

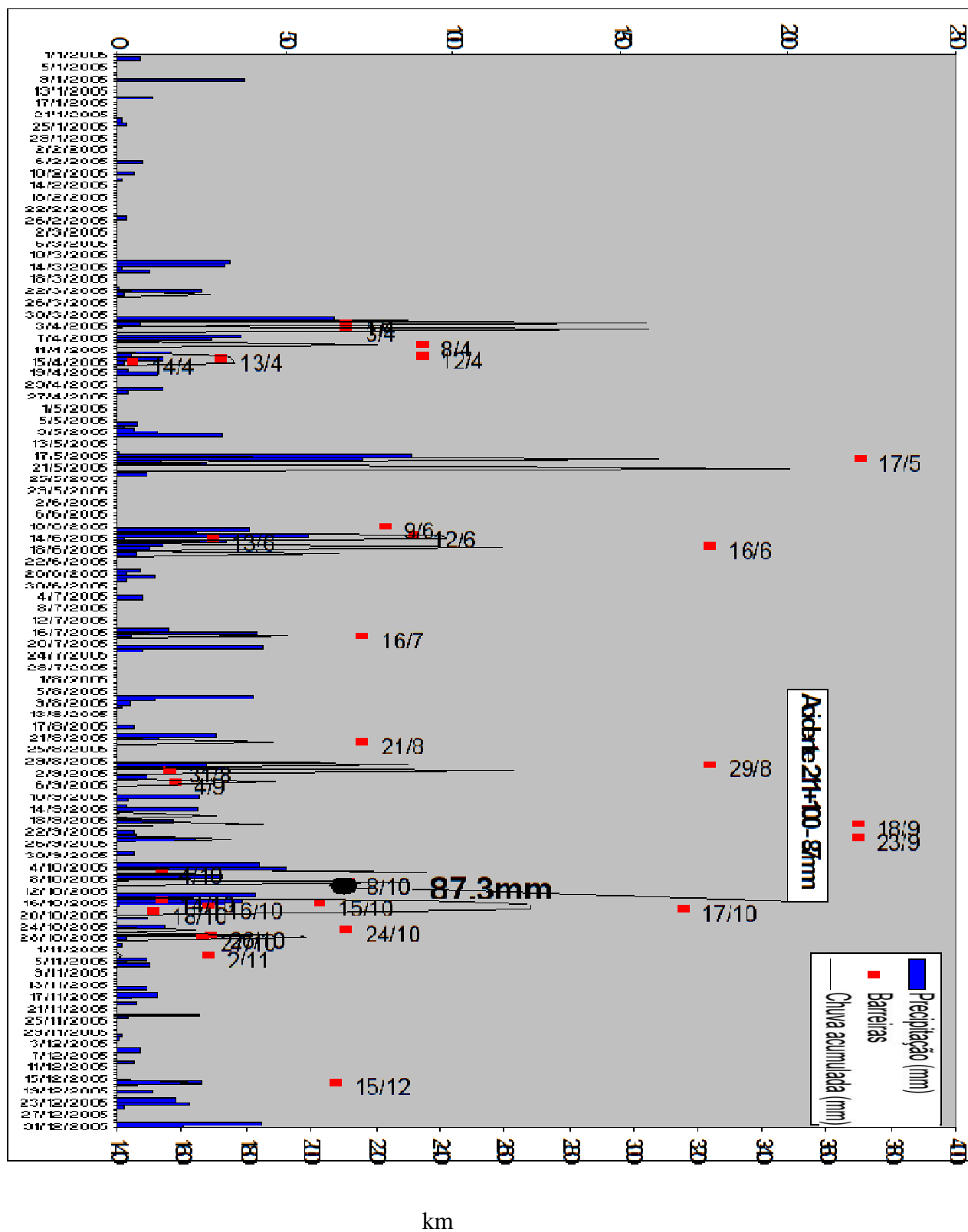


Gráfico 2: relação chuva x barreira (GOMES, 2007)

Em detalhe o mês de outubro no gráfico 3:

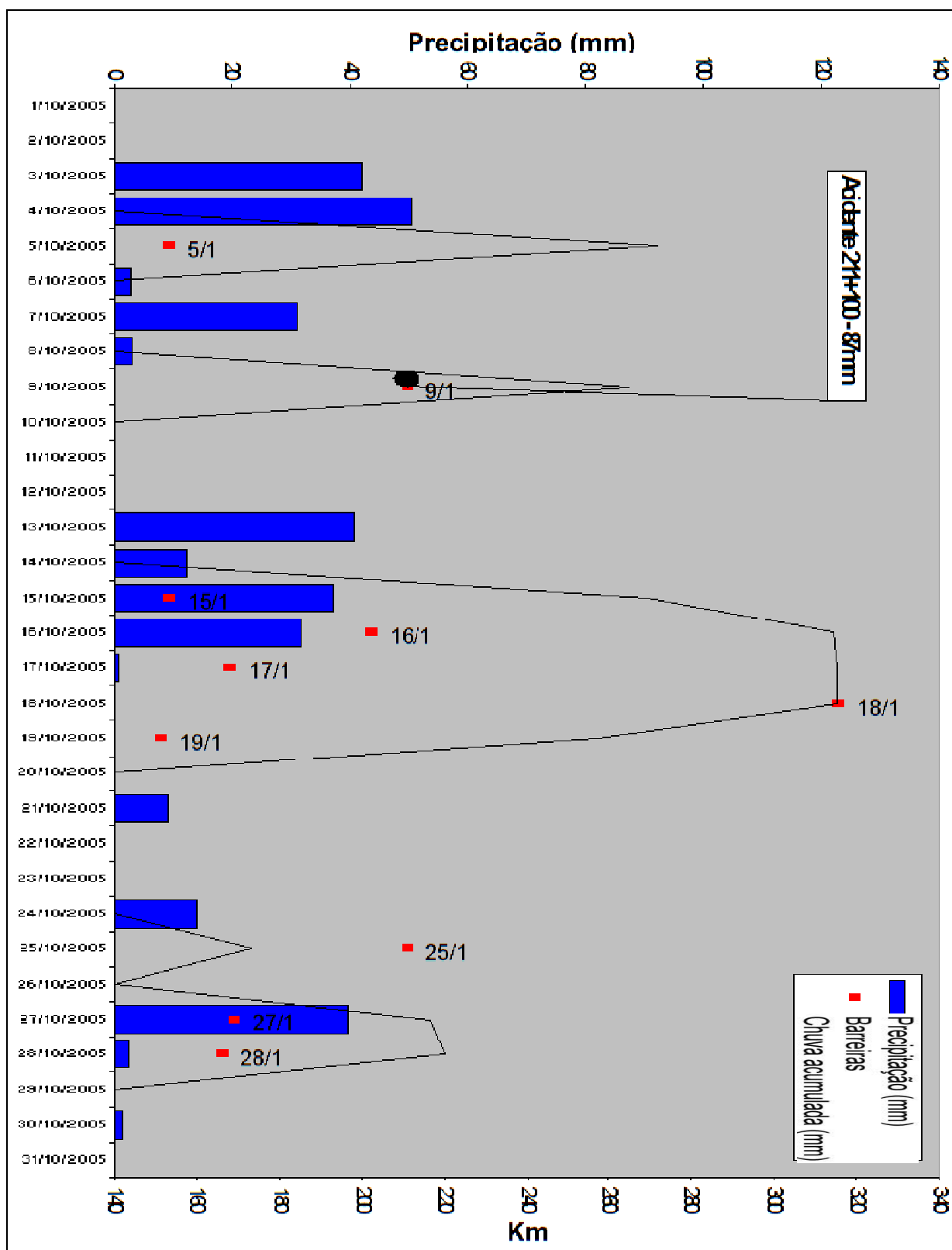


Gráfico 3: relação chuva x barreira- out/2005 (GOMES,2007)

7.1 ANÁLISE DOS GRÁFICOS

A partir dos gráficos foi possível determinar a extensão crítica do trecho em estudo. Isso foi possível com os seguintes resultados obtidos através do estudo:

- a) existe 53% de probabilidade de queda de barreira entre os km 151 e 222. Esse trecho corresponde a 24% da extensão entre Roca Sales e Vacaria;
- b) a partir da precipitação 55 mm ocorreram acidentes;
- c) a maioria dos desmoronamentos ocorreram no dia posterior ao início das chuvas, com grande probabilidade de cair até o quarto dia da precipitação.

8 ALTERNATIVAS PARA EVITAR ACIDENTES POR QUEDA DE BARREIRAS

Vários métodos de contenção foram apresentados nesse trabalho. Todos são muito eficazes para evitar que os deslizamentos de solo e rochas atinjam a linha férrea. No entanto, os pontos críticos apresentados se caracterizam por uma grande imprevisibilidade com relação às quedas de blocos na via permanente.

8.1 DESLIZAMENTOS

Em casos em que há deslocamentos de grandes massas de solo e rocha podendo destruir a linha, as obras de contenção são recomendadas.

Como exemplo temos o talude do km 151 (figura 16). O local está todo comprometido pela água que infiltra na estrada (figura 17) e atinge o corte, fato agravado pela falta de sistema drenante.

Solução proposta: Muro de gabião, revegetação do corte, recomposição da estrada e um eficiente sistema de drenagem superficial e profunda.



Figura 16: km 151+100



Figura 17: estrada no topo do corte- km 151+100

8.2 PONTOS COM QUEDAS DE BLOCOS

Em taludes que apresentam quedas de blocos, uma obra de contenção se torna inviável economicamente. Isso ocorre pois o trecho é composto por cortes altos e extensos, ficando muito difícil prever apenas um local para aplicar as estruturas de contenção. Além disso, o material que cai é facilmente retirado com uma máquina escavadeira ou por desmonte a fogo e, geralmente, não danifica tanto a linha como os deslizamentos.

Nesses locais é necessário prever soluções pontuais e fazer o monitoramento e gerenciamento de riscos a fim de evitar os acidentes. Para isso serão apresentados dois mecanismos de baixo custo e eficientes para que se evitem os acidentes ferroviários:

a) CONTROLE PLUVIOMÉTRICO

De acordo com Oliveira e Brito (1998, p.251):

A aplicação principal dessas correlações é tentar se antecipar à deflagração dos escorregamentos, a partir do acompanhamento dos índices pluviométricos de uma região. É mais fácil e barato monitorar o parâmetro da chuva, do que o nível d'água e o grau de saturação dos taludes e encostas, principalmente em grandes áreas. Apesar das limitações e imprecisões, essas correlações podem fornecer um importante instrumento de baixo custo de implantação, para o monitoramento e gerenciamento de riscos associados a escorregamentos.

A ALL instalou alguns pluviômetros agrícolas (figura 18) ao longo do trecho crítico. É um instrumento de baixo custo, no entanto, a anotação manual de eventos possibilita a incidência de erros. Quando são medidas precipitações de 55 mm no pluviômetro, são acionadas rondas no trecho para que, se avistado algum desmoronamento, seja suspensa a circulação de trens na extensão em questão.



Figura 18: pluviômetro agrícola

A partir do estudo chuva x barreira, foram determinados as seguintes medidas necessárias para intervenção no trecho. O sistema já foi implantado e está sendo muito eficiente na prevenção de acidentes. Chuva diária a partir de:

- 40mm = restrição de velocidade;
- 50mm = ronda com o auto de linha;
- 70mm = batedor- auto de linha acompanha os trens.

b) DETECTORES DE BARREIRAS

A outra alternativa de controle é baseada em detectores que são acionados pela queda de blocos. São equipamentos compostos de um fio elétrico que fica ligado entre 2 postes. No caso da queda de bloco, este fio é rompido e aciona um sinal de rádio que é recebido pelas composições e pelo centro de controle de tráfego.

- Barras de ferro responsáveis pela fixação de fios condutores e suporte da bateria e rádio;
- A bateria que alimenta o rádio do equipamento tem sua carga mantida por um painel solar;

- Os fios condutores se romperão no caso de quedas de blocos em sua extensão;
- Quando um fio for rompido, uma mensagem será enviada imediatamente para o rádio de todas as locomotivas e autos de linha que se encontram no trecho, informando que houve uma queda de barreira e sua localização (km). A mensagem só pára de ser repetida quando algum responsável pela manutenção da via chegar ao local;
- A extensão máxima de um detector é de 50m;
- O custo do equipamento é de R\$ 6.000,00.



Figura 19: detector de barreira

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como observado no presente trabalho, as quedas de barreiras correspondem a 56% dos problemas de infra-estrutura no Tronco Sul.

Isso ocorre devido às características da região, com topografia acidentada, cortes altos em materiais rochosos e tem tido deslizamentos por causa de mudança na geometria do talude, descontinuidades estruturais dos maciços, saturação/aumento da poro-pressão, erosão e instabilidade em corpos de tálus.

Foram apresentados métodos utilizados na Engenharia para evitar que os deslizamentos ou quedas de blocos afetem a via férrea. No entanto, verificou-se que no caso de queda de blocos, essas soluções são inviáveis economicamente, devido às características do trecho analisado. Este trecho apresenta cortes muito altos e extensos e soluções localizadas não garantem que blocos de outras posições do mesmo corte caiam sobre a via férrea, além de ser difícil decidir qual localização seria a mais crítica a nível de projeto.

Por isso, foram propostos o controle pluviométrico e o detector de barreira, como alternativas para evitar acidentes ferroviários causados por quedas de blocos. O primeiro vem sendo aplicado desde setembro na ALL e se mostrou muito eficaz. Prova disso, foi a queda de 32 barreiras nos meses de setembro e outubro de 2007, todas detectadas pelo auto de linha em suas rondas. No caso dos detectores, existem no trecho cinco detectores, que sempre se mostraram eficientes, pois quando as pedras caíram e os cabos se romperam, imediatamente foi enviada a mensagem para locomotiva que teve tempo de parar e aguardar a remoção do material da linha.

Portanto, com esses dispositivos a ferrovia estará menos suscetível a acidentes por causa de quedas de blocos, com alternativas de baixo custo e eficientes nesse tipo de operação.

No caso dos deslizamentos, uma obra de contenção geralmente é recomendada, como apresentado no km 151+100. Nestes casos não existem projetos-tipo, sendo necessários estudar a topografia, materiais presentes e condicionantes de ruptura para definir uma solução tecnicamente adequada. As conseqüências desse tipo de movimento são muito danosas para a ferrovia, pois um escorregamento costuma conduzir grandes massas de solo, incluindo a linha férrea. A recuperação da via pode demorar até 1 ou 2 dias para liberação, quando a queda de blocos pode interferir por 1 a 3 h, tipicamente. Além desta conseqüência em tempos de parada

da via, há diferenças muito grandes em termos financeiros para a estabilização. Este trabalho propõe o monitoramento das quedas de blocos, como meio de reduzir o risco de acidentes, com um investimento modesto em sensores. Os problemas relacionados a deslizamentos exigem investimentos maiores para a estabilização definitiva.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. **Morros- Manual de ocupação**. Disponível em: <www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/morros/cap04.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.
- AUGUSTO FILHO, O. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE, 1995.
- CARVALHO, P. A. S. **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: IPT, 1991.
- COSTA NUNES, A. J. **Engenharia Geotécnica**. Rio de Janeiro, 1992.
- GOMES, T. L. **Projeto Runoff – Implantação Malha Sul**. Propriedade da América Latina Logística do Brasil S/A, Fevereiro de 2007.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, 1976.
- OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.
- SANTOS, Álvaro Rodrigues Dos. **O incrível e insubstituível papel das florestas naturais na estabilidade das encostas serranas tropicais**. Disponível em: <http://paginas.terra.com.br/educacao/br_recursosminerais/florestas_encostas_al.htm>. Acesso em: 10 jun. 2007.